

Band 9

2010

# SWISS TUNNEL CONGRESS

Fachtagung  
für Untertagbau

Colloquium

9. Juni 2010

in Luzern

Fachtagung

10. Juni 2010

in Luzern



**FGU** Fachgruppe für Untertagbau  
**GTS** Groupe spécialisé pour les travaux souterrains  
**GLS** Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo  
**STS** Swiss Tunnelling Society

# SWISS TUNNEL CONGRESS **2010**

## Fachtagung für Untertagbau

9. + 10. Juni 2010 in Luzern



**FGU** Fachgruppe für Untertagbau  
**GTS** Groupe spécialisé pour les travaux souterrains  
**GLS** Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo  
**STS** Swiss Tunnelling Society

© 2010 FGU Fachgruppe für Untertagbau

**FGU Fachgruppe für Untertagbau**

GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains

GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo

STS Swiss Tunnelling Society

Herstellung/Konzeption: Bauverlag BV GmbH, 33311 Gütersloh

Druckvorstufe: Westermann GmbH, 27305 Bruchhausen-Vilsen

Druck: Druckerei Merkur, Detmold

Auflage: 1000 Exemplare

ISBN 978-3-7625-3639-0

Swiss Tunnel Congress 2010 – Fachtagung für Untertagbau

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, CD-ROM usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das Übersetzen, sind vorbehalten.

7	Amberg, Felix	Vorwort • <i>Preface</i>
12	Leuenberger, Moritz	Grussbotschaft des Verkehrsministers <i>Welcoming Address by the Minister of Transport</i>
14	Knights, Martin	Begrüssung des bisherigen ITA-Präsidenten <i>Welcome of the past ITA President</i>
18	Lombardi, Giovanni	Ein alter Traum – Der Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar <i>An old Dream – The Tunnel under the Strait of Gibraltar</i>
34	Godard, Jean-Paul Balan, Alain	Le Grand Paris <i>The Greater Paris</i>
46	Seingre, Gérard	Pompage-turbinage Nant de Drance <i>Nant de Drance Pumped Storage Power Plant</i>
60	Schmid, Werner Moser, Stefan Ceriani, Marco	Durchmesserlinie Zürich <i>Zurich Cross-City Rail Link</i>
70	Pabst, Rolf	Nord-Süd Stadtbahn Köln <i>Cologne North-South Urban Light Railway</i>



82	Simoni, Renzo	Gotthard-Basistunnel <i>Gotthard Base Tunnel</i>
94	Herrenknecht, Martin Bäppler, Karin Knabe, Michael	Der Weg zum Gotthard <i>The Way to the Gotthard</i>
106	Sala, Alex	TBM-Vortrieb Faido <i>Faido TBM Drive</i>
120	Schaab, Andreas	Beton, Baustoff des Tunnelbaus <i>Concrete, the Material for building Tunnels</i>
134	Huber, Peter	Gotthard-Basistunnel – Bahntechnik <i>Gotthard Base Tunnel – Rail Technology</i>
148	Deulofeu i Palomas, Carmen Serratos Belles, Joan Schwarz, Henning	Ligne 9 du métro de Barcelone <i>Line 9 of the Barcelona Metro</i>
162	Wenner, Dieter	Alborz Servicetunnel im Iran <i>Alborz Service Tunnel in Iran</i>
174	Westermayr, Helmut	Pfändertunnel in Österreich <i>Pfänder Tunnel in Austria</i>
184	Biese, Jürg Scherer, Martin Bernold, Jürg	Herausforderung Allmendtunnel in Luzern <i>A Challenge: The Allmend Tunnel in Lucerne</i>



## Swiss Tunnel Colloquium 2010

### Betontechnologie • *Concrete Technology*

- 206 Brühwiler, Eugen Einführung – Tendenzen im Betonbau  
*Introduction – Trends in Concrete Construction*
- 220 Schneider, Benedikt Beton im Untertagebau, Teil 1  
*Concrete in Underground Construction, Part 1*
- 228 Ritschard, Erich Beton im Untertagebau, Teil 2  
*Concrete in Underground Construction, Part 2*
- 236 Beeler, Patrick  
Weiss, Roland Spannungsfeld neue Normen  
*New Codes – a Field of Tension*
- 250 Schlumpf, Jürg Betonsysteme Gotthard-Basistunnel  
*Gotthard Base Tunnel Concrete Systems*
- 262 Schwarz, Ulrich Westumfahrung Zürich  
*Zurich West Bypass*



<b>Amberg, Felix</b>	Präsident, Fachgruppe für Untertagbau
<b>Bäppler, Karin</b>	Dr., Herrenknecht AG, Schwanau/D
<b>Balan, Alain</b>	President, French Tunnelling and Underground Space Association (AFTES)
<b>Beeler, Patrick</b>	Lombardi AG, Luzern/CH
<b>Bernold, Jürg</b>	Implenia Bau AG, Aarau/CH
<b>Biese, Jürg</b>	Implenia Bau AG, Aarau/CH
<b>Brühwiler, Eugen</b>	Prof. Dr. sc. techn., Lehrstuhl für Erhaltung und Sicherheit von Bauwerken, ETH Lausanne (EPFL), Lausanne/CH
<b>Ceriani, Marco</b>	Abschnittleiter A3/SBB AG, Zürich/CH
<b>Deulofeu i Palomas, Carmen</b>	Directrice générale des Travaux neufs, GISA – Gestio d’Infrastructures S.A., Barcelona/E
<b>Godard, Jean-Paul</b>	Honorary Senior Executive of the RATP, French Tunnelling and Underground Space Association (AFTES)
<b>Herrenknecht, Martin</b>	Dr.-Ing. E. h., Herrenknecht AG, Schwanau/D
<b>Huber, Peter</b>	Gesamtprojektleiter Transtec Gotthard (TTG), Alpine-Bau GmbH, Hergiswil/CH
<b>Knabe, Michael</b>	Herrenknecht AG, Schwanau/D
<b>Knights, Martin</b>	Past President of International Tunnelling and Underground Space Association, Lausanne/CH
<b>Leuenberger, Moritz</b>	Bundesrat, Departementsvorsteher UVEK, Bern/CH
<b>Lombardi, Giovanni</b>	Dr. Dipl. Ing. PhD., Lombardi SA, Ingegneri Consulenti, Minusio/CH
<b>Moser, Stefan</b>	Dr. sc. techn., Chefbauleiter A3/Basler & Hofmann AG, Zürich/CH
<b>Pabst, Rolf</b>	Projektleiter Nord-Süd Stadtbahn Köln/D
<b>Ritschard, Erich</b>	Leiter Produktmanagement Zement, Holcim (Schweiz) AG, Zürich/CH
<b>Sala, Alex</b>	Leiter IG GBTS, Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH
<b>Schaab, Andreas</b>	Hochtief Consult Materials, Frankfurt am Main/D
<b>Scherer, Martin</b>	Emch+Berger WSB AG, Cham/CH
<b>Schlumpf, Jürg</b>	Head Concrete Technology, Sika Services AG, Zürich/CH
<b>Schmid, Werner</b>	Baustellenchef ATW/Implenia Bau AG, Zürich/CH
<b>Schneider, Benedikt</b>	Regionenleiter Bau- und Anwendungstechnik, Holcim (Schweiz) AG, Würenlingen/CH
<b>Schwarz, Henning</b>	Chef du bureau Auscultation et géotechnique, GISA – Gestio d’Infrastructures S.A., Barcelona/E
<b>Schwarz, Ulrich</b>	Ingenieurbureau Heierli AG, Chefbauleiter N 20.1.4, Westumfahrung Zürich/CH, Dreieck Zürich-West
<b>Seingre, Gérard</b>	Responsable de la Direction générale des travaux Nant de Drance, AF-Colenco SA, Châtelard-Finhaut/CH
<b>Serratos Belles, Joan</b>	Directeur de la division Ligne 9, GISA – Gestio d’Infrastructures S.A., Barcelona/E
<b>Simoni, Renzo</b>	Dr. sc. techn., Vorsitzender der Geschäftsleitung AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
<b>Weiss, Roland</b>	VSH VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums/CH
<b>Wenner, Dieter</b>	Projektleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
<b>Westermayr, Helmut</b>	Geschäftsführer Arge Pfändertunnel, Geschäftsführer Alpine BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck/A



## Vorwort • Preface

Felix Amberg

Präsident der  
Fachgruppe für Untertagbau

President of the  
Swiss Tunnelling Society

Ohne Überheblichkeit darf man feststellen, dass der Schweizer Untertagbau weltweit mit zu den führenden gehört. Und dies nicht erst seit wir die Basistunnels durch die Alpen bauen, sondern schon in früheren Zeiten. Ich erinnere nur daran, dass die Schweiz fast jahrzehntelang weltweit führend war beim Einsatz von grossen TBM im Fels. Viele innovative Ideen wurden erstmalig durch Schweizer Tunnelbauer realisiert. Dass wir mit dem Swiss Tunnel Congress nun eine attraktive und hochwertige Plattform haben, auf der wir solche Leistungen auch einem grösseren Kreis präsentieren können, erfüllt uns mit Stolz.

Der vorliegende neunte Tagungsband des STC belegt, dass die Schweizer Tunnelbauindustrie nach wie vor anspruchsvolle Tunnelbauprojekte realisiert. Auch ausserhalb der Schweiz kommen herausfordernde Projekte zur Ausführung (teilweise mit Beteiligung Schweizer Tunnelbauer), von denen wir einige am Swiss Tunnel Congress vorstellen. Diese vor ein paar Jahren initiierte Erweiterung des Themenkreises des STC war richtig und hat den Kongress auch über die Präsentation von einzelnen Aspekten der beiden Basistunnel hinaus weiterentwickelt.

Without exaggeration it can be asserted that Swiss underground engineering is numbered among the leaders in its field on a worldwide scale. This is not simply applicable since we have been engaged in building the Base Tunnels through the Alps for it goes back still further. I should like to recall that Switzerland led the world for decades with respect to applying large TBMs in rock. Many innovative ideas were first accomplished by Swiss tunnellers. We feel very proud indeed to have an attractive and high-quality platform in the form of the Swiss Tunnel Congress to present such achievements to a far wider circle as well.

The current STC ninth Volume of Proceedings testifies that the Swiss tunnelling industry continues to accomplish sophisticated projects. Challenging projects are also being executed outside of Switzerland (in some cases with the participation of Swiss tunnellers), some of which we present to you at the Swiss Tunnel Congress. This extension to the STC's circle of topics initiated a few years ago represented the proper approach and served to develop the Congress further over and beyond presenting individual aspects of the two Base Tunnels.

Die Erweiterung des Themenkreises ist nicht die einzige Veränderung geblieben, die wir seit dem Beginn des Kongresses vorgenommen haben. Bei allen neun Veranstaltungen wurden Veränderungen gegenüber dem Vorjahr vorgenommen, das Angebot angepasst und erweitert. Die letzte Anpassung halten Sie physisch in Ihren Händen: Wir haben uns entschlossen, den Tagungsband bereits an der Tagung abzugeben, zusammen mit einer elektronischen Fassung der Vorträge auf CD. Dabei haben wir nicht nur das Layout des Bandes angepasst, sondern liefern zu allen Vorträgen neben der Vortragssprache noch eine englische Übersetzung mit. Neu sind auch die Vorträge des Kolloquiums im Tagungsband enthalten. Wir sind überzeugt, dass wir damit eine weitere Verbesserung unseres Kongresses realisiert haben, mit der wir auch ein internationales Publikum noch besser auf den Swiss Tunnel Congress und damit auf die Leistungsfähigkeit der Schweizer Tunnelbauindustrie aufmerksam machen können.

In diesem Jahr erfolgt der letzte Durchschlag am Gotthard-Basistunnel. Damit ist sicherlich der Höhepunkt beim Bau der Basistunnel erreicht.

Diesem speziellen Anlass würdig, wird der Haupttag durch eine Grussbotschaft von Bundesrat Moritz Leuenberger eröffnet.

Auch die Präsenz und das Referat von Martin Knights, bisheriger Präsident der ITA-AITES, unterstreichen die Bedeutung dieses Momentes für den Schweizer Tunnelbau.

Die Vormittagsreferate stellen in einer Mischung schweizerische und ausländische Projekte vor, welche zum Teil bereits in Ausführung oder deren Realisierung noch Zukunftsträume sind, wie der Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar, der von unserem Ehrenmitglied Dr. Giovanni Lombardi vorgestellt wird.

Der Nachmittag beginnt mit den Vorträgen über den Gotthard-Basistunnel. Da in diesem Jahr mit den Hauptdurchschlägen zwischen Faido und Sedrun das Ende der eigentlichen Ausbrucharbeiten erreicht sein wird, haben wir Referate zusammengestellt, die von den Erfahrungen mit den TBM-Vortrieben, den druckhaften Strecken des TBM-Vortriebes in Faido, den betontechnologischen Herausforderungen bis hin zu den Herausforderungen der Bahntechnik reichen.

Ergänzt wird dieser Block durch verschiedene Projektvorstellungen: von Herausforderungen bei weit entfernten Vorhaben wie der Metro in Barcelona bis zu solchen bei ganz nahe liegenden wie dem Allmendtunnel, der sich nur wenige Kilometer entfernt vom KKL Luzern, dem Tagungsort des STC, befindet.

Extending the range of topics is not the sole alteration that we have undertaken since the inception of the Congress. Changes compared to last year have been initiated in the case of all nine events, the programme adjusted and enlarged. The latest adaptation is in your hands: we decided to make the Proceedings available during the Congress, together with an electronic version of the papers on CD. In this connection we have both adjusted the layout of the publication, whilst all the papers are supplied in an English translation along with the original language version. As a further novelty the papers presented at the Colloquium are also contained in the Proceedings. We are convinced that in this way we have enhanced our Congress even further so that we are better able to draw the attention of an international public to the Swiss Tunnel Congress and in turn to the capabilities of the Swiss tunnelling industry.

This year the final breakthrough at the Gotthard Base Tunnel takes place. As a consequence the climax in constructing the Base Tunnels has thus been reached.

To mark this special occasion the main day of the Congress is to be opened by a welcoming address by Federal Counsellor Moritz Leuenberger.

Furthermore the presence and the paper of Martin Knights, the former President of the ITA-AITES, underline the significance of this moment for Swiss tunnelling.

The papers presented in the morning represent a mixture of Swiss and foreign projects, some which are already being executed whilst others are still dreams to be accomplished in future, such as the tunnel below the Strait of Gibraltar, which is to be presented by our honorary member Dr. Giovanni Lombardi.

The afternoon session commenced with papers devoted to the Gotthard Base Tunnel. As the end of the actual excavation work will be accomplished this year with the main breakthroughs between Faido and Bodio, we have compiled papers, which range from experiences with the TBM drives, the squeezing sections of the Faido TBM drive, challenges in terms of concrete technology right up to challenges in rail technology.

This block is rounded off by various projects being presented from challenges posed by far-off projects such as the Barcelona Metro right up to some very close by such as the Allmend Tunnel, which is located only a few kilometres away from the KKL Lucerne, the venue for the STC.

Truly a wide spectrum, which is further rounded off by the papers at the Colloquium on concrete technology! I wish you all a stimulating Congress and exciting reading.

Wahrlich, ein breites Spektrum, das noch abgerundet wird durch die Vorträge des Kolloquiums zum Thema Betontechnologie! Ich wünsche Ihnen einen spannenden Kongress und eine anregende Lektüre.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei den Referenten, den Tagungsleitern, den Organisatoren mit ihren Helfern, den Ressortleitern des Vorstandes und natürlich auch bei den grosszügigen Sponsoren bedanken. Ohne ihre grossartige Unterstützung und Hilfe wäre diese Veranstaltung in dieser Form nicht möglich.

At this point I should also like to express by hearty thanks to the lecturers, the congress leaders, the organisers with their assistants, the heads of the various departments belonging to the board and of course our generous sponsors. It would not be possible to stage the event in this form without their great support and assistance.



Felix Amberg, President

## Hauptsponsoren • Main Sponsors



## Hauptsponsoren • Main Sponsors



## Co-Sponsoren • Co-Sponsors

ACO Passavant AG, Netstal  
Aggregat AG, Altdorf  
Allianz Suisse Versicherungen, Zürich  
Ascom (Schweiz) AG, Wireless Solutions, Mägenwil  
Atlas Copco (Schweiz) AG, Studen/BE  
Avesco AG, Langenthal  
BK Giuliani GmbH, D-Ludwigshafen  
CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano  
Dörken AG, Arlesheim  
Elkuch Bator AG, Herzogenbuchsee  
Ernst Basler + Partner AG, Zürich  
FERROFLEX AG, Rothrist  
germanBelt Systems GmbH & Co. KG,  
D-Heitersheim  
Gruner AG Ingenieure und Planer, Basel

Günther Spelsberg GmbH & Co. KG,  
D-Schalksmühle  
Hilti (Schweiz) AG, Adliswil/Zürich  
ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich  
Kiener + Wittlin AG, Zollikofen  
Liebherr-Baumaschinen AG, Rothrist  
Miracom AG, Baar  
Nationale Suisse, Basel  
Phoenix Contact AG, Tagelswangen  
PORR Suisse AG, Altdorf  
Rittal AG, Neuenhof  
Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, Aarau  
Saint-Gobain Weber AG, Baden-Dättwil  
Securitas/Securiton, Zollikofen  
Wacker Chemie AG, D-Burghausen

*Moritz Leuenberger, Bundesrat, Departementsvorsteher UVEK, Bern/CH*

## Grussbotschaft des Verkehrsministers

### Tunnel sind Brücken

Die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten ist die Gerade. Doch die Erde ist in drei Dimensionen geschaffen worden. Gebirge und Gewässer zerfurchen sie. Deswegen bauen wir Menschen Brücken und bohren Tunnel, um direkter und schneller zueinander zu gelangen.

## Welcoming Address by the Minister of Transport

### Tunnels are Bridges

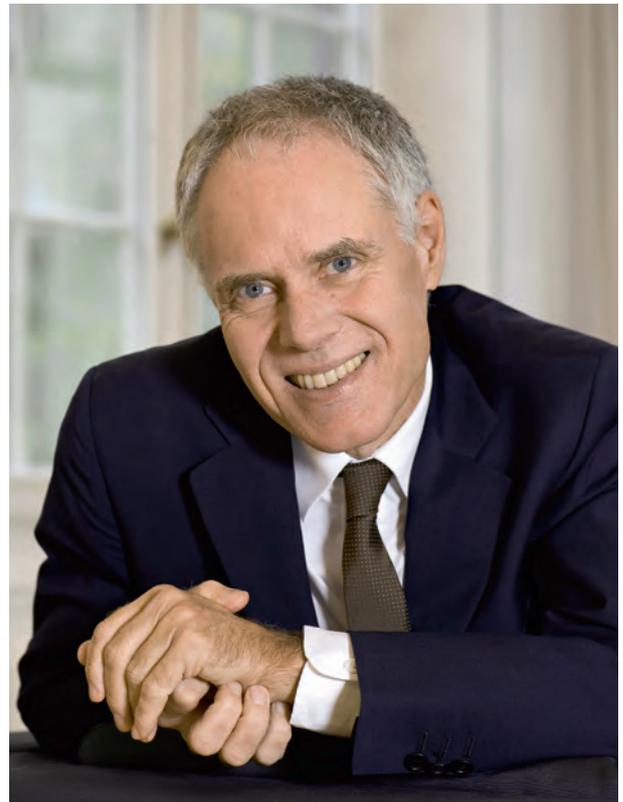
The shortest distance between two points is a straight line. However, the earth constitutes three dimensions. It is interspersed with mountains and stretches of water. This is why we humans build bridges and bore tunnels in order to reach each other more directly and quickly.

Und wir bohren sehr viel. Ich habe als Infrastrukturminister etwa 100 Strassen- und Eisenbahntunnel eingeweiht. Das zeigt zweierlei. Zum einen, dass wir Schweizer nicht nur die Weltmeister im Bahnfahren sind, sondern zum anderen auch, dass wir die unangefochtenen Weltrekordhalter im Durchlöchern von natürlichen Hindernissen sind. Mögen die Japaner an unserem Land vor allem das Matterhorn und die Kappellbrücke bewundern – wir Schweizer lieben nichts mehr als die Zugfahrt durch die Kehrtunnel am Gotthard. Aber nicht nur im Gebirge sind Tunnel sehr gefragt. Erweiterungen im Schienen- und Strassennetz lassen sich im dicht überbauten Mittelland fast nur noch durch unterirdische Bauten, durch Tunnel, realisieren.

In wenigen Monaten wird unsere Tunnelgeschichte um ein wichtiges Kapitel reicher, wenn der Gotthard-Basistunnel der NEAT durchstossen wird. Mit seinen 57 km wird er der längste Eisenbahntunnel der Welt sein. Hinter dieser eindrücklichen Zahl stehen grossartige Leistungen von Ingenieuren, Geologen und Mineuren, die das Gestein an mehreren Orten ausbrechen und dabei so genau arbeiten, dass sie sich schon bald mitten im Gotthard-Massiv – 2000 m unter dessen Gipfeln – die Hände reichen können. Wer einmal beim Zwischenangriff in Sedrun mit dem Baulift 800 m in die Tiefe gefahren ist und dort erlebt hat, was Arbeiter und Maschinen zusammen dort bewegen, der ahnt, welche logistischen Meisterleistungen und menschlichen Kraftakte auf der grössten Baustelle Europas Tag für Tag erbracht werden. Dank der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen, der NEAT, wächst Europa geografisch zusammen. Personen und Güter können viel schneller vom Norden in den Süden (und umgekehrt) gelangen. Ohne Tunnel gibt es keinen Korridor von Genua nach Rotterdam.

Tunnel wie der Marmaray-Tunnel unter dem Bosphorus, den ich letzthin besuchen durfte, verbinden Menschen, Kulturen,

And we bore a great deal. As minister of Transport I have opened around 100 road and rail tunnels. This indicates two things. First of all that we Swiss are not simply world champions in travelling by rail but that we are also the undisputed world record holder in penetrating natural obstacles. The Japanese may admire our country first and foremost for the Matterhorn and the Kappel Bridge – we Swiss love nothing more than travelling by train through the Gotthard loop



## Message du Ministre des transports

### Les tunnels sont des ponts

La ligne droite est le chemin le plus court entre deux points. Pourtant, la Terre a été créée en trois dimensions. Elle est sillonnée de massifs rocheux et de cours d'eau. C'est la raison pour laquelle nous construisons des ponts et creusons des tunnels. Ils nous permettent de nous rejoindre plus directement et plus rapidement. Un tunnel naît de la vision du rapprochement entre les hommes malgré les montagnes ou la mer, de notre volonté commune de surmonter ces obstacles et en fin de compte grâce à l'esprit d'innovation des concepteurs et au courage des ouvriers, des mineurs qui creusent sous terre. C'est à eux tous qu'est dédié le Congrès Swiss Tunnel 2010.

Moritz Leuenberger

## Saluto del Ministro dei Trasporti

### Le gallerie sono dei ponti

Il collegamento più breve tra due punti è la linea retta. Tuttavia la terra è stata creata in tre dimensioni. Montagne e corsi d'acqua la solcano. Per questa ragione noi uomini costruiamo ponti e perforiamo gallerie, per entrare in contatto in modo più diretto e rapido. Un galleria nasce dall'intento di entrare in contatto a dispetto di montagne o mari, dalla volontà comune di superare questi ostacoli e infine dallo spirito innovativo dei progettisti e dal coraggio degli operai, dei minatori che perforano il sottosuolo. A tutti loro è dedicato lo Swiss Tunnel Congress 2010.

Vostro Moritz Leuenberger

Regionen, Länder und zuweilen ganze Kontinente. Dieser Tunnel wird zu einer wichtigen kulturellen Brücke zwischen Europa und Asien. Merkwürdig, dass wir den Symbolgehalt kultureller Verbundenheit als „Brücke“ bezeichnen und kaum als „Tunnel“. Doch auch Tunnel überwinden, besser: untergraben Hindernisse, die uns voneinander trennen.

Ein Tunnel entsteht dank der Vision, trotz Berg oder See zueinander gelangen zu wollen, durch den gemeinsamen Willen, diese Hindernisse zu überlisten, und schliesslich durch den Innovationsgeist der Planer und schliesslich den Mut der Arbeiter, der Mineure, welche unter Tage bohren.

Ihnen allen widmet sich der Swiss Tunnel Congress 2010.

Ihr Moritz Leuenberger

tunnel. However tunnels are not just in demand in mountain areas. Extensions to the rail and road network in densely populated midland regions can practically only be accomplished by underground construction, by tunnels.

In some months our tunnel history will become enriched by a further important chapter with the breakthrough of the NEAT's Gotthard Base Tunnel. With 57 km it will be the world's longest rail tunnel. Behind this impressive figure there are outstanding achievements by engineers, geologists and tunnellers, who extract the rock at various points and in the process work with such precision that soon they will be able to shake hands with each other amidst the Gotthard Massif – 2,000 m beneath its peaks. Anyone who has travelled down 800 m by construction lift at the intermediate point of attack in Sedrun and experienced what the labour force and machinery tackle there together has an idea of the logistical masterly achievements and human feats of strength performed on a daily basis on Europe's biggest construction site. Thanks to the new rail routes crossing the Alps – the NEAT – Europe is growing together in geographic terms. Passengers and goods can be transported far more quickly from north to south (and vice versa). Without tunnels there would be no corridor from Genua to Rotterdam.

Tunnels link people, cultures, regions, countries and even whole continents such as the Marmaray Tunnel beneath the Bosphorus, which I was able to visit not so long ago. It is to become an important cultural bridge between Europe and Asia. It is strange that we describe the symbolic content of cultural ties as a "bridge" rather than a "tunnel". But tunnels also overcome or rather surmount obstacles, which separate us from each other.

A tunnel is created through the vision of desiring to come together in spite of a mountain or stretch of water, through the joint wish to conquer these obstacles and ultimately through the spirit of innovation on the part of the planners and of course the courage of the workers, the tunnellers, engaged in boring underground.

The Swiss Tunnel Congress 2010 is dedicated to you all.

Yours,  
Moritz Leuenberger

*Martin Knights, BSc (Hons) Civil Engineering, Past President of International Tunnelling and Underground Space Association, Lausanne/CH*

## Welcome of the past ITA President

### ITA Agenda and influences that make tunnelling sensible, sustainable and a responsible legacy

In my oral presentation I will bring delegates up to date with recent events in the International Tunnelling Association. I have given many papers in the past 12 months, demonstrating good examples of sustainable underground infrastructure. In this short paper I want to continue this theme but to look at the practical considerations of durability and the management of the underground assets that we are building today. We tend to get excited by sustainable concepts but as Engineers we need to consider the integrity of structures that we build so as to complement the overall sustainable solutions that use underground space.

#### Planning the sustainable legacy

A few weeks ago a colleague of mine came across a paper written by a City Engineer. The conclusion of the paper was that it would be a good and responsible idea for municipalities to plan and map the use of underground space in urban areas as a way of avoiding confusion when excavating the city streets and as a means of planning for future use of underground space. Very wise words. They were written by the City Engineer in New York in the 1920s!

His words have been forgotten. We continue to “reinvent the wheel” each time we construct projects under our city streets and we still keep promising that we will make better use of the underground space – one day! Some countries are making an effort to do this like Singapore and some Gulf countries. They are contemplating the use of underground space for metros and utilities for new cities and urban development and are making efforts to strategically plan for the use of underground space over the next 20 years or so.

#### Examples to consider

Singapore is in fact a prime example of a city/island that has to consider the use of underground space with greater needs than perhaps elsewhere.

In a recent speech given to students, the Prime-Minister of Singapore touched on the subject of underground space and said: “The most obvious constraint when you ask is there room for more is physical space. Have we got more space, more area, more land to grow? – We are a small island. All of you will learn from school that we have 700 km<sup>2</sup> and that is it. Every time some activity needs to expand, something else has to give. If we have more land for roads, it means less land for houses or green spaces. If we expand our port, which we want to do, it means less seafront for premium waterfront

recreation. If you want more space for universities, it means less space for something else. So there are trade-offs, but nevertheless, we can find creative solutions to overcome these space constraints. You cannot make Singapore bigger beyond the international boundaries outwards. We can reclaim the land up to the boundaries but that does not push the boundaries outwards. We can intensify our land use, build higher. We can go deeper, have underground space. We can redevelop our land; replace less productive activities by more productive ones. And we can exploit the region around



## Begrüßung des bisherigen ITA-Präsidenten

### ITA-Agenda und Faktoren für vernünftigen, nachhaltigen und verantwortungsvollen Tunnelbau

In meinem Vortrag informiere ich die Tagungsteilnehmer über die neuesten Entwicklungen in der ITA. Über die vergangenen 12 Monate habe ich zahlreiche Aufsätze herausgegeben, die positive Beispiele nachhaltiger Untergrundinfrastruktur beschreiben. Auch dieser Aufsatz beschäftigt sich mit diesem Thema, beleuchtet aber auch die praktischen Aspekte der Dauerhaftigkeit und der Verwaltung der heute im Bau befindlichen Untergrundeinrichtungen. Nachhaltigkeit allein sorgt oft schon für Euphorie, aber als Ingenieure müssen wir die Integrität unserer Bauwerke im Blick behalten, die letztlich für eine übergeordnete Nachhaltigkeit unserer Bauten unter der Erde sorgt.

## Un mot de bienvenue de l'ancien président de l'AITES

### Agenda de l'AITES et facteurs qui font des tunnels un patrimoine raisonnable, durable et responsable

Dans ma présentation orale, je mettrai les délégués au courant des récents événements de l'Association internationale des tunnels. Au cours des 12 derniers mois, j'ai publié de nombreux articles citant de bons exemples d'infrastructures souterraines durables. Dans ce court document, je continuerai sur ce thème, mais du point de vue pratique de la durabilité et de la gestion des installations souterraines que nous construisons de nos jours. Les concepts durables suscitent l'enthousiasme mais, en tant qu'ingénieurs, nous devons tenir compte de l'intégrité des structures que nous construisons afin de compléter l'ensemble des solutions durables utilisant l'espace souterrain.

## Benvenuto dell' ex presidente ITA

### Agenda ITA e fattori che rendono le gallerie dei beni realizzati con buon senso, sostenibilità e responsabilità

Nella mia presentazione aggiornerò i delegati sui recenti sviluppi in seno alla International Tunnelling Association. Negli ultimi 12 mesi ho redatto numerosi documenti che presentano degli esempi positivi di infrastrutture sotterranee sostenibili. In questa breve presentazione, desidero continuare sullo stesso argomento con considerazioni sulla durata e sulla gestione della installazioni sotterranee ora in costruzione. Abbiamo la tendenza ad entusiasmarci quando parliamo di sostenibilità, ma come ingegneri dobbiamo considerare l'integrità della opere che costruiamo, in modo da completare le soluzioni sostenibili scelte per le strutture sotterranee.

us, link up with our neighbours, link up with China and India, make use of what we can do overseas, so that what we do here is really valuable, is really optimal use of this space. Therefore we make the best use of what we have and continue to do better."

We can go deeper, have underground space. Underground space can provide new spaces for infrastructure, services and utilities without claiming valuable space on the surface. By going underground cities can keep their valued public spaces or create new spaces thereby revitalising the city. In the past five years a major civil engineering project has been carried out in the Spanish city of Madrid. The main goal of the project was to upgrade the existing M30 motorway and to bring major sections of this motorway underground. In doing so the city created 1 million m<sup>2</sup> of green space for the city. Through one project, spatial quality in parts of the city soared and contributed to a new level of liveability for its citizens.

There are many other good sustainable initiatives using the Underground Space including recent projects such as:

- SMART road/storm water tunnel in Kuala Lumpur
- Network of HV Cable Tunnels under London
- Storage of "grey" water in caverns in Hong Kong for non drinking uses
- Proposed Road Tunnel under Seattle replacing an ugly/unsafe viaduct.

All these examples are well documented. But the examples above will only prove to have been a fully sustainable legacy if they continue to function for generations. That legacy includes the integrity and long term durability of tunnel linings and underground structures. Benjamin Franklin once said that there is nothing certain but death and taxes. The tunnel equivalent must be maintenance and repair (as members of ITA's Working Group 6 on Maintenance and Repair can confirm!).

## Durability of Underground Infrastructure

Maintenance and repair are often regarded as the “Cinderella” of Tunnel Infrastructure. A good deal of existing essential underground infrastructure is operationally vital and without which the public would quickly learn just how vital it was if left unmaintained. Vulnerability can be mitigated if good Asset management plans underpin the planning process of underground infrastructure.

Recent French and English publications [1, 2] contribute to the need to raise the issues confronting owners of aging infrastructure. These issues include systematic front end Asset management, planning of maintenance, methods of repair and the need for lessons learned or case studies. Everything we build underground now will be a legacy needing future care and attention. Not only do we need to ensure that our future underground infrastructure is durable, but we have to deal with the legacy of infrastructure built long ago. Indeed most of UK’s existing and vital underground infrastructure is technically passed its intended design life including that belonging to key owners of London’s underground infrastructure such as London Underground and Thames Water. This would apply equally to most European towns and cities, the eastern seaboard cities of America and many other established global metropolis.

Dealing with the built underground infrastructure is like dealing with the human body. A bit of care and attention on a regular basis helps to mitigate the aging effect along with the occasional superficial or invasive surgery!

## Asset management of underground structures

Perhaps Asset management’s time has come? – It occurs to the author that Asset management has traditionally been a technically focussed discipline and generally reactive. It is

time for a wholistic approach taking into account organisational and strategy components, government and regulatory components and of course the technical component: for example a clear strategy linking government policy with physical asset options and investment requirements to make infrastructure more resilient.

Recent press reports have observed the dearth of engineering or science (or even industry) background of politicians whose decision making on infrastructure sometimes shows expediency and lack of systematic assessment when faced with global issues such as a global warming, climate change, security and strategic risk, scarcity of resource etc.

Robust asset management systems can demonstrate the need to take repair and maintenance from the reactive level to the strategic level and elevate it to the front end of decision making. Systematic approaches will help Engineers articulate to the mainstream corporate and government decision makers the need for robust long term solutions when considering key underground infrastructure solutions that are critical for society to function.

We as a profession must influence the long term interests of society and refute short term efficiency targets that drive current government decision making. Short cuts that undermine long term integrity of underground projects are not responsible and are not sustainable.

## References

- [1] Tunnels: inspection, assessment and maintenance. CIRIA Report C671 London 2009, ISBN 978-086017-671-8
- [2] AFTES: Recommendations del’AFTES sur la rehabilitation des ourages souterrains – French Tunnelling Society 2005



Giovanni Lombardi, Dr. Dipl. Ing. PhD., Lombardi SA, Ingegneri Consulenti, Minusio/CH

## Ein alter Traum

### Der Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar

1980 wurde ein Staatsvertrag zwischen Spanien und Marokko zum Studium einer festen Verkehrsverbindung durch die Meerenge abgeschlossen. Nach Ausschluss verschiedener Lösungsmöglichkeiten fiel die Wahl auf einen Tunnel im Felsen unter dem Seegrund und ein diesbezügliches Vorprojekt konnte 1996 aufgestellt werden. Nachträglich stellte man in der Linienführung zwei mit Brekzien gefüllte Gräben in Flyschformationen fest. Eine notwendige Neubearbeitung führte 2009 zu einer Lösung. Dabei stellte sich heraus, dass der Tunnel mit den heute zur Verfügung stehenden Baumethoden an die Grenze der Machbarkeit stösst.

## An old Dream

### The Tunnel under the Strait of Gibraltar

In 1980 a state treaty was signed between Spain and Morocco to study the issue of a fixed transport link across the Strait. After eliminating various possibilities for a solution a tunnel in rock under the seabed was chosen and a preliminary study was drawn up in 1996. Subsequently two channels filled with breccias in flysch formations were detected along the route alignment. Necessary revision led to a new solution in 2009. In this connection it was revealed that the tunnel's feasibility is questionable given today's construction methods.

Seit Jahrtausenden ist das Gebiet von Gibraltar Gegenstand von regem Interesse, Legenden, Träumen und seit nun etwa einem halben Jahrhundert auch von noch mehr oder weniger realistischen Projektideen. Gibraltar ist, wie auch der Bosphorus am anderen Ende des Mittelmeeres, zugleich Grenze wie auch Übergangsmöglichkeit zwischen zwei Kontinenten (Bild 1).

Ein recht utopischer Traum ist vom Architekten Sorgel aus München entwickelt und jahrzehntelang gepflegt worden. Er bestand darin, mehrere Dämme durch die Meerenge von Gibraltar (Bild 2) zu bauen, damit sich der Meeresspiegel im Mittelmeer wegen der grösseren Verdunstung um mindestens 200 m absenken würde und somit etwa 550 000 km<sup>2</sup> Land an den Ufern entlang zu Bauzwecken und anderen Projekten zur Verfügung stehen würden (Bild 3). Dass die bestehenden Seehäfen um eben 200 m über dem Meeresspiegel zu liegen kommen würden, schien dem Architekten nur ein Nebenproblem zu sein. Dafür hätte man durch Wasserkraftwerke bei Gibraltar eine bedeutende Energiemenge erzeugen können und Bahn- wie Strassenverbindungen hätten über die Krone des Dammes geführt werden können. Aber von der Notwendigkeit, enorme Schiffsschleusen bei Gibraltar, am Suezkanal und am Bosphorus vorzusehen, war gar nicht die Rede!

For thousands of years the Gibraltar area has been the subject of lively interest, legends, fantasies and for roughly 50 years or so of more or less realistic project ideas. Like the Bosphorus at the other end of the Mediterranean Gibraltar is at one and the same time the border and a means for accessing two continents (Fig. 1).



1 Lage des Gibraltartunnels  
Position of the Gibraltar Tunnel

## Un vieux rêve

### Le tunnel sous le détroit de Gibraltar

En 1980, l'Espagne et le Maroc signaient un contrat entre leurs deux États pour l'étude d'une liaison fixe traversant le détroit. Après le rejet de plusieurs solutions envisagées, le choix se fixa sur un tunnel creusé dans le rocher, sous le fond de la mer et un projet préliminaire fut mis sur pied dans ce sens en 1996. Ultérieurement, force fut de constater que deux fosses constitués de formations de flysch et remplies de brèches se trouvaient sur le tracé du tunnel. En 2009, le remaniement nécessaire du projet débouche sur une solution. Il s'est toutefois avéré qu'avec les méthodes de construction actuellement disponibles, la construction du tunnel frôle la limite du faisable.

## Un sogno antico

### La galleria sotto lo stretto di Gibilterra

Ni 1980 è stato concluso un contratto internazionale tra la Spagna e il Marocco per lo studio di un'opera di collegamento attraverso lo stretto. Dopo aver scartato diverse possibilità, la scelta è caduta un tunnel sottomarino nella roccia, il cui progetto preliminare è stato presentato nel 1996. Successivamente, sul tracciato della gallerie, sono stati osservati due fosse riempite di breccia con formazione di flysch. Si è pertanto reso necessario un nuovo studio, che nel 2009 ha portato ad una soluzione. Tuttavia, è risultato che con gli attuali metodi costruttivi questa la galleria arriva al limite della fattibilità.



2 Damm des Architekten Sorgel  
Architect Sorgel's Dam

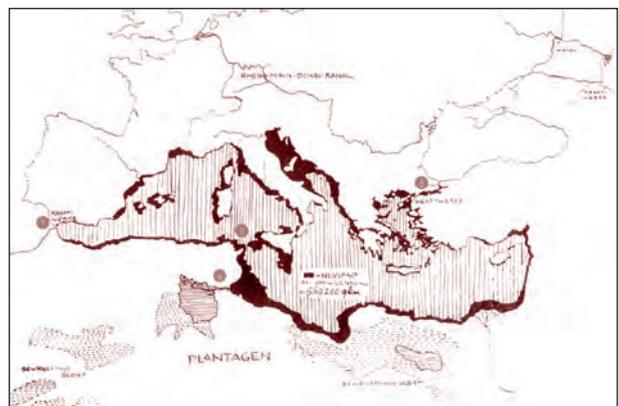
Ein anderer, ebenso unmöglicher, Vorschlag war eine auf den Meeresboden gelegte Tunnelröhre, welche wegen der stellenweise zu grossen notwendigen Steigung für einen Bahntunnel gar nicht denkbar gewesen wäre.

Eine Idee mit einer schwimmenden Insel und zwei versenkten verankerten Tunnelröhren, wie vom sino-amerikanischen Architekten Eugen Tsui vorgeschlagen, musste wegen der Gefahr eines Zusammenstosses mit Unterseebooten und der leichteren Möglichkeit von Terrorangriffen (Bild 4) auch aufgegeben werden.

Als weitere Lösung wurde auch der Bau einer Hängebrücke ins Auge gefasst. Dieser Vorschlag musste aufgegeben wer-

A highly utopian idea was developed by the architect Sorgel from Munich and cultivated for decades on end. It consisted of building a number of dams through the Strait of Gibraltar (Fig. 2), in order to cause the sea level of the Mediterranean to drop by at least 200 m on account of increased evaporation so that around 550,000 km<sup>2</sup> of land would be set free along the coasts for construction schemes and other projects (Fig. 3). The fact that the existing sea ports would then be located some 200 m above sea level seems to have been only a secondary problem as far as the architect was concerned. At any rate it would have been possible to generate a considerable amount of energy through hydro power stations at the Strait and rail and road links could have run along the top of the dam. However, there was no mention that enormous shipping locks would have been required at Gibraltar, the Suez Canal and the Bosphorus.

A further equally impractical proposal was to set up a tunnel tube on the seabed, which would not have been conceivable owing to the excessively large gradient for a rail tunnel.



3 Um 200 m abgesenktes Mittelmeer  
Mediterranean lowered by 200 m



4 Schwimmende Insel mit versenkten Tunneln  
Floating island with immersed tunnel

den, nicht zuletzt wegen der Schwierigkeit, etwa 800 m hohe Pfeiler mindestens 300 m unter der Meeresoberfläche in äusserst ungünstigen Baugrundverhältnissen bei sehr hohen Wasserströmungen zu bauen (Bild 5).



6 Topografie des Meeresbodens  
Seabed topography



5 Hängebrücke  
Suspension bridge

An idea put forward by the Sino-American architect Eugen Tsui of two immersed, anchored tunnel tubes, also had to be abandoned on account of the danger of submarines colliding with the structure and the possibility of easy access for terrorist attacks (Fig. 4).

A further possible solution was to build a suspension bridge. This suggestion had to be discarded partly on account of the difficulties involving setting up roughly 800 m high pillars at least 300 m below sea level in extremely unfavourable subsurface conditions (Fig. 5).

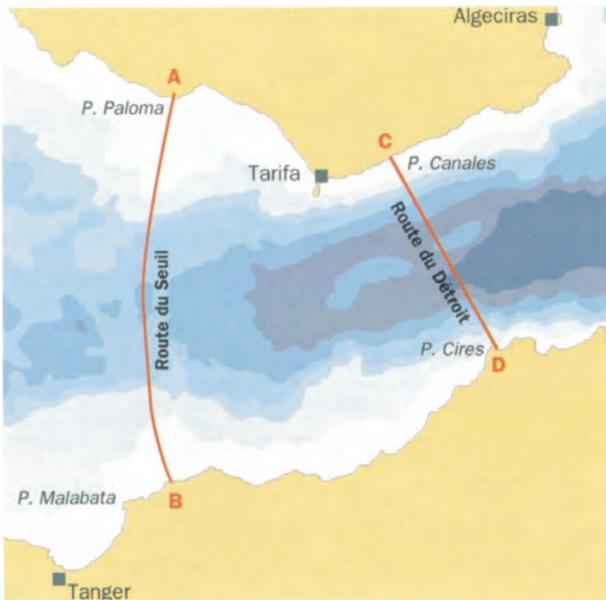
Thus the only realistic solution seems to be to construct a tunnel in the rock subsurface below the seabed. The following report examines tackling such a structure.

## 1 Natural general Conditions

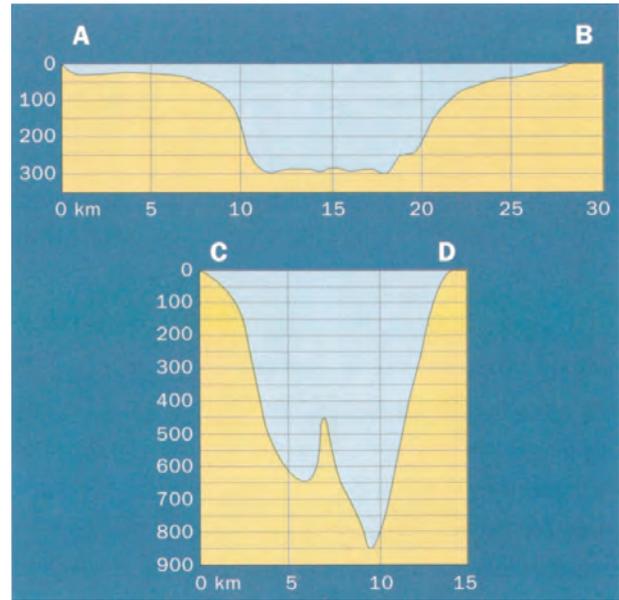
First of all the topographical conditions must be accorded attention. The width of the Strait changes considerably (Fig. 6) and ranges from a minimum of some 15 km at its narrowest point near Algeiras to roughly 30 km across from Tangiers. Unfortunately the depth of the channel runs in the opposite direction from about 1,000 m across from Gibraltar to about 300 m in the "Punta Paloma – Tangiers" axis, which contains a so-called natural "sill" (Fig. 7).

It appears that when the Atlantic intruded the Mediterranean a central channel of roughly the same width was eroded whereas the continental bedplate largely remained unaffected by erosion especially in its western section. As a result it is the natural and fundamental choice to route the tunnel along the above-mentioned sill.

The subsurface of the Strait of Gibraltar by and large constitutes flysch formations, mainly intermittent beds of thin sandstone and marl layers as can be seen in Fig. 8. The fact that they project upwards very steeply indicates out-of-the-ordinary tectonic activity in the area. Indeed it relates to a series of sub-vertical wedges, which are separated from one another by means of fault zones. This geological situation can be traced back to the horizontal thrust, which was created as a result of



7 Zwei typische Querschnitte durch die Meerenge  
Two typical cross-sections through the Strait



Realistisch blieb somit nur die Lösung, einen Tunnel im Felsuntergrund unter dem Meeresboden zu bauen. Allein vom Projekt eines solchen Bauwerkes soll im Folgenden die Rede sein.

### 1 Natürliche Randbedingungen

In erster Linie müssen die topografischen Verhältnisse beachtet werden. Die Breite der Meerenge ist sehr veränderlich (Bild 6) und reicht von einem Minimum von etwa 15 km an der engsten Stelle bei Algeciras bis etwa 30 km gegenüber Tanger. Leider verläuft die Tiefe des Grabens in umgekehrter Richtung: von etwa 1000 m gegenüber Gibraltar bis auf 300 m in der Achse „Punta Paloma – Tanger“, wo eine sogenannte natürliche „Schwelle“ vorhanden ist (Bild 7).

Es hat den Anschein, dass anlässlich des Einbruchs des Atlantiks in das Mittelmeer ein zentraler Graben von etwa gleichmässiger Breite erodiert wurde, während die kontinentalen Sockel vor allem im westlichen Abschnitt von der Erosion teilweise verschont blieben. Aus dieser Tatsache ergibt sich die natürliche und grundlegende Wahl, den Tunnel entlang der genannten Schwelle zu trassieren.

Der Untergrund der Meerenge von Gibraltar besteht im Wesentlichen aus Flyschformationen, zur Hauptsache aus einer Wechsellagerung von dünnen Sandstein- und Mergelschichten, wie aus Bild 8 ersichtlich ist. Dass dieselben recht steil aufgerichtet sind, deutet auf eine ausserordentliche tektonische Tätigkeit in der Gegend hin. In der Tat handelt es sich um eine Serie von subvertikalen Schuppen, die durch Störungszonen voneinander getrennt sind. Diese geologische Situation ist im Grunde auf den horizontalen Schub, der durch den Zusammenstoss der afrikanischen mit

the collision of the African with the European continental plates. In actual fact the two continents are currently approaching each other at the rate of some 2 cm per year.



8 Flyschformationen an der spanischen Küste  
Flysch formations at the Spanish coast

der euro-asiatischen kontinentalen Platte entsteht, zurückzuführen. Tatsächlich ist gegenwärtig noch eine Annäherung der zwei Kontinente um etwa 2 cm pro Jahr festzustellen.

Es ist mehr als wahrscheinlich, dass sich die Bruchfläche, die an der algerischen Küste vorbeiläuft, durch die Meerenge fortsetzt. Einzelne Erdbebenherde in diesem Bereich sind ebenfalls festzustellen. Es handelt sich jedoch um recht schwache Beben mit entsprechenden tiefen Verformungs-Moduli und Festigkeitswerten des Gebirges.

Als weitere, unter Umständen sehr wichtige natürliche Tatsache sind die sehr starken Wasserströmungen in beiden Richtungen durch die Meerenge zu erwähnen, welche den Sondierarbeiten und anderen Tätigkeiten, abgesehen vom Baugeschehen, ernsthafte Schwierigkeiten bereiten würden. Demnach fallen etwaige Sondierbohrungen in der Meerenge sehr teuer aus. Bohrkern kommen auf etwa 10 000 bis 15 000 CHF pro Meter zu stehen.

### 2 Vorgeschichte

Im Jahre 1980 wurde zwischen den Königen der beiden Länder Spanien und Marokko eine Erklärung mit der Absicht unterzeichnet, die Studien für die Querung der Meerenge zu fördern und die Schaffung einer festen Verbindung zwischen den zwei Ländern anzustreben. Es wurde auch je eine Gesellschaft gegründet mit der Absicht, diese zu verwirklichen. In Marokko handelt es sich um die SNED – Société Nationale d'Etude du Détroit und in Spanien um die SECEG – Sociedad Española de Estudio para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar.

Die französische Firma Setec wurde beauftragt, das Projekt für einen solchen Tunnel aufzustellen, selbstverständlich aufgrund der damals bekannten natürlichen Gegebenheiten. Es entstand somit im Jahre 1996 das sogenannte APP96 (Avant Projet Préliminaire 1996). Die Trassierung folgte im Wesentlichen der Meeresschwelle. Der tiefste Punkt des Tunnels lag etwa auf Kote minus 400 m. Die Länge des Tunnels betrug rd. 38 km und die Steigung der Rampen maximal 25 ‰. Terminals wurden in Punta Paloma und Tanger projektiert (Bild 9). An beiden Seeufnern waren vertikale Bau- und Lüftungsschächte vorgesehen. Der Ausbruch

It is more than probable that the fracture path, which runs past the Algerian coast, continues through the Strait. Various seismic foci in this area are also evident. However these are extremely weak quakes with corresponding deep deformation models and strength values of the rock.

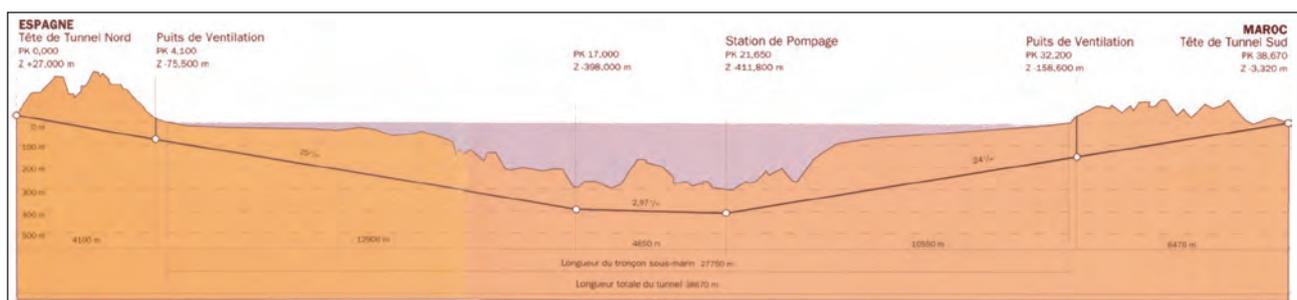
There is a further factor, perhaps a very important natural one, namely the very strong water currents, which would pose substantial difficulties for exploratory work and other activities quite apart from the construction process. Accordingly exploratory drilling in the Strait would be very expensive. Core samples cost about 10,000 to 15,000 CHF per metre.

### 2 Prior History

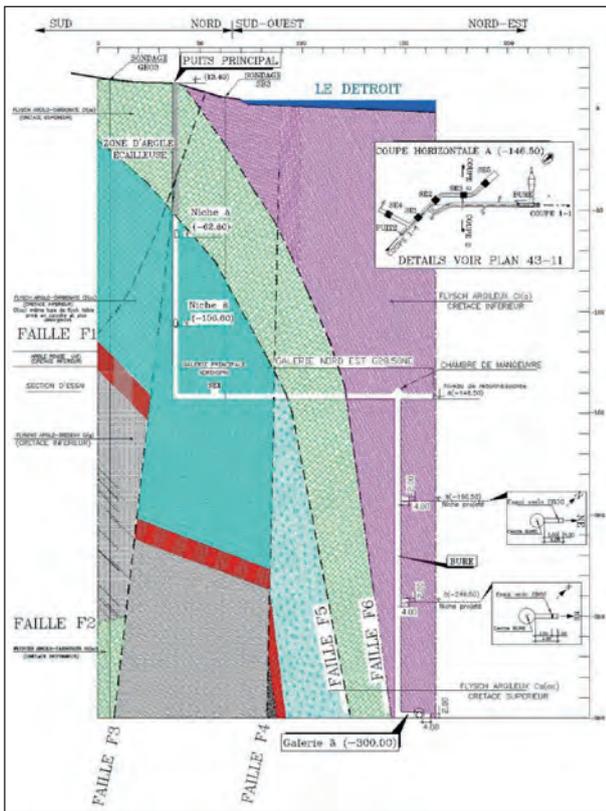
In 1980 a declaration was signed by the kings of Spain and Morocco with the intention of furthering studies for crossing the Strait of Gibraltar and creating a fixed link between the two countries. A company was established in each of the countries with the objective of realising this objective. In Morocco this was the SNED – Société Nationale d'Etude du Détroit and in Spain the SECEG – Sociedad Española de Estudio para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar.

The French Setec company was commissioned to devise such a tunnel for the project, clearly on the basis of the natural circumstances prevailing at the time. Thus in 1996 the so-called APP96 (Avant Projet Préliminaire 1996) resulted. The route alignment largely followed the sea sill. The tunnel's deepest point was located at the level of minus 400 m. The tunnel was 38 km long and the ramp gradient a maximum of 25 ‰. Terminals were planned at Punta Paloma and Tangiers (Fig. 9). Vertical construction and ventilation shafts were foreseen on both coasts. The excavation of cavities in what was presumed at the time to be flysch rock was not expected to result in any particular problems as had been revealed by the shaft and tunnel structures produced at both sides for exploratory purposes (Fig. 10). In addition the rock could be considered fairly or at least sufficiently waterproof.

Various exploratory campaigns were undertaken during the next few years to back up the project prognosis in the vicinity of the tunnel below the seabed. In the process the surpris-



9 Längenprofil des APP96  
APP96 longitudinal profile



10 Schacht und Stollen in Malabata  
Shaft and tunnel in Malabata

von Hohlräumen im damals angenommenen Flyschgebirge sollte an sich keine besonderen Probleme aufwerfen, wie die zu Sondierzwecken ausgeführten Schacht- und Tunnelbauten auf beiden Seeufnern bewiesen hatten (Bild 10). Auch konnte man das Gebirge als recht oder zumindest genügend wasserdicht betrachten.

Zur Absicherung der Projektprognose wurden in den folgenden Jahren verschiedene Sondierkampagnen im Bereich des Tunnels unter dem Meeresgrund ausgeführt. Dabei kam nun die grosse Überraschung in Form der Entdeckung von zwei mit Brekzien aufgefüllten Gräben entlang der Meerenge zu Tage (Bild 11)!

ing discovery emerged of two channels filled with breccias along the Strait (Fig. 11)!

### 3 Channels filled with Breccia

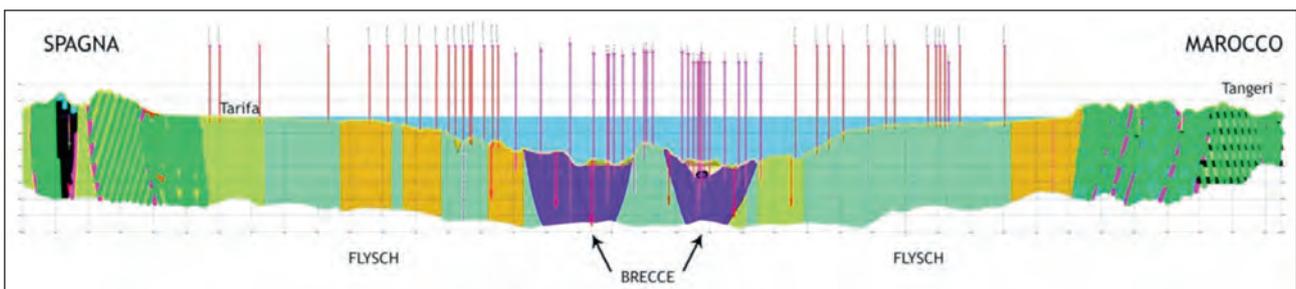
The numerous explorations subsequently undertaken within the scope of different campaigns revealed that two channels had to be crossed along the tunnel alignment, which could be at least 600 m below sea level and were at a level of -500 m altogether 2.8 to 4.8 km wide.

These channels probably originated as a result of the erosion of the flysch rock caused by the water current flowing from the Atlantic to the Mediterranean, which occurred as the two seas joined resulting from tectonic activity, which led to the Mediterranean damming up. As the two sea levels balanced out and the water currents largely were reduced to the influence of ebb and flow, major slides are thought to have occurred from the flanks, which filled the channels up to a level of roughly - 300 m. The fill consists of flysch breccias, which slid under the water so that they could not be particularly well consolidated. The rock's extremely poor rock-mechanical properties placed the feasibility of the APP96 project in question and at least called for it to be basically revised. It must also be said that the channels on the bed of the Strait were partially covered with sand and clastic lime formations so that they were not discernible at an earlier stage.

### 4 Project Competition

Based on these new findings it gradually became evident that a thorough revision of the 1996 draft was essential above all regarding the two channels. In actual fact a revision was not essentially the objective but far rather compiling a new project, as other requirements had also changed in the interim; safety demands for rail traffic for instance.

An engineering competition was held in 2006 and it was won by the engineering consortium Typsa Madrid, Lombardi AG Minusio-Locarno, Geodata Turin and Ingema Rabat. The commission, originally concerning the feasibility preliminary project, applied to the tunnel itself in all its aspects and the



11 Entdeckung der zwei brekziengefüllten Gräben  
Discovery of the two channels filled with breccias

### 3 Mit Brekzien gefüllte Gräben

Die zahlreichen im Rahmen verschiedener Kampagnen anschliessend ausgeführten Sondierungen zeigten, dass entlang der Tunneltrassierung zwei Gräben zu queren waren, die eine Tiefe von mindestens 600 m unter dem Meeresspiegel hatten und die auf Kote –500 m in Summe 2,8 bis 4,8 km Breite erreichen können.

Der Ursprung dieser Gräben wird in der Erosion des Flyschgebirges durch die Wasserströmung vom Atlantik zum Mittelmeer vermutet, welche stattfand, als die Verbindung zwischen den beiden Meeren durch tektonische Aktivität geschaffen wurde, was zum Aufstau des Mittelmeeres führte. Als sich die beiden Meeresspiegel angeglichen und die Wasserströmungen im Wesentlichen etwa auf den Einfluss von Ebbe und Flut reduziert hatten, sollen grosse Rutschungen aus den Flanken stattgefunden haben, die die Gräben bis auf etwa Kote –300 m aufgefüllt haben. Die Auffüllung besteht aus Flyschbrekzien, die unter Wasser gerutscht waren und somit nicht besonders gut konsolidiert sein können. Die sehr schlechten felsmechanischen Eigenschaften des Gebirges stellten die Machbarkeit des Projektes APP96 infrage und verlangten zumindest eine grundlegende Revision desselben. Es muss noch ergänzt werden, dass die Gräben im Boden der Meerenge teilweise mit Sand und klastischen Kalkformationen zugedeckt waren und somit früher kaum vermutet werden konnten.

### 4 Projektwettbewerb

Aufgrund der neuen Erkenntnisse wurde schrittweise klar, dass sich eine grundlegende Revision des Entwurfs von 1996 vor allem im Bereich der beiden Gräben aufdrängte. Allerdings ging es eigentlich nicht um eine Revision sondern vielmehr um die Erstellung eines neuen Projektes, da sich auch andere Erfordernisse in der Zwischenzeit geändert hatten – so etwa die Sicherheitsanforderungen für den Bahnverkehr.

Ein Ingenieurwettbewerb wurde im Jahre 2006 lanciert und die Vergabe erfolgte zugunsten der Ingenieurgemeinschaft Typsa Madrid, Lombardi AG Minusio-Locarno, Geodata Turin und Ingema Rabat. Der Auftrag, eigentlich für ein Machbarkeits-Vorprojekt gedacht, betraf den eigentlichen Tunnel unter allen Gesichtspunkten, aber auch beide Endstationen mit den Bahn- und Strassenanschlüssen auf beiden Kontinenten sowie das Rollmaterial, den Betrieb, einschliesslich des Fahrplanes, ohne dabei alle Umweltaspekte zu vergessen. Wegen verschiedener Schwierigkeiten verlängerten sich die Bearbeitungsphasen, sodass die Studie erst Ende 2009 bei den Bauherren abgeliefert werden konnte.

Das Projekt wurde massgeblich durch die erwähnten brekziengefüllten Gräben bestimmt; sie bildeten die eigentliche neue Gegebenheit, die in der Tat auf alle Aspekte des Projekts Einfluss hatte.

two terminal stations with rail and road links on both continents as well as rolling stock, operation including the timetable quite apart from environmental aspects. The processing phases were prolonged on account of various difficulties so that the study was first made available to the clients towards the end of 2009.

The project was largely governed by the channels filled with breccias that were mentioned; they formed the essential new factor, which exerted an influence on every aspect of the project.

### 5 The new Project

Various changes had to be made compared to project APP96. The geotechnical properties of the breccias and the discovery of sands in the area around the channels prompted the tunnel route to be set deeper. The deepest point now lies at a level of –475 m. As a result steeper ramps are needed providing the tunnel's total length is not to be increased beyond the minimum. They reach 30 ‰ which can be regarded as the upper permissible value (Fig. 12).

The still uncertain total width of the breccias determines the length of the almost horizontal central section, which was first estimated to be 5 km. Further investigations however led to a modest reduction and perhaps a less deep position for this section.

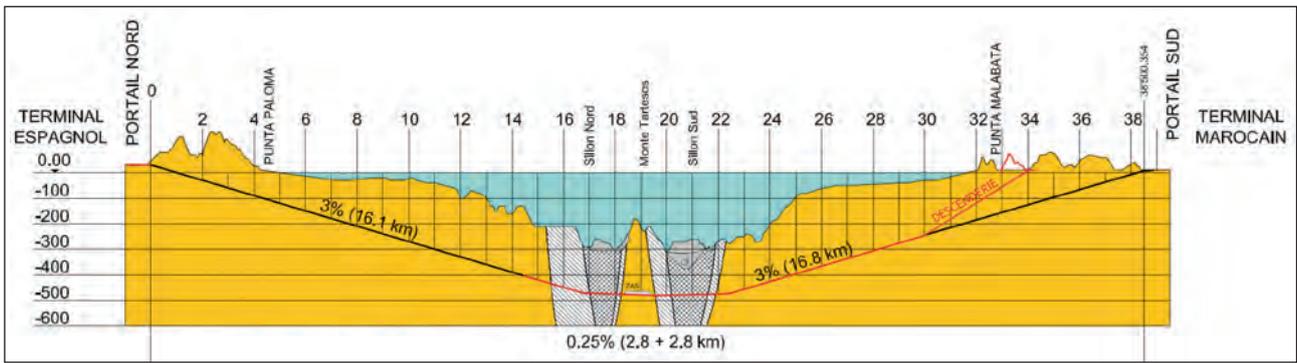
The so-called "Mont Tartesos", i.e. a zone of healthy flysch rock in which a safety stop will be set up at the deepest point of the route (Fig. 13) is located between the two channels. The lay-out varies only slightly from that for the APP96. First and foremost older, deep exploratory drillings, which were not well grouted, were avoided, which possibly could form a dangerous path for water between the seabed and the structure (Fig. 14).

In its final phase the facility will constitute two rail tunnels and a safety tunnel, with cross-passages set 340 m apart thus greatly resembling the Channel Tunnel. From the emergency stop the spent air – and smoke as well in the event of fire – will be removed through a further tunnel. The latter is an exploratory tunnel driven from the Moroccan side, which will subsequently be used as an exhaust tunnel.

The first construction stage envisages only a rail tunnel and the safety tunnel. In the second, subsequent stage the second rail tunnel is to be produced. There is also a version of the project without the safety tunnel, with an initially unfurnished rail tunnel serving as the safety route for the other tunnel bore (Fig. 15).

### 6 Rocks

As previously mentioned the breccias in the two channels represent the greatest factor of uncertainty for the project,

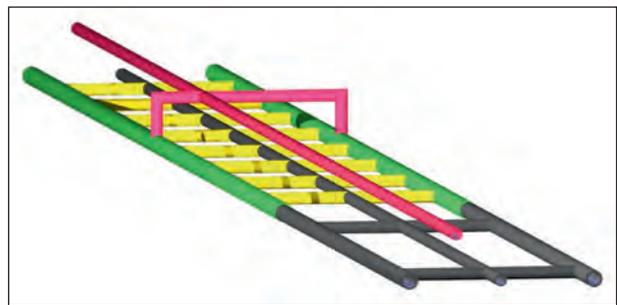


12 Längenprofil des APP07 (2009)  
APP07 longitudinal profile (2009)

### 5 Das neue Projekt

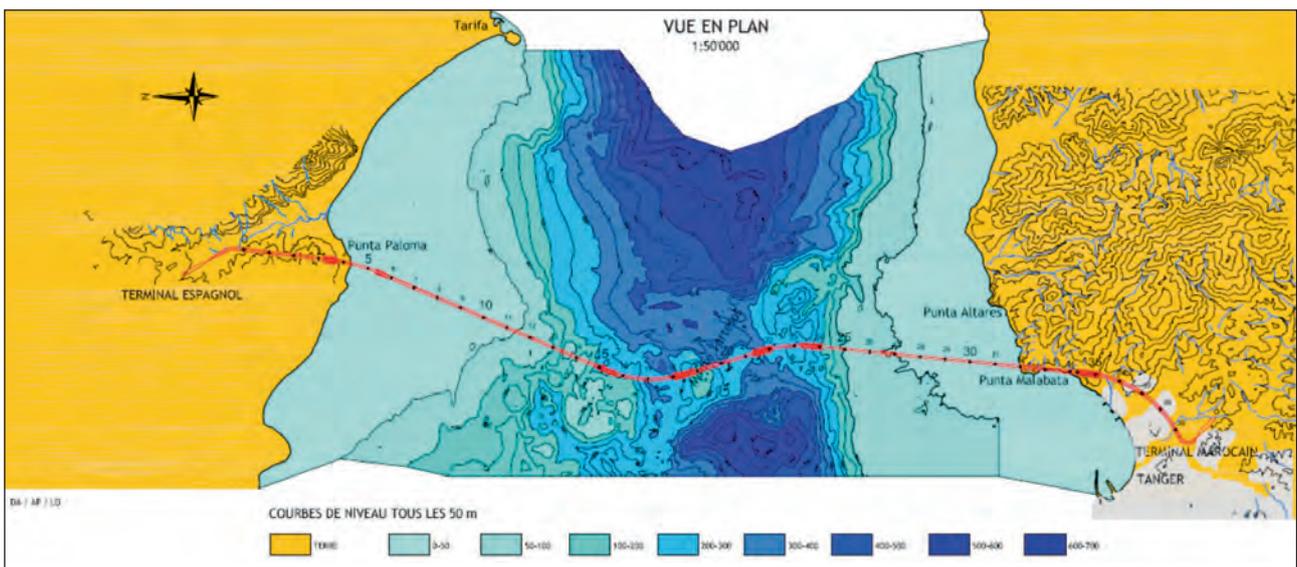
Gegenüber Projekt APP96 mussten verschiedene wesentliche Änderungen vorgenommen werden. Die geotechnischen Eigenschaften der Breccias und die Entdeckung von Sanden im Bereich der Gräben haben eine tiefere Trassierung des Tunnels veranlasst. Der tiefste Punkt liegt nun etwa auf Kote -475 m. Demzufolge ergeben sich steilere Rampen, falls die Gesamtlänge des Tunnels nicht über das Minimum erhöht werden soll. Sie erreichen 30 ‰, was als oberster zulässiger Wert betrachtet werden kann (Bild 12).

Die noch ungesicherte totale Breite der Breccias bedingt die Länge des nahezu horizontalen zentralen Abschnitts, der vorderhand auf etwa 5 km festgelegt wurde. Weitere Untersuchungen mögen allenfalls eine bescheidene Verkürzung und vielleicht eine etwas weniger tiefe Lage dieses Abschnittes gestatten.

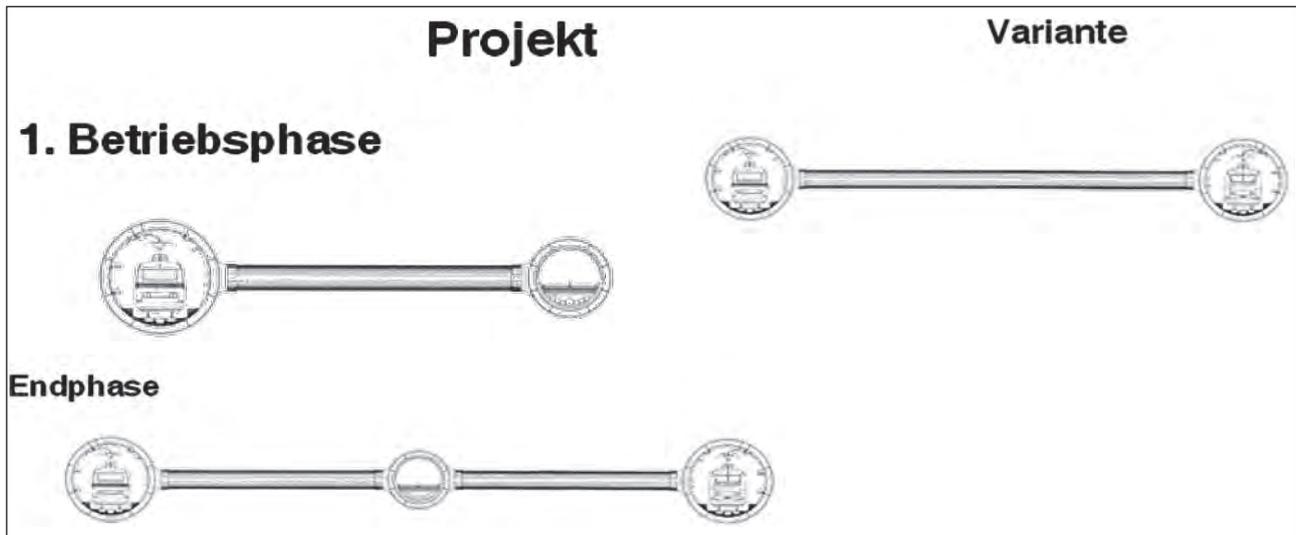


13 Sicherheitshaltestelle  
Safety stop

which could even place its feasibility in question. The breccias thus represent the sole genuine problem for the Gibraltar Tunnel (Figs. 16 and 17). It must be admitted that at present very little is known about them. As previously mentioned their extent at tunnel level cannot even be estimated. It can vary from 2.8 to 4.8 km. Establishing the actual geotechnical



14 Situation des Tunnels APP07  
Position of the APP07 Tunnel



15 Querschnitt der verschiedenen Varianten  
Cross-section of the various alternatives

Zwischen den zwei Gräben liegt der sogenannte „Mont Tartesos“, d. h. eine Zone gesunden Flyschgebirges, in welcher im tiefsten Punkt der Trassierung eine Sicherheits- haltestelle eingerichtet werden soll (Bild 13). Der Grundriss weicht nur wenig von demjenigen der APP96 ab. Vor allem wurde älteren, tiefen, nicht gut ausgepressten Sondierbohrungen ausgewichen, welche allenfalls einen gefährlichen Wasserweg zwischen Seegrund und Bauwerk bilden könnten (Bild 14).

In der Endphase würde die Anlage aus zwei Bahntunneln und einem Sicherheitsstollen, mit Querverbindungen im Abstand von 340 m, bestehen und somit dem Ärmelkanal-Tunnel sehr ähnlich sein. Von der Sicherheitshaltestelle wird die Abluft – und im Brandfall der Rauch – durch einen weiteren Stollen abgesogen. In der Tat handelt es sich hier um einen von der marokkanischen Seite her vorgetriebenen Sondierstollen, der in der Folge als Absaugstollen benutzt würde.

Die erste Bauetappe sieht nur einen Bahntunnel und den Sicherheitsstollen vor. In der zweiten, späteren Etappe soll der zweite Bahntunnel gebaut werden. Es besteht auch eine Projektvariante ohne Sicherheitsstollen, wobei anfänglich der eine nicht ausgerüstete Bahntunnel als Sicherheitsweg für die andere Tunnelröhre benutzt werden würde (Bild 15).

## 6 Gesteine

Wie bereits erwähnt, bilden die Brekzien in den zwei Gräben, welche ggf. sogar die Machbarkeit des Projekts infrage stellen könnten, die grösste Unsicherheit. Die Brekzien sind somit das einzige wirkliche Problem für den Gibraltar-Tunnel (Bilder 16 und 17). Es muss zugegeben werden, dass von ihnen – zurzeit – recht wenig bekannt ist. Wie gesagt, kann nicht einmal deren Ausdehnung auf Kote des Tunnels mit

conditions is something still being worked out on the basis of some old core samples at the ETHZ's Institute for Rock Mechanics with Prof. Anagnostou.



16 Bohrkerne aus der Brekzie  
Core samples from the breccias



17 Bohrkerne aus der Brekzie mit Steineinlagen  
Core samples from the breccias with stone intrusions

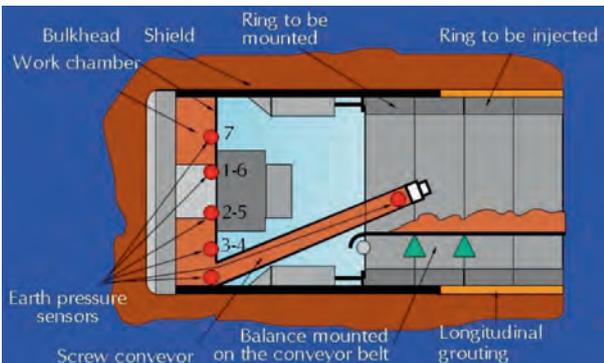


18 Quellen der Flyschformation im Schacht Malabata  
Swelling of the flysch formation in the Malabata shaft

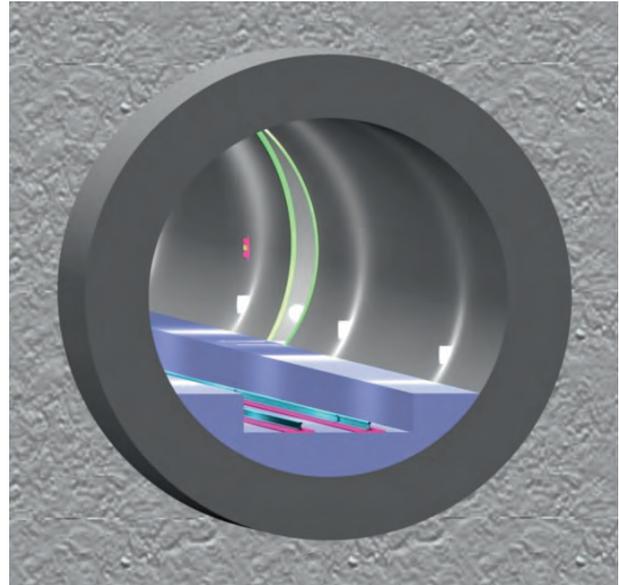
Genauigkeit geschätzt werden; sie kann von 2,8 bis 4,8 km variieren. Die Ermittlung der wirklichen geotechnischen Eigenschaften ist immer noch anhand von einigen alten Bohrkernen an der ETHZ im Institut für Felsmechanik bei Prof. Anagnostou im Gang.

Die Statik des Tunnels und die Wahl der Vortriebsart stützen sich daher zur Hauptsache immer noch auf Schätzungen und auf Parameterstudien. Die sehr niedrige Durchlässigkeit von  $10^{-10}$  bis  $10^{-8}$  m/s und sogar weniger bestimmt die Dauer einer Drainage ungünstig mit. Die Brekzien gleichen eher einem Locker- als einem Festgestein.

Wie die Erfahrungen an Sondierschächten und -stollen bewiesen haben, ist der Aushub im Flysch ohne besondere Probleme möglich. Erst vor Kurzem wurde die Quellfähigkeit dieser Formationen erkannt, und zwar anlässlich eines Wassereintruchs von der Oberfläche her in den Sondierschacht in Malabata/Marokko (Bild 18). Die Konsequenz ist, dass nach dem Ausbruch des Tunnels mit der Zeit ein Wiederaufbau des natürlichen Spannungszustandes nicht auszuschliessen ist und sogar zu erwarten sein wird. Dies führt zu der Notwendigkeit einer starken Auskleidung und somit zur Notwendigkeit der Unterteilung des Tübbingringes in zahlreiche Elemente, um deren Gewicht in Grenzen zu halten. Die Ausbildung der Fugen zwischen den Tübbingungen stellt eine weitere Herausforderung an das Projekt dar (Bild 19).



20 EBP-Schild (Earth Pressure Balanced)  
EBP shield (Earth Pressure Balance)



19 Auskleidung des Sondier- und des Sicherheitsstollens  
Lining the exploratory and safety tunnels

As a result the tunnel's statics and the choice of driving method still mainly depend on estimates and parameter studies. The extremely low permeability of  $10^{-10}$  to  $10^{-8}$  m/s and even less represents an unfavourable codetermining factor for the duration of a drainage system. The breccias more resemble soft ground rather than solid rock.

As findings from exploratory shafts and tunnels have shown, excavating in flysch is possible without any particular problem. Only recently the swelling capacity of these formations was established, namely when water flowed in from the surface into the exploratory shaft at Malabata/Morocco (Fig. 18). The consequence is that once the tunnel is excavated it cannot be precluded that the natural state of stress will build up again and indeed is expected to do so. This leads to the need for a strong lining and in turn for the segmental ring to be divided into numerous elements in order to keep their weight within limits. The formation of the joints between the segments represents a further challenge for the project (Fig. 19).

## 7 Construction Method

Penetrating the two channels filled with breccias already mentioned undoubtedly calls for the application of tunnel boring machines with a suitable shield (Fig. 20). On account of the weak properties of this rock already cited the face must certainly be stabilised in a suitable manner using earth or slurry pressure. As a consequence of the extremely high water pressure, advance, extremely intensive draining of the rock by means of a ring of drillings is essential so that the pore water pressure can be reduced to an acceptable value (Fig. 21).

At the deepest point of the tunnel the water pressure amounts to 5 MPa, i.e. roughly two thirds of the total pres-

## 7 Baumethode

Die Durchquerung der beiden erwähnten brekziengefüllten Gräben verlangt zweifelsohne den Einsatz von Tunnelbohrmaschinen mit geeignetem Schild (Bild 20). Wegen der erwähnten schwachen Eigenschaften dieses Gebirges muss die Brust unbedingt in geeigneter Weise durch einen Erd- oder Schlammdruck stabilisiert werden. Als Folge des aussergewöhnlich hohen Wasserdrucks ist auch eine vorausseilende sehr intensive Dränierung des Gebirges durch einen Ring von Bohrungen erforderlich, um den Porenwasserdruck auf einen annehmbaren Wert zu reduzieren (Bild 21).

Im tiefsten Bereich des Tunnels erreicht der Wasserdruck im natürlichen Zustand, bei einer totalen Spannung von nur etwa 7,4 MPa, 5 MPa, d. h. rund zwei Drittel der totalen Spannung, was aussergewöhnlichen Verhältnissen entspricht. Es versteht sich, dass spezielle und extreme Anforderungen an den Bauvorgang gestellt werden. Im übrigen Bereich des Tunnels, d. h. im Flysch, sind die Bedingungen wesentlich leichter – nicht nur wegen der viel besseren Gebirgseigenschaften, sondern auch wegen der kleineren Überlagerungen und des günstigeren Verhältnisses zwischen Porenwasserdruck und totaler Spannung.

In den Flyschformationen sind somit leichtere Baumethoden denkbar; insbesondere werden die Vordränage des Gebirges und – ab einer bestimmten Distanz von den Brekzien – auch die Stützung der Ortsbrust nicht mehr erforderlich sein. Die genaue Lage des Überganges von einer leichteren zu einer schwereren Baumethode wäre noch im Detail abzuklären.

## 8 Rechnerische Untersuchungen

Wegen der speziellen, bisher noch nirgends angetroffenen Verhältnisse müssen nicht nur neue Baumethoden und neue Baumaschinen entwickelt werden, sondern es sind zuerst noch neue Berechnungsmethoden für das Bauwerk zu entwickeln. Es handelt sich um eine gekoppelte mechanisch-hydraulische Analyse unter der Bedingung eines fortschreitenden Vortriebs.

Die dreidimensionale Analyse konnte unter den gegebenen Verhältnissen durch ein zentralsymmetrisches Modell ersetzt werden, und zwar wegen der Symmetrie des Baukörpers und der Isotropie des Gebirges. Die Isotropie des natürlichen Spannungszustandes kann unter den vorliegenden Verhältnissen vernünftigerweise angenommen werden (Bild 22).

Es wurde ein Tunnel von 6 m Innendurchmesser simuliert, der demjenigen des Sicherheits- und des Sondierstollens entspricht, da solche Bauwerke als erste zur Ausführung kommen würden. Die Ergebnisse können jedoch vorderhand auf die Bahntunnel mit 8 m Durchmesser extrapoliert werden. Für die Brekzien und die schlechtesten Flyschformationen wurden 125 Fälle durchgerechnet, die das ganze Spektrum der denkbaren Verhältnisse abdecken sollen

sure of around 7.4 MPa, something corresponding to extraordinary circumstances. It is evident that special, extreme demands will be posed on the construction process. Elsewhere in the tunnel, i.e. in the flysch, conditions are considerably easier not simply on account of the far better rock properties but also because of the shallower overburdens and the more favourable ratio between pore water pressure and total stress.

In the flysch formations easier construction methods are thus conceivable; in particular prior drainage of the rock and – as from a certain distance from the breccias – supporting the face will also no longer be necessary. The precise position of the transition from a straightforward to a more complex construction method must still be clarified in detail.

## 8 Computational Investigations

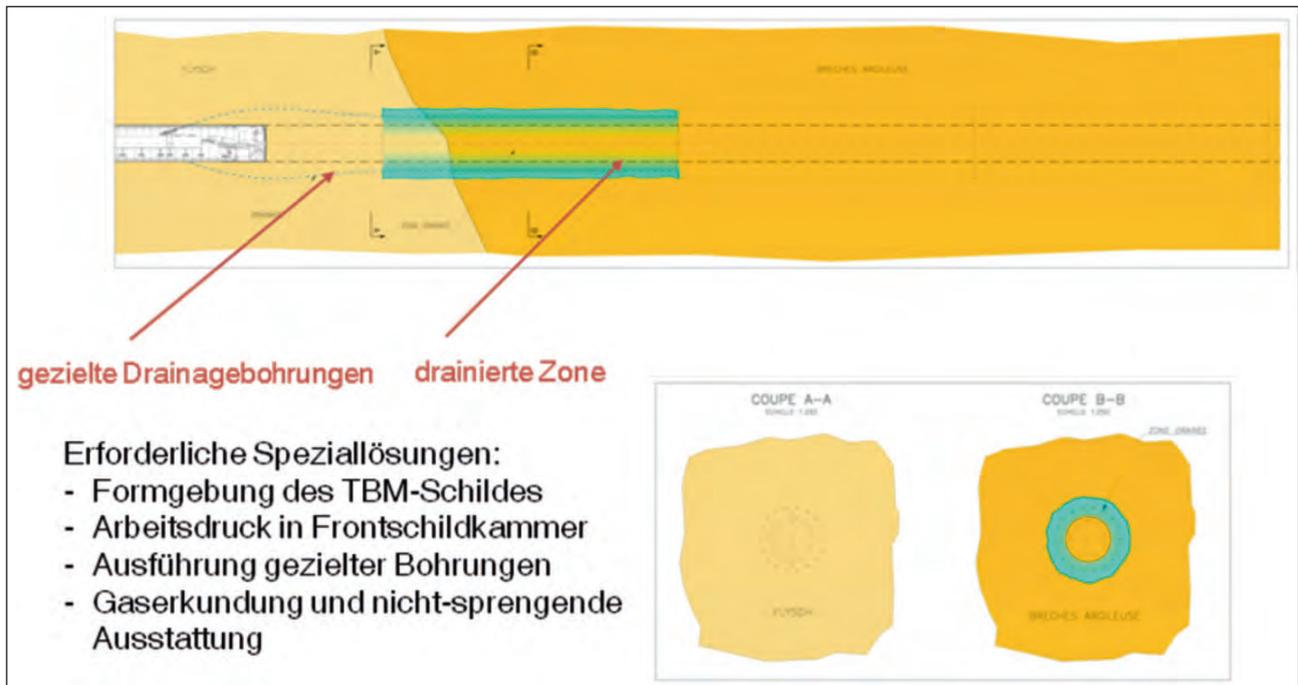
On account of the conditions, which have never actually been encountered elsewhere, new construction methods and machines have to be developed. In addition first of all new analytical methods must be devised for the structure. These relate to a coupled mechanic-hydraulic analysis given a progressing drive.

The three-dimensional analysis could be replaced by a central symmetrical model under the given circumstances – namely on account of the symmetry of the structure and the rock's isotropy. The isotropy of the natural stress state can reasonably be assumed given the existing conditions (Fig. 22).

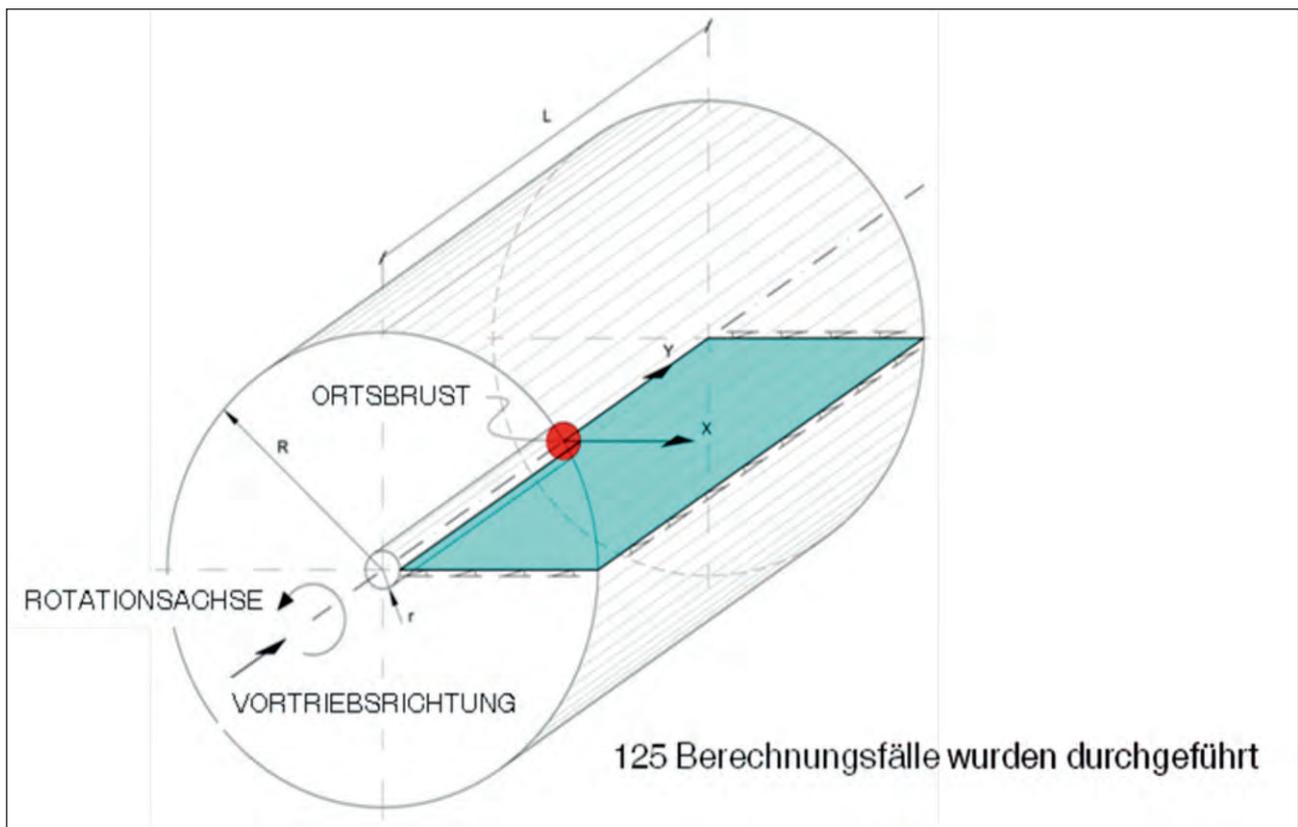
A tunnel with 6 m internal diameter was simulated, which corresponds to the diameter of the safety and exploratory tunnels as these structures will be the first to be produced. The results however can be first be extrapolated to the rail tunnel with 8 m diameter. 125 cases were recalculated for the breccias and the poorer flysch formations, which are intended to cover the whole spectrum of the conceivable conditions (Table 1). The geotechnical values taken as the starting point were determined and then varied so that their possible spread was covered (Table 2).

For each case the course of the convergence, the effective stresses and the pore pressure were worked out (Fig. 23). The convergence is of particular interest: in front of the face, from the face to the shield, along the shield, at the transition to the segments and along them – and this in the course of time, i.e. the drive (Fig. 24). The radial convergence in front of the shield was limited to 40 cm, as otherwise the precise guidance of the tunnel boring machine would have been practically impossible.

The counter-pressure on the tunnel face is extremely effective. It was determined as a basic value of 1 MPa, which corresponds to the uppermost limit for current tunnel boring machines. A higher value – for instance about 2 MPa – would



21 Ring von Drainagebohrungen um den kluftigen Tunnel/Stollen  
Ring of drainage drilling around the fissured tunnel/heading



22 Rotationssymmetrisches Berechnungsmodell  
Rotation symmetrical analytical model

(Tabelle 1). Die als Ausgangspunkt angenommenen geotechnischen Werte wurden festgelegt und dann variiert, um deren mögliche Streubreite abzudecken (Tabelle 2).

have been far more favourable (higher rates of advance would be possible), but hardly conceivable at present.

*Tabelle 1: Geomechanische Eigenschaften der Brekzien*

Wichte $\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,7
Reibungswinkel $\varphi$	[ ]	17 – 24
Kohäsion C	[kPa]	100 – 150
Verformungsmodell E	[MPa]	200
Plastische Grenze (softening) $\epsilon_{\text{pe}}$	[%]	10
Poisson'sche Zahl $\nu$	[ ]	0,33
Durchlässigkeit k	[m/s]	$1 \times 10^{-10}$

*Tabelle 2: Hauptdaten für die Berechnungen (mit Streubreite)*

Länge des Schildes	[m]	10
Druck an der Ortsbrust (1 ÷ 2)	[MPa]	1
Vortriebsleistung (1 ÷ 5)	[m/Tag]	3
Durchlässigkeit ( $10^{-10}$ ÷ $10^{-7}$ )	[m/s]	$10^{-8}$
Zulässige radiale Konvergenz (von Ortsbrust bis zum Schild)	[cm]	40

Für jeden Fall werden der Verlauf der Konvergenz, die effektiven Spannungen und der Porendruck errechnet (Bild 23). Insbesondere interessiert die Konvergenz: vor der Ortsbrust, von der Ortsbrust bis zum Schild, entlang des Schildes, beim Übergang zu den Tübbingen und entlang derselben, und dies im Verlaufe der Zeit, d. h. des Vortriebs (Bild 24). Die radiale Konvergenz vor dem Schild wurde auf 40 cm beschränkt, da sich ansonsten die genaue Führung der Tunnelbohrmaschine als praktisch unmöglich erweisen würde.

Der Gegendruck an der Tunnelbrust ist äusserst wirksam. Er wurde als Grundwert zu 1 MPa festgelegt, was der obersten Grenze für heutige Bohrmaschinen entspricht. Ein höherer Wert – zum Beispiel um 2 MPa – wäre viel günstiger (höhere Vortriebsleistungen wären möglich), zurzeit jedoch kaum denkbar.

Die Wirkung der Drainagebohrungen hängt selbstverständlich direkt von der Durchlässigkeit des Gebirges ab. Ist dieselbe tief, so sind zahlreiche und längere Bohrungen nötig und die Vortriebsgeschwindigkeit müsste reduziert werden. Selbstverständlich ist nicht nur der Fall des laufenden Vortriebs, sondern auch derjenige des Stillstands der TBM zu untersuchen. Das Risiko des Einklemmens der Maschine ist nicht auszuschliessen (Bild 25). Auf jeden Fall zeigen die durchgeführten Berechnungen, dass

- die Strömungskräfte für die Stabilität der plastischen Zone während des Vortriebs massgebend sind,
- in den Brekzien und in den Flyschen der schlechtesten Felsklasse Drainagebohrungen unerlässlich sind,
- die erreichbare Vortriebsgeschwindigkeit von der Wirkung der Drainagebohrungen und somit von der Durchlässigkeit des Gebirges abhängt,

*Table 1: Geomechanical Properties of the Breccias (average values)*

Specific weight $\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21.7
Angle of friction $\varphi$	[ ]	17 – 24
Cohesion C	[kPa]	100 – 150
Deformation model E	[MPa]	200
Plastic limit (softening) $\epsilon_{\text{pe}}$	[%]	10
Poisson's number $\nu$	[ ]	0.33
Permeability k	[m/s]	$1 \times 10^{-10}$

*Table 2: Main Data for the Calculations (spread)*

Length of shield	[m]	10
Pressure at the face (1 ÷ 2)	[MPa]	1
Rate of advance (1 ÷ 5)	[m/Tag]	3
Permeability ( $10^{-10}$ ÷ $10^{-7}$ )	[m/s]	$10^{-8}$
Permissible radial convergence (from face to the shield)	[cm]	40

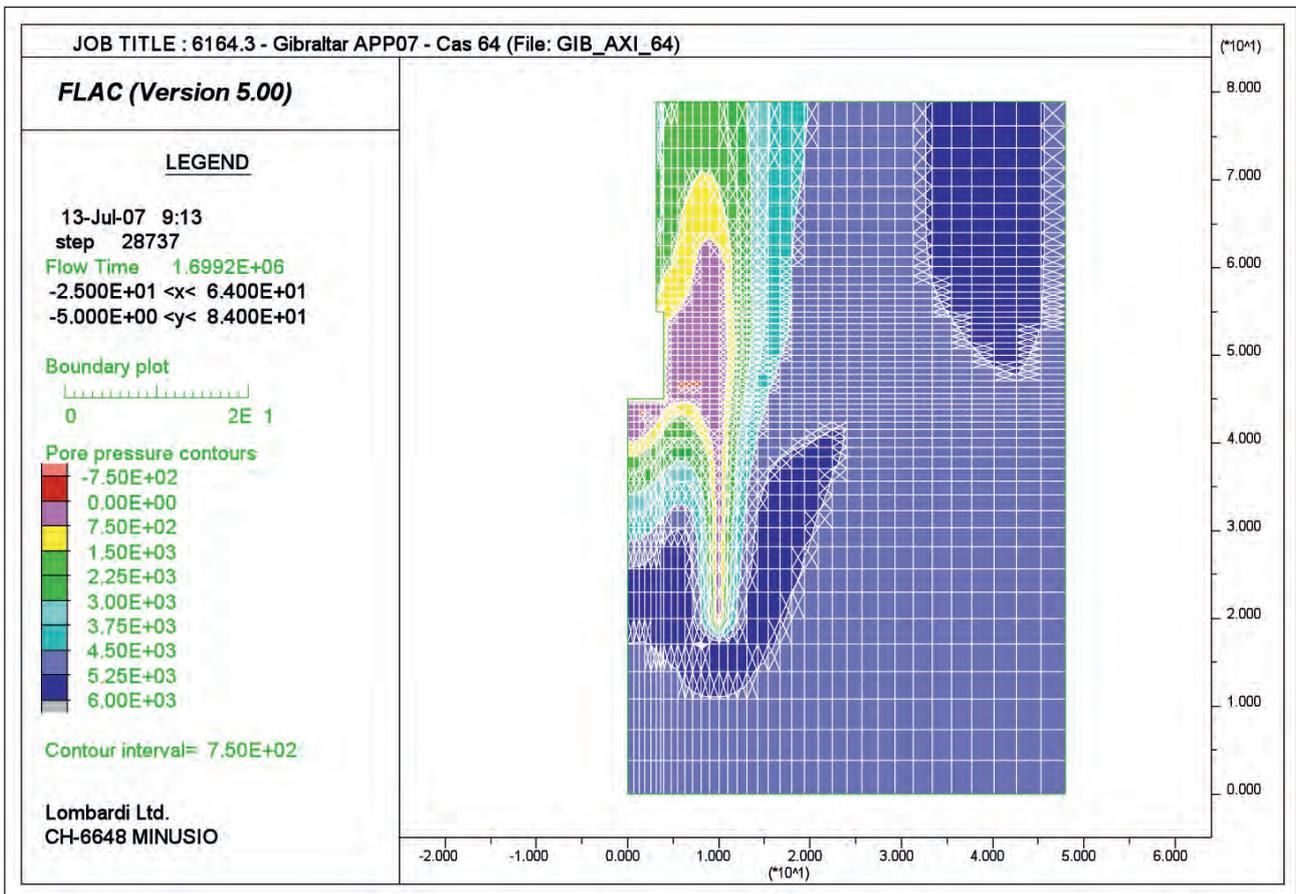
The effect of the drainage drillings naturally depends directly on the rock's permeability. If this is low, then a large number of longer drill holes are required and the rate of advance would have to be reduced. Clearly the case for the TBM being at a standstill must be analysed in addition to the ongoing drive. The risk of the machine clogging cannot be precluded (Fig. 25). At any rate the calculations which were undertaken revealed that

- the flow forces for the stability of the plastic zone during the drive are determining,
- drainage drill holes are essential in the breccias and in the poorest flysch rock class,
- the attainable rate of advance depends on the effect of the drainage drillings and in turn the permeability of the rock,
- the counter-pressure on the face, if possible, should be higher than 1 MPa,
- there is certainly a danger of the shield clogging.

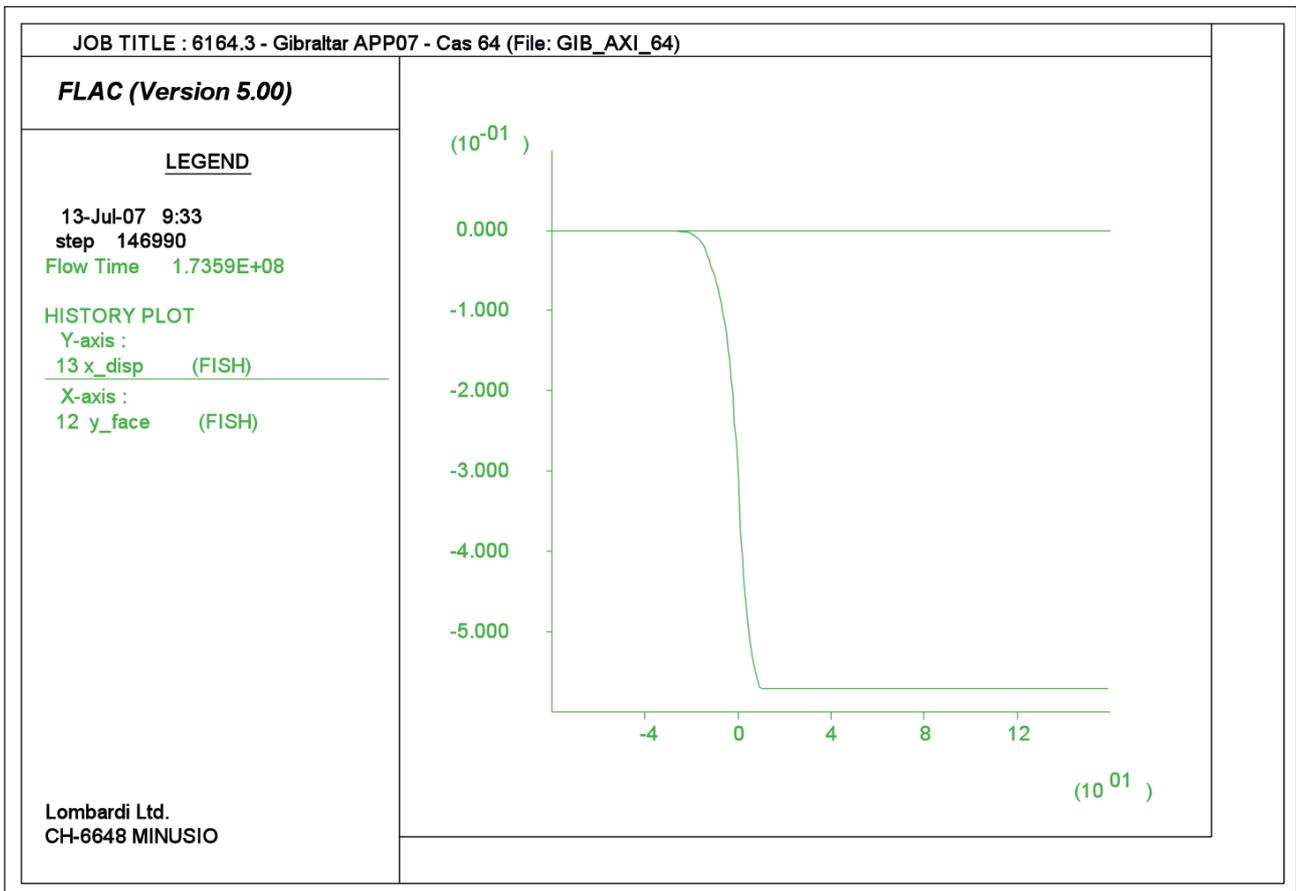
## 9 Recommendations for Continuing the Project

Following the studies, as currently the project's feasibility has still to be fully assured, the proposals put forward by the engineering consortium for its further execution are as follows (Table 3):

1. Investigations must be carried out in conjunction with the manufacturers of tunnel boring machines to ascertain whether counter-pressure of more than 1 MPa is conceivable at the face and just how this could be achieved.
2. Vertical exploratory drillings in the Strait are designed to more precisely determine the extent of the channels (breccia zone) in the intended tunnel axis.



23 Porenwasserdruck für einen Fall mit Drainage  
 Pore water pressure for a case with drainage



24 Konvergenz entlang der Tunnelachse  
 Convergence along the tunnel axis

- der Gegendruck an die Ortsbrust, wenn möglich, höher als 1 MPa sein sollte,
- die Gefahr des Einklemmens des Schildes sicher gegeben ist.

## 9 Empfehlungen für die Fortsetzung des Projekts

Am Ende der Studien, da zurzeit die Machbarkeit noch nicht voll gesichert ist, lauten die Vorschläge der Ingenieurgesellschaft für die Weiterbearbeitung des Projektes wie folgt (Tabelle 3):

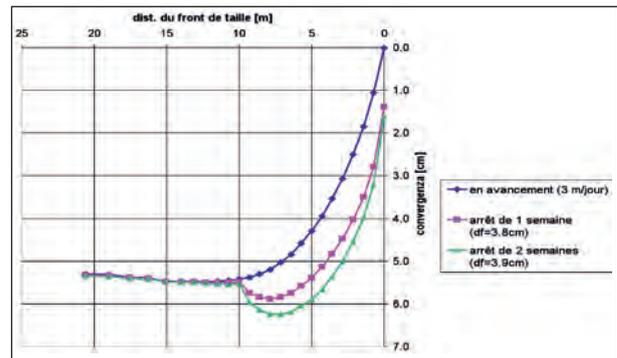
1. In Zusammenarbeit mit den Herstellern von Tunnelbohrmaschinen soll untersucht werden, ob ein höherer Gegendruck als 1 MPa auf die Ortsbrust denkbar ist und auf welchen Wegen dieser erreichbar wäre.
2. Vertikale Sondierbohrungen im Kanal sollen die Ausdehnung der Gräben (Zone der Brekzien) in der vorgesehenen Tunnelachse genauer festlegen.
3. Die anfallenden Bohrkernsollen experimentell untersucht werden, um weitere geotechnische Daten zu sammeln.
4. Wegen der aufgerichteten Flyschstrukturen können vertikale Bohrungen nur bedingt einen zuverlässigen Aufschluss über die geologischen und geotechnischen Verhältnisse geben; horizontale Bohrungen sind wesentlich aufschlussreicher.  
Da der Tunnel an der Grenze der Machbarkeit liegt, ist der Ausbruch eines Sondierstollens von der marokkanischen Küste her bis durch den nördlichen Graben unerlässlich.
5. Von dem Sondierstollen aus sollen gezielte Bohrungen ausgeführt werden, insbesondere in Vortriebsrichtung, um die Verhältnisse zu erforschen und die Trassierung des Tunnels – in Lage und Höhe –, wenn möglich, zu optimieren.

Erst aufgrund dieser Ergebnisse soll ein allfälliger Baubeschluss gefasst werden.

Aus heutiger Sicht würde sich ein Bauprogramm ergeben, welches von Baubeginn bis Inbetriebsetzung der ersten Tunnelröhre etwa 30 Jahre umfassen würde. Die Kosten für das Gesamtprojekt sind in der Größenordnung von etwa 12 Mrd. Euro geschätzt worden.

Tabelle 3: Hauptempfehlungen für die Weiterführung des Projektes

1. Untersuchungen über höheren Druck auf die Ortsbrust als 1 MPa
2. Sondierbohrungen im Meer zur Ermittlung der Zonen der Brekzien, insbesondere auf Kote des Tunnels
3. Versuche an Bohrkernen
4. Sondierstollen mit Querung der Gräben
5. Sondierbohrungen aus den Sondierstollen zur Optimierung des Projektes



25 Fortsetzung der Konvergenzbewegung beim Stillstand des Schildes

*Continuation of the convergence movement with the shield at a standstill*

3. The core samples obtained are to be examined experimentally so that further geotechnical data can be collected.
4. On account of the upright flysch structures vertical drillings can only provide reliable conclusions about the geological and geotechnical conditions to a limited extent; horizontal drillings are considerably more conclusive. As the tunnel lies on the bounds of feasibility, it is essential that an exploratory tunnel is driven from the Moroccan coast penetrating the northern channel.
5. Targeted drillings have to be executed from the exploratory tunnel especially in the direction of the drive in order to investigate the conditions and the tunnel's alignment – regarding position and height – to optimise it as far as possible.

A decision on construction will first be reached on the basis of these results.

Seen from the current point-of-view the outcome would be a tunnel programme, which would stretch over 30 years from starting construction until it is opened. The costs for the overall project can be estimated to be at around 12 bill. euros.

Table 3: Main Recommendations for Continuing the Project

1. Investigations into higher pressure greater than 1 MPa at the face
2. Exploratory drilling in the sea to determine the breccia zones, especially at tunnel level
3. Tests on core samples
4. Exploratory tunnel crossing the channels
5. Exploratory drilling from the exploratory tunnel to optimise the project

## 10 Schlussfolgerungen

Aus den bis heute durchgeführten Untersuchungen zeigt sich, dass der Bau eines Tunnels unter der Meerenge von Gibraltar nicht ganz unrealistisch ist. Die effektive Machbarkeit muss jedoch noch durch weitere Sondierungen, Versuche und Untersuchungen nachgewiesen werden. Vorschläge hierfür sind den Bauherrschaften unterbreitet worden. Sie sollen diesbezügliche Entscheidungen treffen. Auf jeden Fall liegt, aus heutiger Sicht, die Ausführung des Projektes mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden technischen Mitteln an der Grenze der Machbarkeit. Das vorliegende Ergebnis entspricht bei den gegebenen, wirklich schwierigen Umständen, einem bestmöglichen Vorschlag.

Die Länge des Tunnels von etwa 40 km erscheint verkehrstechnisch durchaus vertretbar. Es ist klar, dass ein Gefälle von 30 ‰ in den beiden Rampen nicht begeistern kann. Ein kleineres Gefälle kann durch Reduktion der Tiefe in der Durchquerung der Gräben kaum erreicht werden, sondern nur durch Verlängerung des Trassees, mit entsprechend höheren Baukosten und einer längeren Dauer der Durchfahrt, somit mit einer reduzierten Wettbewerbsfähigkeit des Tunnels gegenüber dem Seeverkehr.

Die Verwendung des Sondierstollens für die Entlüftung der zentralen Sicherheitshaltestelle bietet einen grossen Vorteil für die Sicherheit, auf den man nicht verzichten sollte. Ggf. können weitere Hilfsstationen auf den Rampen hinzugefügt werden.

Der Betrieb der ersten Etappe mit einer einzigen ausgebauten Bahnöhre ist sicher recht umständlich und bedingt lange Wartezeiten für die Nutzer. Die Attraktivität der Anlage ist somit nicht besonders gross. Man versteht aber, dass die Bauherren, insbesondere in der jetzigen wirtschaftlichen Lage, eher zurückhaltend gegenüber höheren Kosten sind.

Trotz aller Schwierigkeiten ist anzunehmen, dass der Tunnel von Gibraltar noch im Laufe dieses Jahrhunderts eingeweiht werden kann.

## 10 Conclusions

The investigations carried out so far reveal that the construction of a tunnel beneath the Strait of Gibraltar is not actually unrealistic. However the effective feasibility must still be proved on the basis of further exploratory operations, tests and investigations. The clients have been presented with relevant proposals. It remains up to them to make the appropriate decisions. At any rate seen from the current point-of-view the execution of the project with the technical means available today would stretch the limits of feasibility. The result put forward represents the best possible proposition given the prevailing, truly difficult circumstances.

The tunnel's length of some 40 km appears thoroughly acceptable in traffic technical terms. It is clear that a gradient of 30 ‰ for the two ramps does not necessarily kindle enthusiasm. A smaller gradient can scarcely be achieved by reducing the depth for penetrating the channels but only by extending the route involving correspondingly higher construction costs and requiring a longer time to pass through the tunnel thus resulting in reduced competitiveness on the part of the tunnel as opposed to sea traffic.

The application of the exploratory tunnel for ventilating the central safety stop affords a great advantage for safety, which should not be discarded. If need be further auxiliary stations could be added to the ramps.

It is obvious that operating the first stage with a single furnished rail tube is highly complicated and results in lengthy waiting periods for the user. Consequently this does not make the facility particularly attractive. At the same time it is understandable that the clients, especially during the current economic situation, are if anything adopting a cautious approach as far as higher costs are concerned.

In spite of all these difficulties it appears likely that the Gibraltar Tunnel will be inaugurated in the course of this century.

*Jean-Paul Godard, Honorary Senior Executive of the RATP, French Tunnelling and Underground Space Association (AFTES)*

*Alain Balan, President, French Tunnelling and Underground Space Association (AFTES)*

## Le Grand Paris

### Vers une nouvelle ère pour les transports en commun

Le Plan directeur du Grand Paris lancé par le Président français Nicolas Sarkozy le 29 avril 2009, prévoit pas moins de 130 km de lignes de métro automatiques, dont la majeure partie en sous-sol, afin de relier les principaux centres économiques de la région parisienne. Pourquoi en sous-sol? Pour accélérer la construction, limiter les impacts négatifs à la surface et soulager les nuisances pour les résidents.

Trente-cinq milliards d'euros seront investis, dont 21 pour la ligne orbitale. Les travaux d'une durée de dix ans commenceront en 2012, et nécessiteront l'utilisation d'environ 15 tunneliers de grand diamètre. Le Grand Paris sera financé par des taxes sur l'augmentation de la valeur de l'immobilier et sur la création de centres commerciaux dans les gares. De plus, des contrats de partenariat public/privé pourraient être signés. Cette stratégie de mise en œuvre de nouveaux moyens de transport dans le Grand Paris souhaite être durable et favorable à un développement urbain à la fois social et environnemental.

## The Greater Paris

### Towards a new era of mass transit systems

Within the scope of the Greater Paris Master Plan launched by French President Sarkozy on 29 April 2009, no less than 130 km of automatic metro lines are planned, mostly underground, to create links between the main economic hubs of the Paris Region. Why underground? – In order to speed up its construction, reduce negative impacts at the surface and alleviate nuisances for the residents.

35 billion Euros will be needed, of which 21 for the orbital line. The ten years long works should start in 2012, which will necessitate around 15 tunneling machines of great diameter. The Greater Paris will be financed thanks to taxes on value increase of real estate and on the creation of commercial centers at the stations. Moreover, contracts of public private partnership could be used. This strategy of implementing new transportation systems in the Greater Paris is willing to be sustainable and favorable to a social and environmental urban development.

#### 1 Les transports en commun en Région Ile-de-France: des origines à nos jours

Jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle, les villes, même les plus importantes, ne sont pas assez étendues pour justifier la mise en place de transports collectifs. Au début de la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, face à l'augmentation de la circulation dans une ville de Paris en pleine expansion démographique, industrielle et commerciale, l'organisation des transports allait occuper une place primordiale. C'est alors que la toute nouvelle technique du chemin de fer, dont la première application consista en une liaison Paris – Le Pecq en 1837, apparut comme la solution pour assurer une meilleure desserte.

Pourtant, malgré le caractère pressant du problème, il fallut près d'un demi-siècle pour aboutir le 19 juillet 1900 à l'ouver-

#### 1 Mass Transit in the Paris Region: From the origins to today

Up to the nineteenth century, the cities, even the most important ones, were not widespread enough to afford and justify the implementation of truly public transportation systems. By the early second half of the nineteenth century, in order to be able to face the needs of the drastic traffic increases in the rapidly and ever growing demography, industry, and business of the Paris area, the organization of transportation facilities was to progressively gain a paramount importance.

The new railway techniques available at the time, a first illustration of the appropriateness of which was the link Paris – Le Pecq in 1837, appeared to bring solutions to cater for such growing congestion issues.

## Grossraum Paris

### Eine neues Zeitalter von Nahverkehrssystemen hat begonnen

Der von Präsident Sarkozy am 29. April 2009 begonnene Masterplan für den Grossraum Paris sieht den Bau von 130 km automatischer Metro-Linien vor, die meist unterirdisch verlaufen und die wichtigsten Wirtschaftszentren der Region Paris verbinden sollen. Warum unterirdisch? Zur Beschleunigung der Bauphase, Verringerung der negativen Auswirkungen an der Oberfläche und Vermeidung von Störungen der Anwohner.

Die Baukosten werden 35 Mrd. Euro betragen. Davon entfallen 21 Mrd. Euro auf die Ringlinie. Für den Bau, der 2012 beginnen und 10 Jahre dauern soll, werden ca. 15 große TBM benötigt. Der Masterplan für den Grossraum Paris wird aus Steuermitteln finanziert, die aus Wertsteigerungen von Immobilien und dem Aufbau von Wirtschaftszentren an den Bahnhöfen generiert werden sollen. Ausserdem sollen Partnerschaften mit privaten Investoren geschlossen werden. Der Aufbau neuer Transportsysteme im Grossraum Paris ist Teil einer Initiative für nachhaltige, soziale und umweltfreundliche Stadtentwicklung.

## Parigi e sobborghi

### Verso una nuova era di sistemi per transito intenso

Tra gli obiettivi del piano che coinvolge Parigi e sobborghi lanciato dal Presidente francese Sarkozy il 29 aprile 2009, sono in programma circa 130 km di linee automatiche di metropolitana, prevalentemente sotterranee, per creare un collegamento tra i principali centri dell'area parigina. Perché sotterranee? Per velocizzarne la costruzione, ridurre l'impatto negativo in superficie e attenuare il disagio dei residenti.

Saranno necessari 35 miliardi di euro, di cui 21 per la linea anulare. I lavori, della durata di 10 anni, inizieranno nel 2012 e necessiteranno di circa 15 TBM di grande diametro. Il masterplan di Parigi e sobborghi sarà finanziato dai contributi di miglioria sull'aumento di valore degli immobili e sulla creazione di centri commerciali nelle stazioni. Inoltre, ci si avvarrà di contratti di partnership tra settore pubblico e privato. Questa strategia di implementazione di nuovi sistemi di trasporto nell'area parigina sarà sostenibile e favorevole dello sviluppo urbano sociale e ambientale.

ture au public une première ligne entre Porte Maillot et Porte de Vincennes. Premiers kilomètres qui allaient en annoncer beaucoup d'autres, et qui ont été construits en un temps record entre mars 1898 et juillet 1900.

Citons quelques étapes de développement du réseau parisien depuis cette date.

- Au départ, la croissance du réseau se limite au «Paris intra muros», avec un rythme assez soutenu: 32 km (1905), 70 km (1910), 92 km (1915), 108 km (1925),
- Le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région parisienne de 1965 imagine un réseau régional et en 1969 le premier tronçon de la ligne A du réseau express régional (RER) a été mis en service entre Nation et Boissy Saint Léger,
- 1977: mise en service des tronçons centraux des lignes A et B du RER,
- 1998: mise en service de la ligne METEOR entre la Bibliothèque François Mitterrand et la Madeleine,
- 1999: mise en service de la ligne EOLE du RER, comportant notamment un tronçon souterrain entre les gares Magenta et Haussmann-Saint Lazare reliant les Gare du Nord et de l'Est à la Gare Saint Lazare.

## 2 Les déplacements en region ile de France: diagnostic de la situation actuelle

Les conditions de déplacement des Franciliens peuvent se résumer en quelques chiffres:

Half a century almost was however needed from this acknowledgement to end up on July 19th 1900 to conclude the decision making processes by opening a first line between Porte Maillot and Porte de Vincennes. Those first kilometers which were built in record time lapse between March 1898 and July 1900 were early birds to many additional ones. Let us quote hereby a few stages for the development of the Paris network starting from that date.

- At the start the growth of the network is confined to the limits of downtown ("Paris intra-muros"), with quite a sustained rhythm: 32 km (1905), 70 km (1910), 92 km (1915), 108 km (1925),
- The Master Plan of urban development for the Paris area in 1965 plans a regional network and in 1969 the first section of line A for the regional express network (RER) is put in service between Nation and Boissy-Saint-Léger,
- 1977: Inauguration of central sections of lines A et B of the RER,
- 1998: Opening of the METEOR line between Bibliothèque François Mitterrand and Madeleine (Line 14),
- 1999: Opening of the EOLE line of the RER, which includes an underground central section between two distant stations Magenta and Haussmann-Saint Lazare thereby connecting directly two sets of formerly distinct railway stations: Gare du Nord and Gare de l'Est with Gare Saint Lazare.

## Les 7 pôles du grand Paris

- Les 130 km de métro automatique (dernier projet de tracé, sept. 2009)
- - - Autre tracé possible pour le métro automatique
- Territoire de projet
- Tronçon TGV en projet pour raccorder les lignes à grande vitesse existantes

### 1 LA DÉFENSE

Au-delà des nombreux sièges d'entreprises, ce quartier a vocation à devenir un pôle financier et de services aux entreprises.

### 2 PLEYEL

À proximité de Saint-Denis, Saint-Ouen, Aubervilliers, ce territoire, riche de nombreuses entreprises de mode, cinéma, musique, télévision, peut devenir un pôle mondial de création.

### 3 LE BOURGET

C'est le deuxième aéroport d'affaires du monde. L'idée est de développer les services aéroportuaires et de maintenance.

### 4 DESCARTES

À l'est de Paris, la région de Noisy a un potentiel fort dans le développement durable.

### 5 ROISSY-CDG

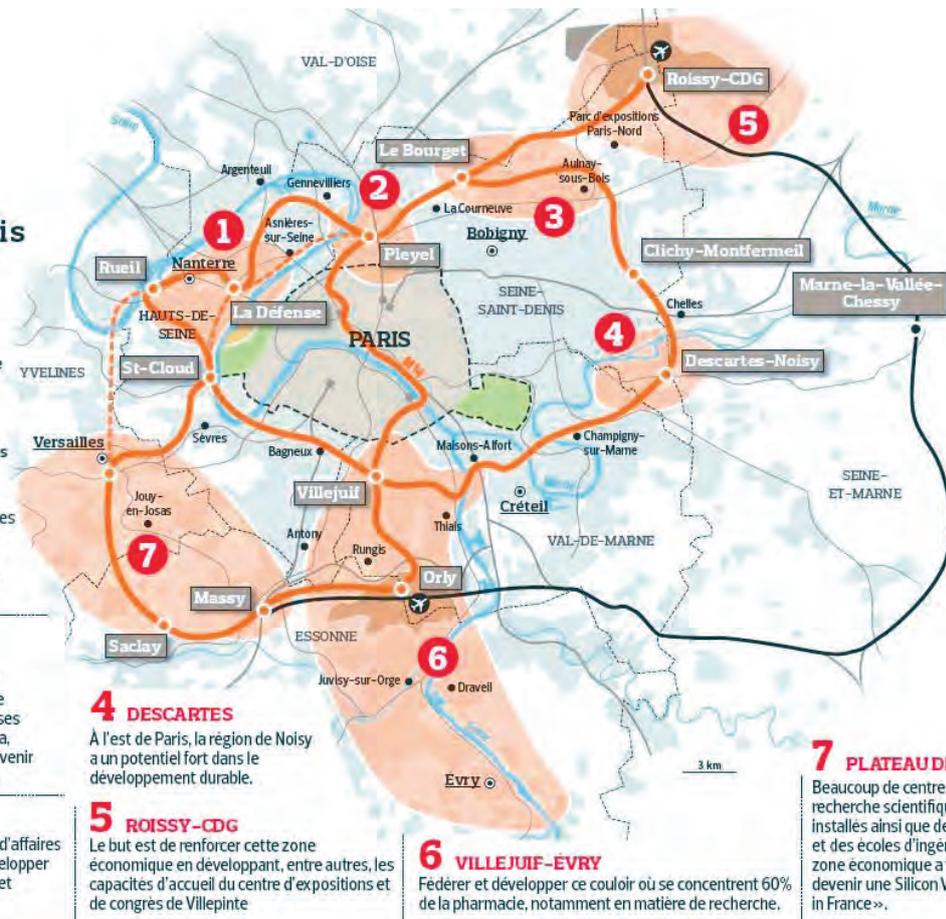
Le but est de renforcer cette zone économique en développant, entre autres, les capacités d'accueil du centre d'expositions et de congrès de Villepinte

### 6 VILLEJUIF-ÉVRY

Fédérer et développer ce couloir où se concentrent 60% de la pharmacie, notamment en matière de recherche.

### 7 PLATEAU DE SACLAY

Beaucoup de centres de recherche scientifiques sont déjà installés ainsi que des universités et des écoles d'ingénieurs. Cette zone économique a vocation à devenir une Silicon Valley « made in France ».



1 The "Project territories"

- 35 millions de déplacements journaliers,
- 1 h 30 par jour consacrée en moyenne par un Francilien pour se déplacer et, pour 20 % des Franciliens, plus de deux heures,
- 170 millions de kilomètres parcourus chaque jour dont près de 100 millions en voitures particulières,
- 180 km de bouchons chaque matin,
- Evolution de la fréquentation des transports ferroviaires depuis 2000: +18 % pour le métro, +16 % pour le RER et le train.



2 La Défense district

## 2 Movements in the Paris Region: a diagnosis of the present existing situation

The trip numbers and conditions needed by the metropolitan area inhabitants can be illustrated by a few figures:

- 35 million trips a day,
- 1 h 30 average duration per daily trip per inhabitant, and for 20 % of them more than two hours,
- 170 million kilometers run every day, out of which more than 100 accomplished in private cars,
- 180 km of traffic jams every morning,
- Railway system use increase since year 2000: +18 % for the metro, +16 % for the RER and suburban trains.

The following statuses have been identified:

- A considerable increase of movements from suburb to suburb: within the last 30 years, this sort of trip has more than doubled and today represents 70 % of daily movements. Projections made at nearby 2015/2020 close horizons do show that the needs are going to become even more critical, particularly in the near.
- A very unbalanced mass transportation offer between Paris and its suburbs: a gap break at main Paris downtown

Par ailleurs, les constats suivants sont faits:

- Une croissance forte des déplacements de banlieue à banlieue: en 30 ans, ce type de déplacement a plus que doublé et représente aujourd'hui 70 % des déplacements quotidiens. Or, les projections de mobilité à l'horizon 2015/2020 prévoient que le phénomène va s'accroître, notamment en proche banlieue.
- Une offre de transport collectif très inégale entre Paris et la banlieue: une réelle rupture aux portes de Paris en termes d'offre, d'accessibilité et de temps d'accès au travail en transports collectifs est constatée. La banlieue est donc grandement défavorisée.
- Un réseau de transport collectif au bord de la saturation: de par sa structure radiale, le réseau oblige les Franciliens à passer par Paris. Il en résulte une grande difficulté de maintenir une réelle qualité de service de transport et peu de marge de manœuvre pour de nouveaux projets d'extension de lignes.

### 3 Une ambition de développement pour la Région capitale: «Le grand Paris»

À l'occasion de l'inauguration de la Cité de l'Architecture et du Patrimoine, le 17 septembre 2007, le Président de la

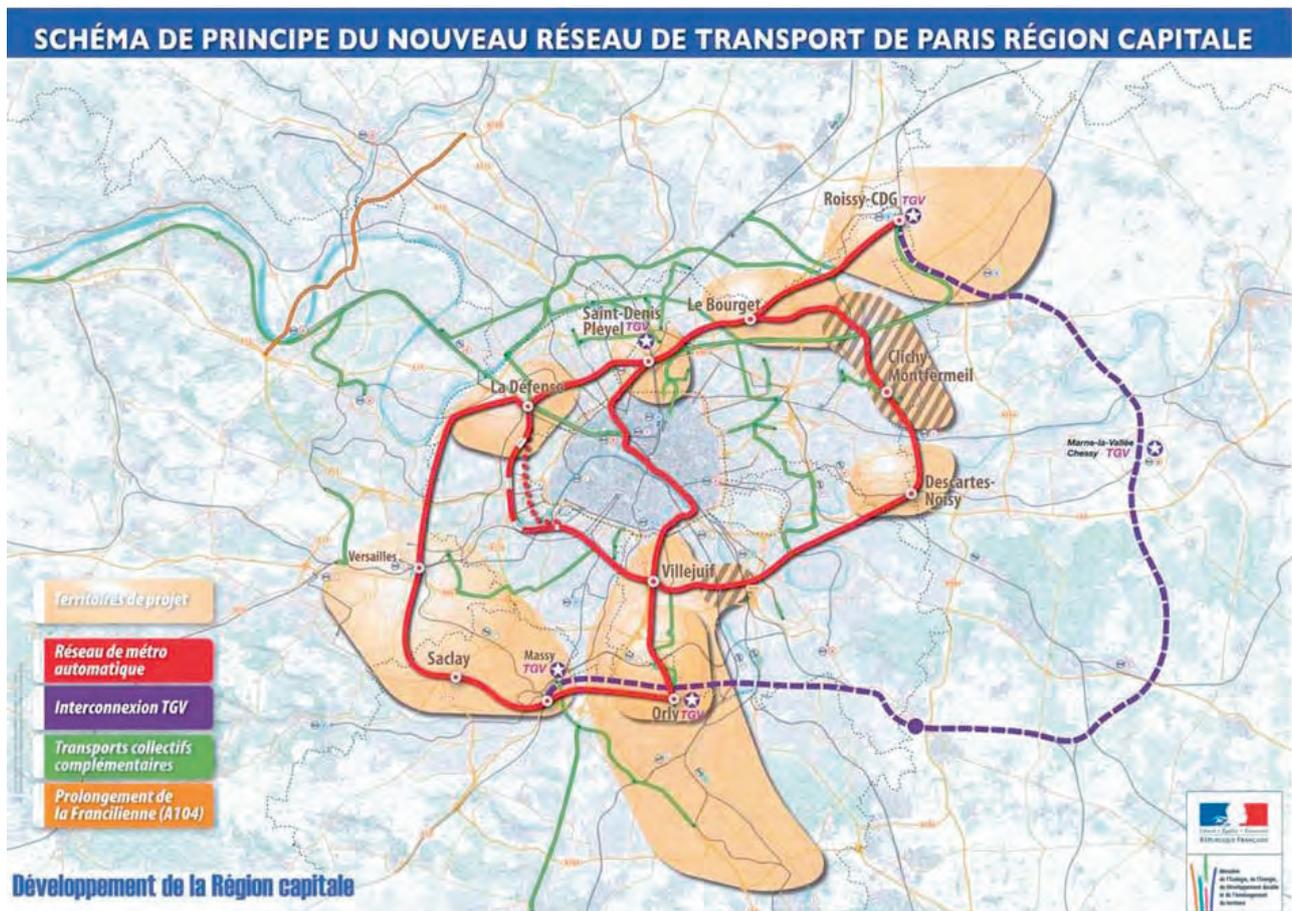
entrances in terms of mass transportation offer, mass transportation accessibility, and transportation time necessary to the workplace through mass transit. Suburban areas do actually endure unfavorable conditions.

- A mass transportation network which stands very close to saturation: because of its radial design structure, such network imposes orbital connection needs between suburbs to be satisfied with partially radial transfers in or under downtown Paris. The resulting conditions for transportation and above all the level of service quality they result in can only be hardly kept satisfactory with very little margins of flexibility.

### 3 An ambition for development of the metropolitan area "the greater Paris"

Taking the opportunity of the inauguration of the "Cité de l'Architecture et du Patrimoine" on September 17th 2007, the President of the French Republic has expressed the wish for a "new wholesome project of development of the Grand Paris" to be started.

At the beginning of year 2008 an international consultation was launched and set under the authority of a Control Committee which included: the French state, the City of Paris,



3 Public transport network established by the State Secretariat

République française a exprimé le souhait qu'un «nouveau projet d'aménagement global du Grand Paris» soit lancé.

Lancée au début de l'année 2008, une consultation internationale a été placée sous l'autorité d'un comité de pilotage composé de l'État, de la Ville de Paris, de la Région Île-de-France et de l'Association des maires d'Île-de-France. A partir du mois de juin 2008, une dizaine d'agences d'architecture et d'urbanisme a travaillé pour la réalisation des deux chantiers de la consultation: «La métropole du XXIe siècle de l'après-Kyoto» et «Le diagnostic prospectif de l'agglomération parisienne».

Le 29 avril 2009, à la Cité de l'Architecture et du Patrimoine à Paris, le Président de la République, a inauguré une exposition présentant les «dix regards sur le Grand Paris de l'avenir», proposés par les dix équipes pluridisciplinaires consultées.

#### 4 Le développement économique

A l'occasion de cette inauguration, le Président de la République a précisé les objectifs qu'il fixait quant au développement de la Région Capitale, dont il a confié la mise en œuvre à Christian Blanc, Secrétaire d'Etat.

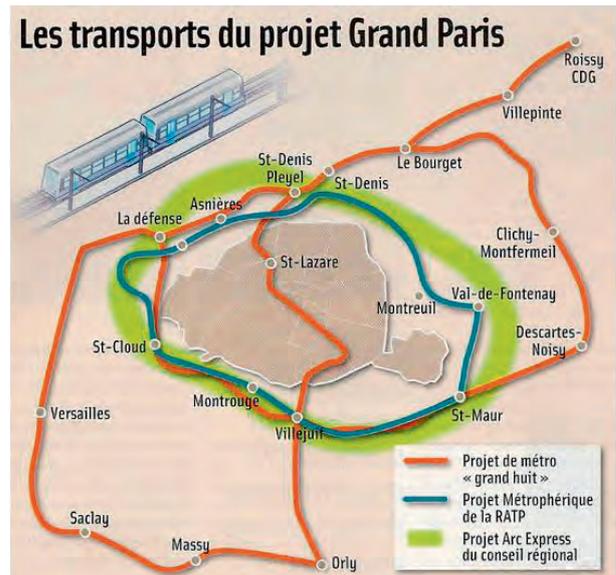
L'ambition du Président de la République et du Gouvernement est de permettre à cette région de conforter la place d'exception qu'elle occupe dans le monde, de libérer ses potentiels pour répondre aux défis du XXIème siècle et contribuer, par un effet d'entraînement, au développement économique et social du pays tout entier.

La mise en œuvre de ce développement économique s'appuiera sur plusieurs composantes, parmi lesquels le développement spécifique de plusieurs «Territoires de projets» et par le lancement d'un très important programme de transports collectifs.

#### 5 Les «Territoires de projets»

Le projet exprime notamment la volonté d'appuyer le développement de plusieurs pôles d'excellence à vocation mondiale. Il s'agit de (Fig.1):

- Conforter la place de La Défense, véritable cité financière du Grand Paris, en tant que centre de services financiers à forte valeur ajoutée (Fig. 2),
- Installer le port de la Région Capitale au confluent de la Seine et de l'Oise,
- Promouvoir la vocation du plateau de Saclay à devenir une des plus importantes plateformes scientifiques et technologiques au monde,
- Fédérer l'environnement académique et industriel du sud de la région en une «Vallée des biotechnologies»,
- Inscrire la Cité Descartes au cœur d'un nouvel ensemble urbain autour de la Marne, l'objectif principal consistant à passer d'un pôle scientifique centré sur huit filières à l'un



4 Comparison between current projects

the Ile de France Region, and the Association of the Region City Councils Mayors. Starting June 2008, ten architectural and urban planning agencies worked on the two scopes for the consultation tender: "The twenty first century post Kyoto Metropolis" and the "Progressive diagnosis of the Metropolitan area".

On April 29th 2009, at the "Cité de l'Architecture et du Patrimoine" in Paris, the President of the Republic has inaugurated a show presenting the "Ten views of the future Grand Paris" designed by the ten consulted multidisciplinary outfits.

#### 4 The business and activity growth

During this show, the President of the Republic has defined the target goals for the development of the Metropolitan area, and delegated its implementation under the authority of Christian Blanc, Secretary of State.

The President's and its Government's ambitions are to allow the Region to strengthen the exceptional status it enjoys throughout the world, while taking full advantage of its potentialities to address the challenges of the twenty first century. Through this trigger and its subsequent roll-on effects, this Metropolitan development would decisively contribute to the prosperity and social well being of the entire country. These developments will be supported by a handful of major pillars among which focusing both on a set of "Project territories", and initiating an extended new Mass Transit programme.

#### 5 The "Project territories"

In particular, supporting a number of excellence clusters with worldwide connections and influence would sustain those development objectives. The list follows (Fig.1):

des grands pôles mondiaux de référence dans le domaine de la construction, de la maintenance et des services de la ville durable,

- Faire de la Plaine Saint Denis un lieu de référence en matière d'industries de la création et d'arts numériques,
- Développer au Bourget un nouveau pôle d'excellence économique dédié à l'aviation et au tourisme d'affaires,
- Renforcer le positionnement de Roissy CDG en matière d'échanges internationaux et de développement industriel de la logistique,
- Régénérer le tissu urbain de Montfermeil, Clichy sous Bois, Livry-Gargan, Sevran et Aulnay sous Bois.

## 6 Nécessité d'une relance de réalisation de transports collectifs

La Région Capitale fait face aujourd'hui à un besoin majeur en investissements de transports collectifs car la congestion dans les transports est d'une ampleur jamais atteinte. Ces investissements constituent une condition nécessaire pour que la Région Capitale retrouve une croissance économique dynamique.

Il convient donc d'engager sans plus tarder une nouvelle et importante génération d'investissements pour réaliser un nouveau réseau primaire structurant, intégré au réseau existant, répondant à la fois aux urgences de désengorgement du centre mais permettant également de se projeter dans l'avenir.

## 7 Les projets de transports collectifs du «Grand Paris»

### 7.1 Un important réseau régional de métro automatique

Le réseau de transport public du Grand Paris est constitué d'un métro automatique de grande capacité et de vitesse élevée reliant le centre de l'agglomération parisienne, les principaux pôles urbains, scientifiques, technologiques, économiques et culturels de la région, le réseau ferroviaire à grande vitesse et les aéroports internationaux, et contribuant ainsi à l'objectif de développement d'intérêt national (Fig. 4).

Ce qui est visé, en assurant une offre de service puissante, c'est de structurer le territoire aggloméré, et de permettre la concentration et la densification des habitants et des emplois autour des polarités desservies. La puissance de l'offre de service sera assurée par la technologie employée – un métro automatique – qui est rapide, fiable, capacitaire et susceptible de fonctionner jour et nuit. Sa conception garantit par ailleurs un haut niveau de sécurité aux voyageurs et réduit les risques de perturbation.

Le réseau proposé comporte 130 km de lignes nouvelles de métro automatique. L'objectif est de pouvoir rejoindre, depuis l'aéroport Paris Charles de Gaulle, La Défense ou le centre de Paris, en moins de 30 minutes; ou encore de relier

- Confirm and extend the positioning of the La Défense district, as the true Financial District for the Grand Paris in terms of excellence in high added value services (Fig.2),
- Set up the metropolitan port at the convergence point of rivers Seine and its affluent the river Oise,
- Emphasize the existing scientific and technological platform on the Saclay Plateau focus, so as to ultimately turn the area into one of the most reputed and considered ones the world over,
- Merge the often clustered existing academic and industrial environments in the southern metropolitan area to reach a status of "Biotechnology Valley",
- Place the "Cité Descartes" within a new urban outfit around the Marne river, with the main objective of promoting the existing scientific cluster focused on eight disciplines to one of the reference widely known world clusters in the fields of construction, of maintenance and of services to the concept of "sustainable city",
- Promote the "Plaine Saint Denis" as a reference cluster for creative industries and numeric arts,
- Develop the former Le Bourget airport into a renewed excellence pole focused on aviation and business mobility,
- Reinforce the status of CDG airport as an international exchange hub as well as a pole for industrial logistics developments,
- Upgrade and regenerate the urban structures of the cities of Montfermeil, Clichy sous Bois, Livry-Gargan, Sevran and Aulnay sous Bois.

## 6 The need for a Mass Transit programme of investment

The Metropolitan area today faces a major Mass Transit investment need because traffic congestion nowadays can reach levels never experienced before. Those investments represent the necessary condition for the Metropolitan area to turn back into a much more dynamic economic growth.

A new class of considerable major investments is therefore needed in order to cope for the creation of a new primary network, which as a dorsal spine merged with the existing network would structure both addresses to downtown traffic congestion emergencies and projections into the future.

## 7 The mass transit projects for the "Grand Paris"

### 7.1 An important regional network of driverless automatic metros

The public transport network for the "Grand Paris" is made of an automatic high capacity and high speed metro linking the downtown Metropolitan area with the main urban, scientific, technological, business and cultural clusters of the area, as well as the high speed railway network and international airports. Objectives are clearly related to national well being development goals (Fig. 4).



5 Priority projects according to the Paris Regional Council

l'aéroport d'Orly à la gare de Lyon en 25 minutes, Villejuif à Noisy-Champs en 25 minutes ou encore de relier les deux aéroports internationaux en moins d'une heure. A noter qu'il sera par ailleurs possible de rejoindre directement, depuis l'aéroport Paris Charles de Gaulle, La Défense ou le centre de Paris, en passant par le quartier Pleyel à Saint Denis, futur hub métropolitain où est envisagé la création d'une nouvelle gare TGV, au cœur du territoire de la Plaine Saint Denis et à 10 minutes de la Défense par le nouveau réseau métro.

## 7.2 Les projets «Arc Express» et réseau de transports publics du Grand Paris

Le projet de rocade autour de Paris revêt une très grande importance pour la desserte de la proche banlieue et mérite un développement particulier, d'autant qu'actuellement deux conceptions devront converger: l'une partie intégrante du projet de transport du «Grand Paris, l'autre promue par le Conseil Général d'Ile-de-France, baptisée «Arc Express» (Fig. 5).

Porté par l'État, la Région et le Syndicat des transports d'Ile-de-France «Arc express» ambitionne de desservir efficacement et rapidement ces pôles d'activité existants ou en développement.

De 2006 à 2008, les premières études sur le projet ont permis de préciser un fuseau de territoires dans lequel s'insérerait la réalisation de quatre arcs:

- une liaison sud-est entre Val-de-Fontenay ou Noisy-le-Grand et Arcueil ou Bourg-la-Reine, pour une mise en service à l'horizon 2020,

Objectives are, while at the same time ensuring a powerful transportation offer, to structure the areas at stake so as to allow some concentration and densification of inhabitants and employments in the vicinity of the poles served. To face the requested magnitude of the transportation offer, the technology used – an automatic driverless metro – is mandatory because the system shall have to be quick, reliable, high capacity, and be able to be operated day and night. Its design shall guarantee a very high level of safety to patronage and reduce the risk of operating disruptions.

The proposed network includes 130 km of new driverless automatic lines. The target goal is to make possible from Charles de Gaulle airport, to reach La Défense or Paris City downtown in less than 30 minutes; or else to provide a 25 minutes link between Orly airport and Gare de Lyon, or another 25 minutes link between Villejuif and Noisy Champs and a less than 1 hour link between the two international airports. It has to be noted that from Charles de Gaulle airport it will become possible to reach by direct link La Défense or Paris downtown through the District Pleyel in St Denis, a future metropolitan hub where a High Speed TGV station is envisaged in the middle of the Plaine St Denis territory and located 10 minutes from La Défense using the new network.

## 7.2 The “Arc Express” and the “Greater Paris” public transportation projects

The orbital service around Paris is of major importance for service provision to the neighboring suburbs. It deserves both specific mention and clarification because at the present time two design concepts will have to be merged: the first one is part of the wider Grand Paris transportation Programme, the second promoted by the Ile de France Regional Council is called “Arc Express” (Fig. 5).

Arc Express, supported by the State, the Region and the Syndicate for Ile de France Mass Transit (STIF), aims at serving efficiently and quickly those activity clusters whether existing or under development.

From 2006 to 2008, the first studies launched on the project have allowed to determine a set of four territories which would have to be served by four orbital “ark links”:

- A South-East ark link between Val-de-Fontenay or Noisy-le-Grand and Arcueil or Bourg-la-Reine, to be put into operation at the 2020 horizon,
- A North-West ark link between La Défense and St Denis, to be put into operation at the 2020 horizon,
- A North-East ark link between Val-de-Fontenay or Noisy-le-Grand and Saint-Denis, to be put into operation at the 2025 to 2030 horizon,
- A South-West ark link between Arcueil or Bourg-la-Reine and La Défense through St Cloud and Suresnes or Rueil-Malmaison, to be put into operation at the 2025 to 2030 horizon.

- une liaison nord-ouest entre La Défense et Saint-Denis, pour une mise en service à l'horizon 2020,
- une liaison nord-est entre Val-de-Fontenay ou Noisy-le-Grand et Saint-Denis, pour une mise en service à l'horizon 2025–2030,
- une liaison sud-ouest entre Arcueil ou Bourg-la-Reine et La Défense en passant par Saint-Cloud et Suresnes ou Rueil-Malmaison, pour une mise en service à l'horizon 2025–2030.

Le projet de réseau du «Grand Paris» et «Arc Express» étant proches sur une bonne partie de leurs tracés respectifs, le «dossier d'objectifs et de caractéristiques principales» du projet «Arc Express» a été approuvé le 8 juillet 2009. Ce vote permet d'engager la phase de débat public et de concertation, via une saisine de la Commission Nationale du Débat Public. L'organisation d'un débat public a été décidée en insistant sur la nécessité que soient explicitées dans le dossier du débat et à l'occasion du débat «les conditions de compatibilité du projet Arc Express avec le projet de réseau de transports publics du Grand Paris». À l'issue de la consultation publique, les tracés seront alors connus et le projet pourra être déclaré d'intérêt public avant un éventuel début des travaux. Étant donné les temps nécessaires à chaque procédure, les premiers tronçons du projet pourraient ouvrir en 2017 (Fig. 6).

### 8 Prolongement vers l'ouest de la ligne E du RER (EOLE)

Ce prolongement est l'un des principaux projets du Grand Paris. Consistant à prolonger la ligne E du RER entre Saint Lazare et Nanterre, il est actuellement développé par la SNCF avec Réseau ferré de France (RFF). Actuellement, cette ligne de 56 km, comportant 21 stations et transportant 312 000 voyageurs par jour, s'arrête à la gare Saint Lazare.

Ce projet majeur permettra de renforcer et d'améliorer la desserte de La Défense, de décharger la ligne A du RER dans son tronçon central, de faciliter l'accès aux pôles d'activité de Paris et de La Défense depuis les secteurs les plus carencés en emplois et de relier entre eux les pôles d'emploi du nord-est et de l'ouest parisien. La ligne E du RER a également vocation à être interconnectée avec les liaisons ferrées ce qui contribuera à augmenter la capacité et la qualité de service sur l'axe Paris-Mantes-Normandie.

Le projet consiste à creuser un tunnel de 8 km entre Saint-Lazare et Nanterre, via La Défense. Ainsi, la liaison serait faite entre le réseau Est et le réseau Ouest, justifiant enfin le nom d'EOLE (Est-Ouest-Liaison Express). Trois stations sont prévues – «Neuilly-Porte-Maillot», «La Défense-Grande-Arche», «Nanterre-La Folie», en correspondance avec le réseau des RER, du métro et des tramways.

Les premières études sur ce projet ont pour objectif de rassembler tous les éléments permettant l'organisation d'un débat public. Elles porteront notamment sur:

Both networks programmes “Grand Paris” and “Arc Express” are very close to one another on a considerable part of their intended alignments. The “Dossier d'objectifs et de caractéristiques principales” (“Goals and main characteristics file”) of the “Arc Express” project has been approved on July 8th 2009. This vote allows the public debate and conciliation phase to be initiated via solicitation to the National Council for Public Debate. The organization of a public debate has been approved under the conditions that, in the debate brief document, the “conditions of compatibility between “Arc express” and the “Grand Paris projected network” be explicitly debated. After public consultation, the outline will be set and the project may qualify for “public interest” prior to a potential start of the works. Given the procedural times at stake, the first sections of the Project could open in 2017 (Fig. 6).

### 8 Extending the RER line E (EOLE) to the West

This extension is one of the main projects included in the Programme for the Grand Paris. The scope is to extend the present line terminal from St Lazare to Nanterre. The Project is being developed jointly by SNCF and RFF (Rail Network of France). Presently, this 56 km line which includes 21 stations and carries approximately 312,000 passengers a day and ends up at its Gare St Lazare terminal.

This major project will reinforce and improve transportation services at La Défense, while alleviating the central section of line A of RER from its heavy transportation offer requirements, as well as facilitate accesses to and from the clusters represented by Paris and La Défense from and to the areas where employment is lacking, and to ensure a link between the Western and North-Eastern employment clusters of the Metropolitan area. RER line E is also bound to be interconnected with other rail lines, which liaison will significantly contribute to both a capacity and quality increase on the radial link Paris-Mantes- Normandy.

The project detailed scope consists in boring an 8 km tunnel between St Lazare and Nanterre, via La Défense. Thus, both the eastern and western branches will be interconnected, as was the original intention reflected by the acronym EOLE “East West Express Link” translating in “Est-Ouest-Liaison-Express”. Three stations are planned – “Neuilly-Porte-Maillot”, “La Défense-Grande-Arche”, “Nanterre-La Folie” with transfer connections to other RER and metro lines, or tramway lines.

The preliminary design studies on the project aim at gathering all the documents which will form part of the public debate. These issues will include among others:

- The extension scenarios from the present Haussmann – Saint-Lazare terminal towards the West of La Défense,
- The conditions of alignment merging and connection into the existing railway networks in the most complex zones,
- The location of the main transfer stations into the existing transportation networks while merging their adjustments and evolutions to come.

- les scénarios de prolongement depuis le terminus actuel d'Hausmann-Saint-Lazare en direction de l'Ouest de La Défense,
- les conditions d'insertion du tracé et de raccordement aux réseaux ferrés existants dans les zones les plus complexes,
- l'implantation des principales gares de correspondance avec les réseaux de transport collectif existants, en intégrant les évolutions de ces réseaux.

Ces études permettront d'identifier les impacts en terme d'aménagement, comporteront une évaluation des enjeux socio-économiques du projet dans ses différentes composantes, et préciseront les modalités envisageables pour le financement.

Les travaux pourraient débuter dès 2012 et l'intérêt commun créé autour de ce projet illustre bien la volonté très forte d'agir dans les délais les plus courts pour être prêt à l'horizon 2017, un objectif particulièrement ambitieux pour un chantier estimé proche de 2 milliards d'euros.

## 9 Réseau à grande vitesse (TGV)

Une nouveauté est de permettre au Grand Paris de bénéficier du réseau à grande vitesse d'ici 2020. Cela implique:

- la réalisation d'une interconnexion des TGV sud-est et sud-ouest dans l'Essonne grâce à une gare à Orly, qui deviendra ainsi un nouveau hub entre l'avion et le TGV,
- au nord, la création d'une nouvelle gare à Saint Denis-Pleyel,
- à l'ouest, à La Défense qui devient une gare TGV, reliée ainsi à la Normandie d'un côté et à Roissy-CDG – de l'autre, connectera le centre des affaires à Londres, Bruxelles, Strasbourg mais également Le Havre et Rouen.

Ces nouvelles gares TGV ne seront pas des gares terminus mais des gares traversantes en connexion avec les stations du futur réseau du Grand Paris. Elles apporteront aux territoires extra-muros un niveau d'accessibilité correcte à l'ensemble des espaces majeurs de la région capitale et notamment à ses sept pôles.



6 Western extension of the RER Line E (EOLE)

These studies will reveal and identify the development impacts, and will include an assessment of social and economic stakes for the various components of the project, and will draft the financing methods to be envisaged.

Works could start in 2012 and the common interest generated by this project illustrates quite well the will to act as fast and hard as possible in order to be able to deliver in 2017, a particularly ambitious requirement for a totaled installed cost of over 2 billion Euros.

## 9 High Speed Trains network (HST – TGV)

The new scheme is to make the HST network available to the Grand Paris Metropolis in 2020. This scheme requires therefore:

- To actually deliver an effective interconnection between South Eastern and South Western HST networks inside the Essonne district thanks to a station in Orly, which will become an HST-airplane hub,
- To build up and open a new station at Saint Denis-Pleyel in the north,
- In the West to build an HST station at La Défense which thereby becomes centrally interconnected with Normandy and Roissy CDG on both sides while enabling fast and easy connections between business districts in London, Brussels, Strasbourg on one side but also Le Havre and Rouen as well.

Those new HST stations will not be terminals but pass-through stations interconnecting with the Grand Paris network facilities. They will bring to the suburban territories a good level of accessibility to the totality of the major areas of activity for the Metropolitan areas, noticeably to its seven major development clusters.

With regard to the new stations, the ambition will be to let the city enter into the transportation space, by promoting an intensive collective use of the access places where services, leisure, offices and habitats merge together to reinforce the efficiency of the transportation link and where the volume attributions are clearly signaled and identified whether they be RER, Metro, HST or any other transportation medium in order to clarify underground pathways and spatial orientation.

This new HST network is thereby superimposed onto the driverless automatic one. And the innovation could be to have HST units run this network thereby allowing direct connections between the business district, Le Havre, Rouen and the two airport clusters Roissy Charles de Gaulle and Orly.

Pour les gares nouvelles, l'ambition sera de faire entrer la ville dans l'espace du transport, faire des lieux d'accès des lieux intenses où services, loisirs, bureaux, et habitat se réunissent pour renforcer l'efficacité de la desserte et où la spatialisation sur l'ensemble des points de contact de la station de métro à la gare RER jusqu'aux gares TGV clarifie l'espace souterrain.

Ce nouveau projet de réseau à grande vitesse vient donc se superposer au réseau de métro automatique. Et l'innovation pourrait être donc de faire rouler des TGV sur ce réseau et permettre ainsi de connecter directement le centre des affaires, Le Havre et Rouen aux deux pôles aéroportuaires CDG et Orly.

## 10 Mise en œuvre des projets

### 10.1 Principes d'organisation

Après concertation avec la région Île-de-France et les grands élus concernés, un projet de loi a été présenté en Conseil des Ministres le 7 octobre 2009 par M. Christian Blanc, secrétaire d'Etat chargé du développement de la région capitale. Ce projet de loi contient les premières dispositions législatives nécessaires pour permettre la réalisation du Grand Paris. Ses dispositions portent principalement sur la création et la maîtrise d'ouvrage du futur réseau de transport d'intérêt national en région capitale. Ce projet de loi:

- renforce les procédures de concertation et de participation du public et accroît leur efficacité,
- crée l'établissement public «Société du Grand Paris» chargé d'assurer la maîtrise d'ouvrage des projets de transport d'intérêt national et compétent pour réaliser des opérations d'aménagement ou de construction liées au réseau de transport du Grand Paris. Cette entité conduira les études, lancera les appels d'offres et passera les marchés nécessaires à la construction du réseau;
- organise les relations entre l'établissement public «Société du Grand Paris» et la Régie autonome des transports parisiens (RATP), la Société nationale des chemins de fer français (SNCF) et Réseau ferré de France (RFF) dans le domaine des compétences exclusives attribuées à ces sociétés, en particulier celles de gestionnaires d'infrastructures;
- traduit l'ambition d'un urbanisme de projet. Est affirmée la volonté de faire en sorte que la réflexion des architectes et des urbanistes constitue désormais le point de départ de l'élaboration du projet si symbolique du Grand Paris.

A l'issue des travaux, elle remettra l'ouvrage au Syndicat des Transport d'Île de France (STIF) pour l'exploitation.

## 10 Implementation of projects

### 10.1 Organizational principles

After consultations with representatives of the Île-de-France Region and the prominent elected representatives, a draft law has been presented by Christian Blanc, Secretary of state for the metropolitan area development planning, to the Executive Minister's Council on October 7th 2009.

This draft law includes the first legislative articles necessary for the Grand Paris programme implementation. These articles mainly address the creation and ownership conditions for the Mass Transit Programme in the Metropolitan area. This draft law's contents:

- Strengthen up the consultation and public participation procedures and increase their efficiency.
- Create a "Grand Paris Company" Public Authority to be in charge of implementing the transportation systems impacting national decision making levels and with capability to implement developments or new constructions linked to the Grand Paris transportation network. This Authority will manage design studies, tendering activities, and necessary awards up to final delivery of the network.
- Organize the sets of procedural relations between the public establishment "The Grand Paris" and the "Régie autonome des transports parisiens (RATP)", the "Société nationale des chemins de fer français (SNCF)" and the "Réseau ferré de France (RFF)" in the miscellaneous fields of responsibility enjoyed by each of those companies, in particular the ones with infrastructure management briefs.
- Highlight an ambitious urban project with the requirement that architectural and urban specialists views drive the origins of such a symbolic project as the Grand Paris one.

After completion of works this authority will hand the works over to the "Syndicat des Transports d'Île-de-France" (STIF) for revenue Operations.

### 10.2 Financing

The accrued value of the miscellaneous projects at stake in the programme represents an investment of approximately 35 billion Euros, out of which 23 billion Euros for the high capacity driverless system and the RER: a very heavy investment to be widespread over around ten years, but it only represents yearly 0.66 % of the region's GNP.

Miscellaneous funding tracks could be mobilized: transport fares, fares taxes on companies, a dedicated tax system, an added value tax principle on land and property added values after the system is built up and operated, including in neighboring benefiting areas developments, State and local governing authorities funding.

## 10.2 Financement

L'ensemble de ces projets représente un investissement d'environ 35 Mrd €, dont 23 Mrd € pour le métro automatique à grande capacité et le plan RER. C'est un investissement très lourd mais étalé sur une décennie, il ne représente annuellement que 0,66 % du PIB de la région.

Plusieurs pistes de financement pourront être mobilisées: la tarification des transports, le versement transports, une fiscalité locale dédiée, la mobilisation de la richesse foncière et immobilière créée par le nouveau réseau et l'aménagement des zones qu'il dessert, les subventions de l'Etat et des collectivités locales.

Le Président de la République a confié à Gilles Carrez, en liaison étroite avec le secrétariat d'Etat à la Région capitale, la mission de proposer un schéma global de financement du projet de transports, en s'appuyant sur un groupe de travail et une large concertation.

## 11 Role de l'Association française des travaux et de l'espace souterrain (AFTES)

L'un des axes de développement retenu par l'AFTES a été de multiplier les rencontres avec les décideurs politiques et opérationnels en vue de promouvoir l'utilité sociétale et environnementale du sous-sol.

Notre démarche sur le Grand Paris des Transports a donc consisté à aller à la rencontre du Secrétariat d'Etat Chargé du développement de la Région Capitale car nous considérons devoir le sensibiliser plus encore. Ce fut une première pour l'association. L'association a ainsi voulu montrer:

- que les objectifs de fonctionnalité, d'efficacité, de confort, voire d'agrément soulignés par le Président de la République pouvaient être parfaitement satisfaits avec un tracé majoritairement souterrain;
- que le Grand Paris des Transports pourrait véritablement constituer un tournant, une opportunité unique pour une prise de conscience du potentiel considérable que peut offrir l'urbanisme souterrain à l'heure où le besoin d'espace conduit naturellement à chercher à «épaissir» la ville, et où les enjeux du développement durable s'imposent de plus en plus comme une évidence.

## 12 Eléments de réflexion sur les points de vigilance et les conditions de réussite

Notre démarche a été source de progrès car notre association, qui est un observatoire privilégié des méthodes et des techniques, des règlements et des nomenclatures développés en Europe et ailleurs dans le monde, et qui élabore à ce titre des recommandations dont la qualité est reconnue, a été incitée à partager les éléments de réflexion sur les points

The President of the Republic has mandated Gilles Carrez, in close collaboration with the State Cabinet for the Metropolitan area with a brief to propose an overall financing scheme for the mass transit and transport projects. The work will be supported by a dedicated working group and a wide consultation process.

## 11 The role of the French Tunnelling and Underground Space Association (AFTES)

One of the focuses retained by AFTES has been to initiate a multiple meetings process with the political and operational decision makers with a view to take best societal and environmental standpoints for the underground space. Our action for "The Grand Paris Transit Plan" included initiating numerous meetings with the Secretary State in charge of the Metropolitan area Development because we insisted on some increased sensitivity efforts on our issues. This had never been attempted before. The association intended to show that:

- The functionalities, efficiency, comfort, and potentially public satisfaction as underlined by the President of the Republic could be met by utilizing a mostly underground alignment.
- The "Grand Paris Transit Plan" could really represent a unique opportunity to acknowledge the considerable potentialities at stake with underground urbanization in a time when spatial volume needs do naturally drive into actions for increasing the "town densities" and when the sustainable development stakes tend to become more and more prominent.

## 12 A few thoughts on the items to monitor and success conditions

Our process has generated considerable progress because our association, which represents a privileged observation standpoint for techniques, methods, rules and nomenclatures developed in Europe and elsewhere throughout the world and in this capacity produces widely recognized recommendations, has been invited to share thoughts on specific points to monitor and conditions of success for the "Grand Paris transit Plan".

It has thereby become possible to underline a certain number of items on which we definitely wish to focus decision maker's attention, because they shall condition the success of the programme and the compliance with the agreed schedule:

- The system compliance with functionalities must come first.
- Underground stations must be easy to use and inserted in a newly designed underground environment.
- An overall view for underground spatial volume value adding methods/techniques must be taken from start.

de vigilance et les conditions de réussite du Grand Paris des Transports.

Il a été ainsi possible de souligner un certain nombre de points sur lesquels nous souhaitons d'ores et déjà attirer l'attention, car ils conditionneront la réussite de l'opération et le respect des délais affichés:

- des fonctionnalités à assurer en priorité,
- des stations souterraines agréables et commodes dans un urbanisme souterrain repensé,
- une valorisation de l'espace souterrain créé dans une vision plus globale,
- des économies possibles grâce aux tunneliers modernes,
- des coûts bien maîtrisés et un délai respecté grâce à des pratiques contractuelles adaptées,
- le choix des meilleurs acteurs à tous les niveaux,
- la maîtrise des procédures administratives.

### 13 Experts susceptibles d'assister la Société du Grand Paris

Aussi, pour réussir ce projet, l'association a réagi avec promptitude à la proposition du Secrétariat d'Etat Chargé du développement de la région capitale de dresser une liste d'experts de haut niveau de compétence. Une cinquantaine d'experts dans toutes les composantes de l'association et toutes les disciplines a été proposée en vue de rassembler les meilleures compétences dans la Société du Grand Paris. Une équipe restreinte devrait avoir en charge d'établir et de s'assurer de l'intégrité du processus des études et de la réalisation des projets. Par ailleurs, nous avons souligné que l'accélération des procédures pourrait être facilitée par la création d'un Comité d'Experts Techniques chargé de délivrer un avis circonstancié sur les choix de management, contractualisation, méthodes constructives, etc. et ce même Comité pourrait ensuite assister la passation des contrats gérer les différends et résoudre les litiges.

Ce fut le sens de la démarche entreprise pour une première fois par notre association sur un projet de cette ampleur.

- The use of modern tunnel boring machines in order to generate potential cost savings is advisable.
- Costs must be properly controlled and the execution schedule must be fully compliant with plan thanks to adapted project control practices.
- The best actors at all levels should be retained.
- Sound management of administrative procedures should be adopted.

### 13 Potential expertise needs to assist the "Grand Paris" companies

For this programme to meet success, the association has promptly reacted to the request made by the "Secretary State in charge of the Metropolitan area Development" to establish a list of highly qualified experts. A list of about 50 specialists of all the best miscellaneous disciplines at stake within the association was proposed to the newly created company. A restricted team should be in charge of establishing and ensuring the adequateness of the design studies and project delivery processes. On an other hand, we have highlighted that the accelerated fast procedural processes could be supported by a dedicated Technical expert Committee which would be in charge of producing scope assessments on such issues as project management, contract awards, construction method statements, and this same Committee could then assist in contract awards, claims management, and conflict resolutions.

This was the focus that our association started for the first time for a project of such a magnitude.

*Gérard Seingre, Ing. civil dipl. EPFL/SIA, Responsable de la Direction générale des travaux Nant de Drance, AF-Colenco SA, Châtelard-Finhaut/CH*

## Pompage-turbinage Nant de Drance

### Les défis d'un grand projet hydroélectrique dans les Alpes valaisannes

La centrale de pompage-turbinage Nant de Drance (4 x 150 MW) produira dès 2016 de l'énergie électrique de pointe. 2 galeries d'adduction de 1,7 km et 2 puits verticaux de 470 m relieront les lacs d'Emosson (1930 m) et du Vieux-Emosson (2205 m). Le projet est devisé à 990 Mio. CHF. Les travaux ont débuté en septembre 2008. La réalisation d'un tel projet en milieu alpin comporte de nombreux défis techniques.

## Nant de Drance Pumped Storage Power Plant

### The challenges of a major hydroelectric project in the Valais Alps

The Nant de Drance pump/turbine station (4 x 150 MW) will produce state-of-the-art electrical energy from 2016. Two 1.7 km power tunnels and 2,470 m vertical wells will be used to link Lake Emosson (1,930 m) and Lake Vieux Emosson (2,205 m). The project is costed at 990 million CHF. The work started in September 2008. Undertaking such a project in an Alpine environment raises a number of technical challenges.

#### 1 Nécessité du projet Nant de Drance

Les besoins en électricité et particulièrement en énergie de pointe en Suisse et en Europe continuent à croître malgré la mise en application de politiques d'économie d'énergie. Il est probable que l'augmentation de la consommation qui a été freinée par la crise financière, reprendra ces prochaines années. Selon les estimations de la Confédération, une pénurie d'électricité pourrait menacer la Suisse à partir de 2035.

L'arrivée de nouvelles énergies renouvelables (éolienne et solaire) sur le marché de l'électricité, dont la production est fortement dépendante des conditions météorologiques, nécessite une augmentation correspondante des besoins en énergie de pointe pour garantir la stabilité de réseau. Le problème de stabilité de réseau se pose également avec acuité pour les CFF qui doivent absorber des fortes pointes de consommation lors du démarrage simultané de nombreux trains.

Les centrales de pompage-turbinage sont actuellement le seul moyen industriel fonctionnel qui permette de stocker l'énergie électrique surabondante aux heures creuses et de la restituer lors des pointes. Le rendement de restitution atteint avec les technologies actuelles plus de 80 %, ce qui est économiquement rentable.

Alpiq, CFF-Energie et FMV (Forces Motrices Valaisanne) ont réuni leurs forces pour profiter de l'opportunité offerte par la

#### 1 The need for the Nant de Drance project

Electricity needs and in particular peak energy needs are continuing to grow in Switzerland and Europe despite the implementation of energy-saving policies. Consumption which has been affected by the financial crisis will probably increase again in the next few years. According to the Swiss Confederation's estimates, an electricity shortage could threaten Switzerland from 2035.

The arrival on the electricity market of new renewable energies (wind and solar energy) whose production is highly dependent on weather conditions requires a corresponding increase in peak energy needs in order to guarantee network stability. The problem of network stability should also be seriously considered for the CFF (Swiss National Railways) which must absorb high consumption peaks when several trains are started simultaneously.

Pumped storage power plant are currently the only functional industrial means of storing over-abundant electrical energy at off-peak times and releasing it at peak times. With current technologies, retrieval efficiency exceeds 80%, which is economically cost-effective.

Alpiq, CFF-Energie and FMV (Forces Motrices Valaisanne) have united forces to seize the opportunity offered by the geographical proximity of the Emosson and Vieux Emosson reservoir as well as their difference in level. These 2 storage

## Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance

Herausforderungen bei einem grossen Wasserkraftprojekt in den Walliser Alpen

Ab 2015 wird das Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance (4 x 150 MW) Energie für den Spitzenlastbedarf produzieren. Zwei Zuleitungstollen mit einer Länge von 1,7 km und zwei 470 m tiefe vertikale Schächte verbinden die Seen Emosson (1930 m) und Vieux-Emosson (2205 m). Das Projekt ist auf 990 Mio. CHF budgetiert. Mit den Arbeiten wurde im September 2008 begonnen. Die Realisierung eines derartigen Projekts in einer alpinen Umgebung bringt eine Vielzahl technischer Herausforderungen mit sich.

## Pompaggio-turbinaggio Nant de Drance

Le sfide di un grande progetto idroelettrico nelle alpi Vallerane

La centrale di pompaggio-turbinaggio di Nant de Drance (4 x 150 MW) a partire dal 2015 produrrà energia elettrica di punta. 2 gallerie di adduzione di 1,7 km e 2 pozzi verticali da 470 m collegheranno i laghi di Emosson (1930 m) e di Vieux-Emosson (2205 m). Si stima che il progetto richieda 990 Mio. di CHF. I lavori sono iniziati a settembre 2008. La realizzazione di un tale progetto in ambiente alpino comporta numerose sfide tecniche.

proximité géographique des barrages d'Emosson et du Vieux-Emosson, ainsi que de leur différence de niveau. Ces 2 lacs d'accumulation sont situés sur la commune de Finhaut, au sud-ouest du canton du Valais.

### 2 Cadre général du projet Nant de Drance

Le projet Nant de Drance s'insère dans une série d'aménagements hydroélectriques relativement complexes, exploités par deux sociétés différentes, à cheval sur deux pays (Fig. 1).

#### 2.1 Les installations CFF

Le barrage de Barberine a été construit entre 1920 et 1926. Il est situé à la cote 1889 m.s.m. Il alimentait l'usine électrique de Châtelard dès 1923 (altitude 1125 m.s.m.). L'eau repart ensuite en direction de la plaine du Rhône et est turbinée une nouvelle fois à Vernayaz (altitude 456 m.s.m.).

Entre 1952 et 1955, les CFF complétèrent leurs aménagements par la construction du barrage du Vieux-Emosson sur le Nant de Drance (cote max 2205 m.s.m.). Ce barrage sert uniquement à stocker de l'eau, qui était transféré par gravitation dans le barrage de Barberine.

#### 2.2 Les installations d'Emosson SA

Après de longues tractations entre la Suisse et la France, la construction du barrage a débuté en 1967 et s'est achevée en 1975. Le barrage d'Emosson (cote max. 1930 m.s.m.) a noyé le barrage CFF de Barberine dans son lac. Le barrage d'Emosson est alimenté par un vaste réseau de collecteurs. Il draine les eaux des vallées françaises, de l'Arve et de l'Eau Noire ainsi que les eaux suisses du Val Ferret et du Trient. L'eau est turbinée deux fois, à Vallorcine (France, altitude 1125 m.s.m.) et à Martigny (altitude 462 m.s.m.).

reservoirs are situated in the municipality of Finhaut in the South-West of the Valais canton.

### 2 General framework of the Nant de Drance project

The Nant de Drance project is part of a series of relatively complex hydroelectric facilities operated by two different companies and straddling two countries (Fig. 1).

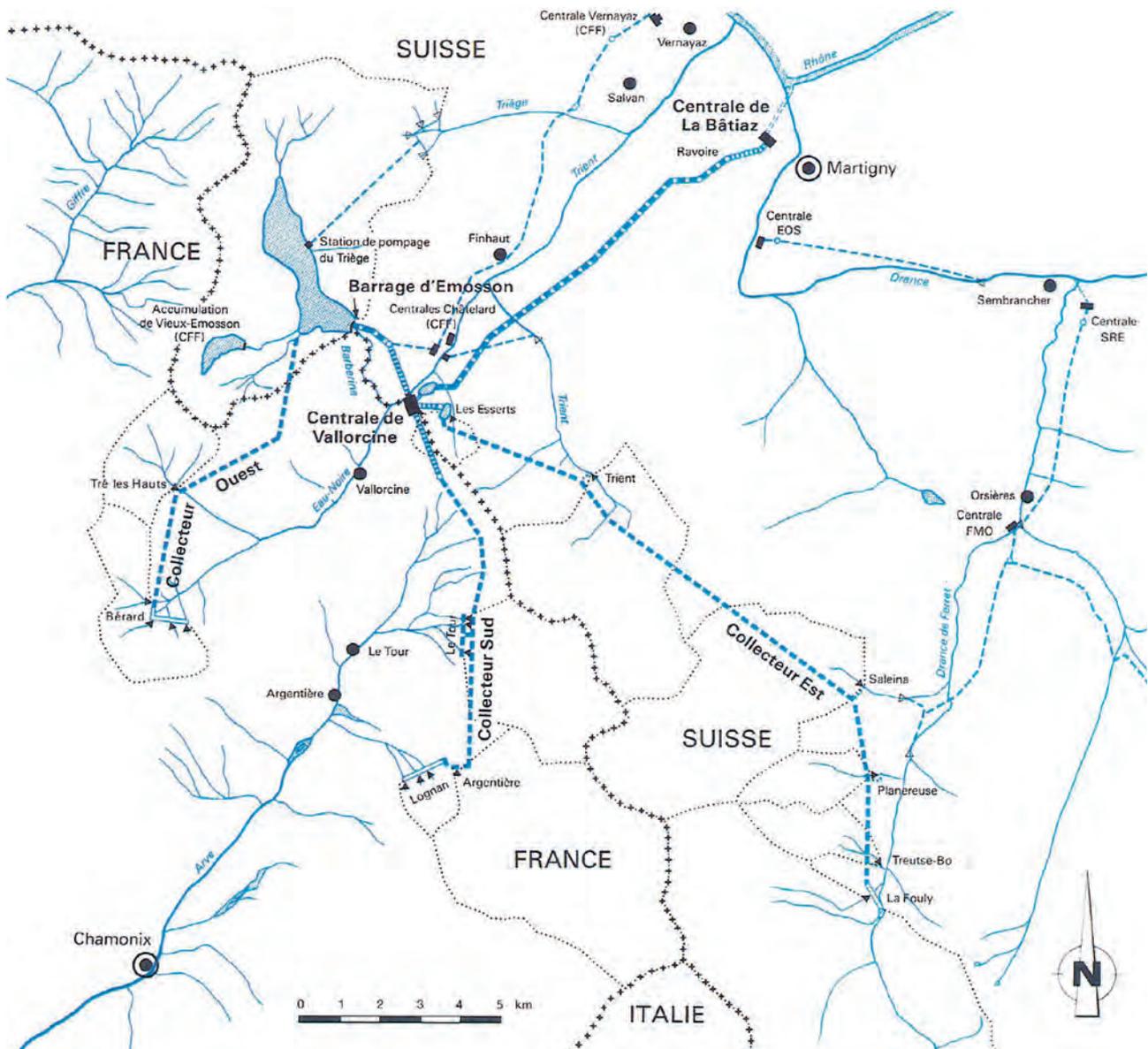
#### 2.1 CFF (Swiss National Railway) facilities

The Barberine dam was constructed between 1920 and 1926. It is situated 1,889 m.s.l. It supplied the Châtelard electrical power station as early as 1,923 (1,125 m.s.l.). The water is then transported towards the Rhône plain and turbinéd again at Vernayaz (456 m.s.l.).

The CFF (Swiss National Railways) extended its facilities between 1952 and 1955 facilities with the construction of the Vieux-Emosson dam on the Nant de Drance (max. alt.: 2,205 m.s.l.). This dam is only used for storing water transferred by gravitation in the Barberine dam.

#### 2.2 Emosson SA's facilities

After long negotiations between Switzerland and France, construction of the dam began in 1967 and was completed in 1975. The Emosson dam (max. alt.: 1,930 m.s.l.) submerged the CFF (Swiss National Railways) Barberine dam in its reservoir. The Emosson dam is supplied by a vast network of collectors. It drains the water from the French valleys of the Arve and Eau Noire as well as Swiss water from Val Ferret and Trient. The water is turbinéd twice, at Vallorcine (France, alt.: 1,125 m.s.l.) and Martigny (alt.: 462 m.s.l.).



1 Carte synoptique des aménagements hydroélectriques existants  
 Sketch map of the existing hydroelectric facilities

### 2.3 Genèse du projet Nant de Drance

Au début des années 2000, ATEL a mandaté AF-Colenco AG en tant que planificateur général. Les études de faisabilité ont confirmé l'intérêt d'un aménagement de pompage-turbinage.

Le dossier de concession et d'autorisation de construire a été déposé à l'office fédéral de l'énergie (OFEN) le 12 mars 2007. Une procédure au niveau fédéral a été nécessaire car cette nouvelle concession affecte des traités internationaux avec la France. L'appel d'offres pour les travaux de génie civil a été lancé en juillet 2007. En avril 2008, les conseils d'administration d'ATEL et des CFF ont approuvé la réalisation du projet Nant de Drance de 600 MW devisé à 990 Mio. de CHF.

### 2.3 Origin of the Nant de Drance project

ATEL appointed AF-Colenco AG as the general planner at the beginning of the 2000s. The feasibility studies confirmed the value of a pumped storage facility.

The concession and construction permit application was submitted to the Federal Office of Energy (OFEN) on 12th March 2007. A Federal procedure was required as this new concession affects international treaties with France. The call for tenders for the civil engineering work was launched in July 2007. The ATEL and CFF (Swiss National Railways) Boards of Directors approved the 600 MW Nant de Drance project costed at 990 million CHF in April 2008.

Les travaux principaux de génie-civil ont été attribués au Groupement GMI Marti-Implemia (montant du contrat 564 Mio. CHF). L'entreprise Dénériaz SA a obtenu la réalisation du tunnel d'accès de Châtelard. Alstom est adjudicataire de la construction des pompes-turbines et ABB fournira les transformateurs.

Le 25 août 2008, le département fédéral de l'environnement des transports de l'énergie et de la communication (DETEC) a accordé la concession et le permis de construire pour la centrale de pompage-turbinage. Le projet de ligne électrique Châtelard-Martigny-Bâtiatz est traité dans le cadre d'une procédure d'autorisation séparée. Les travaux ont commencé en septembre 2008 dès la fin du délai de recours (Fig. 2).



2 Début de l'excavation du tunnel d'accès Châtelard, déc. 2008  
Start of excavation of the Châtelard access tunnel, Dec. 2008

En novembre 2008, ATEL et les CFF ont fondé une société qui se nomme Nant de Drance SA et dont le siège est à Finhaut. Cette société est chargée de la construction et de l'exploitation de la centrale de pompage-turbinage. En avril 2009, la société FMV est entrée dans le capital de Nant de Drance SA, comme le prévoit la loi cantonale valaisanne sur l'utilisation des forces hydrauliques. La répartition actuelle de l'actionnariat est de: Alpiq 54 % - CFF 36 % - FMV 10 %.

En octobre 2009, Nant de Drance SA a annoncé son intention d'augmenter la puissance de l'aménagement de 600 à 900 MW. Pour être rentable, cette augmentation nécessite la surélévation de 20 m du barrage du Vieux-Emosson. Les études de ce projet (Nant de Drance +) sont actuellement en cours. Pour la suite de l'exposé, c'est le projet 600 MW qui est présenté.

### 2.4 Géologie

Mis à part le tunnel d'accès de Châtelard et les premiers 180 m de la galerie d'accès principale qui ont traversé les schistes et grès du Carbonifère (synclinal Salvan-Dorénaiz),

The main civil engineering work was awarded to the joint-venture GMI Marti-Implemia (contract amount: 564 million CHF). Dénériaz SA was commissioned to construct the Châtelard access tunnel. Alstom bid successfully for construction of the pumps/turbines and ABB will supply the transformers.

The concession and the construction permit for the pumped storage plant was granted by the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC) on 25th August 2008. The Châtelard-Martigny-Bâtiatz power transmission line project is handled in a separate authorisation procedure. The construction work began in September 2008 at the end of the appeal period (Fig. 2).

In November 2008, ATEL and CFF (Swiss National Railways) founded a company named Nant de Drance SA whose registered office is based at Finhaut. This company is in charge of constructing and operating the pump/turbine station. FMV entered the capital of Nant de Drance SA in April 2009, as provided for in the Valais Canton Law on use of hydraulic forces. The current shareholdership is: Alpiq 54 %, CFF (Swiss National Railways) 36 %, FMV 10 %.

In October 2009, Nant de Drance SA announced its intention to increase the facility's installed electricity from 600 to 900 MW. In order to be cost-effective, this increase requires the Lake Vieux-Emosson dam to be raised by 20 m. The studies for this project (Nant de Drance +) are currently in progress. The remainder of this presentation focuses on the 600 MW project.

### 2.4 Geology

Apart from the Châtelard access tunnel and the first 180 m of the main access gallery which crossed the Carboniferous schists and sandstone (Salvan-Dorénaiz syncline), all of the other excavations will be cut in the rocks in the Aiguilles Rouges massif.

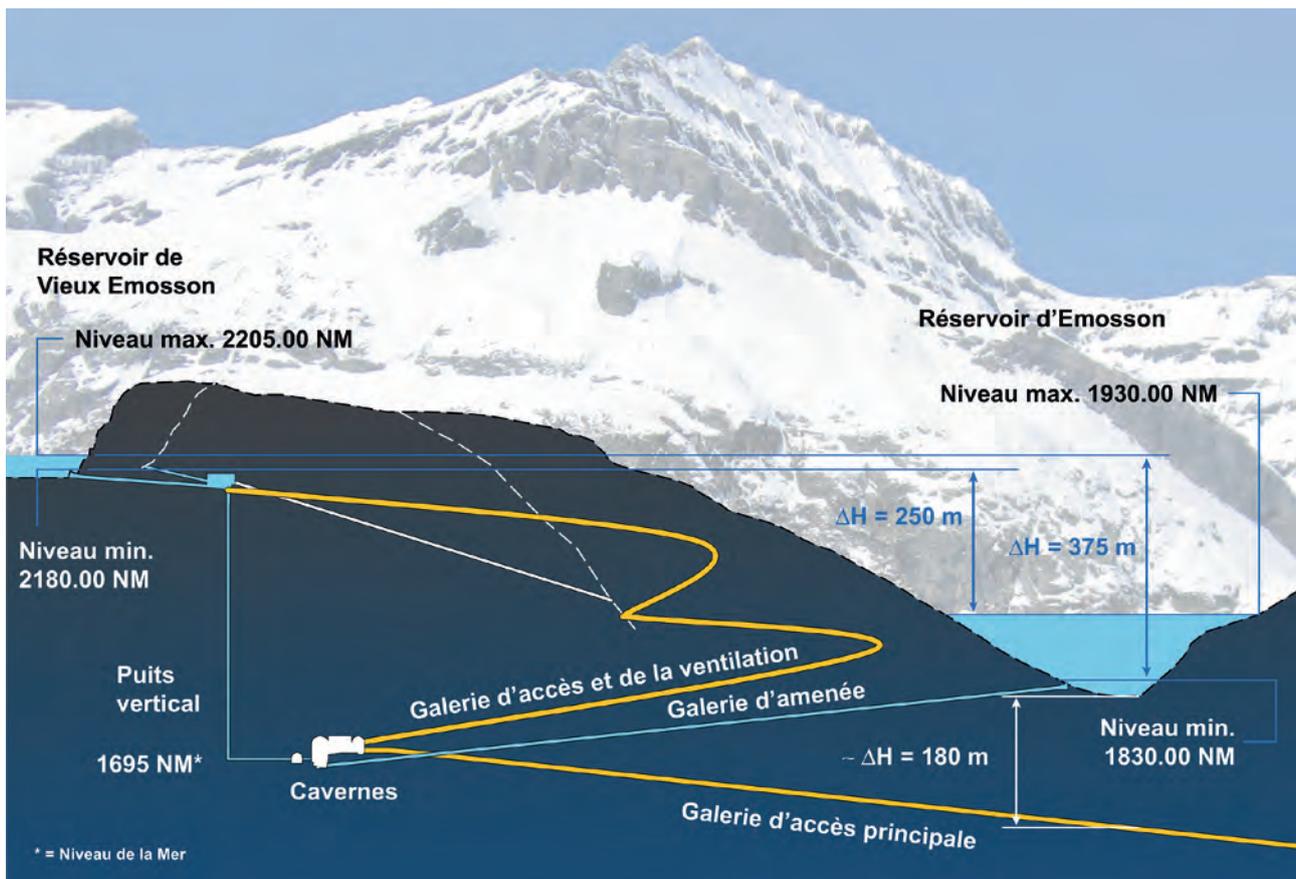
The Aiguilles Rouges massif is made up of Vallorcine granite, orthogneiss, metagrauwacke and migmatitic gneisses. Metagrauwackes are metamorphic rocks of sedimentary origin that appear in the form of mica-schists, meta-sandstone or paragneiss.

The rocks vary in quality from good to very good, with the exception of the Carboniferous schists which are very heterogeneous. The Aiguilles Rouges massif is affected by 5 discontinuity sets in addition to the main schistosity. The landscape is strongly marked by several major faults. The aquifer that supplies the springs in the town of Finhaut is essentially of the fissural type.

## 3 The 600 MW Nant de Drance project

### 3.1 An evolving project

Since the start of the public inquiry, several optimisation procedures have been made by the Project Developer and



3 Coupe schématique du système hydraulique  
Sketch cross-section of the hydraulic system

toutes les autres excavations seront entreprises dans les roches du massif des Aiguilles Rouges.

Le massif des Aiguilles Rouges est composé du granite de Vallorcine, d'orthoogneiss, de métagrauwacke et de gneiss migmatitiques. Les métagrauwacke sont des roches métamorphiques d'origine sédimentaire qui se présentent sous forme de micaschistes, métagrès ou de paragneiss.

Les roches sont de bonne à très bonne qualité, à l'exception des schistes du Carbonifère qui sont très hétérogènes. Le massif des Aiguilles rouges est affecté par 5 familles de discontinuité en plus de la schistosité principale. Plusieurs grandes failles marquent fortement le paysage. L'aquifère qui alimente les sources de la commune de Finhaut est essentiellement de type fissural.

### 3 Le projet Nant de Drance 600 MW

#### 3.1 Un projet en évolution

Depuis la mise à l'enquête, plusieurs optimisations ont été apportées par le Maître d'Ouvrage et ses mandataires en vue de réduire les coûts du projet. L'objectif du Maître d'Ouvrage est de concevoir un ouvrage de standard industriel en réduisant les coûts sur les ouvrages annexes. Dans

his representatives with a view to reducing the cost of the project. The Project Developer's objective is to design an industrial standard structure by reducing the costs of any adjacent structures. In this presentation, the project is presented as at December 2009 (Fig. 3).

#### 3.2 Hydraulic system

The hydraulic system and the machine cavern are at the heart of the project. It is comprised of the following elements:

- Upper reservoir – Existing Lake Vieux-Emosson:
  - Gravity dam: Height  $H = 45$  m
  - Max. alt. 2,205 m.s.l./min. alt.: 2,180 m.s.l.
  - Life Storage: 10 million  $m^3$
- 2 independent parallel upper underground tunnels, dimensioned for a flow  $Q$  of  $120$   $m^3/s$ , comprised of the following elements:
  - 2 upper water intakes, cross-section:  $13 \times 11$  m
  - 2 inlet tunnels: Length  $L = 277$  m, Slope  $i = -12\%$ , Diameter 6.6 m
  - Upper valve chambers: Equipped with 2 butterfly valves
  - 2 vertical shafts: Height  $H = 434$  m,  $\varnothing = 6.00$  m
  - 2 steel-lined sections:  $L = 55$  m,  $\varnothing = 4.25$  m,  $i = -12\%$
  - 2 "Y" distribution blocks  $L = 30$  m,  $\varnothing = 3.20$  m

cet exposé, le projet est présenté à l'état de décembre 2009 (Fig. 3).

### 3.2 Système hydraulique

Le système hydraulique et la caverne des machines constituent le cœur du projet. Il est constitué des éléments suivants:

- Retenue supérieure – lac existant du Vieux-Emosson:
  - barrage-poids: hauteur  $H = 45$  m
  - cote max. 2205 m.s.m./cote min. 2180 m.s.m
  - capacité utile: 10 Mio.  $m^3$
- 2 galeries hydrauliques supérieures parallèles indépendantes, dimensionnées pour un débit  $Q = 120$   $m^3/s$ , composées des éléments suivants:
  - 2 prises d'eau supérieures, section  $13 \times 11$  m
  - 2 galeries d'amenée: longueur  $L = 277$  m, pente  $i = -12$  %, diamètre 6,6 m
  - chambres des vannes supérieures: équipées de vanne papillon
  - 2 puits de chutes verticaux: hauteur  $H = 434$  m,  $\varnothing = 6,00$  m
  - 2 tronçons blindés:  $L = 55$  m,  $\varnothing = 4,25$  m,  $i = -12$  %
  - 2 répartiteurs en Y:  $L = 30$  m,  $\varnothing = 3,20$  m
- Caverne des machines: longueur  $L = 138$  m, largeur  $B = 32$  m, hauteur  $H = 52$  m, volume excavé  $V = 170\,000$   $m^3$   
 Equipement:
  - 4 pompes-turbines Francis 150 MW, cote de montage 1695 m.s.m.
  - 2 x 4 vannes à boule à l'amont et à l'aval des turbines
- 2 galeries hydrauliques inférieures parallèles composées des éléments suivants
  - 2 répartiteurs blindés en Y:  $L = 45$  m,  $\varnothing = 3,70$  m
  - 2 tronçons blindés:  $L = 60$  m,  $\varnothing = 4,50$  m,  $i = 11,7$  %
  - 2 galeries d'amenée:  $L = 1170$  m,  $\varnothing = 6,60$  m,  $i = 11,5$  et  $7,1$  %
  - chambre des vannes inférieure équipée de 2 vannes à glissières
  - 2 prises d'eau inférieures, section  $18$  m x  $6,60$  m
- Retenue inférieure: lac existant d'Emosson
  - barrage voûte:  $H = 180$  m
  - cote max. 1930 m.s.m./cote min. 1835 m.s.m
  - capacité exploitable 210 Mio.  $m^3$

### 3.3 Accès et dispositifs annexes

- Accès principal à la caverne des machines comprenant les éléments suivants (Fig. 4):
  - Pont sur la rivière Eau Noire à Châtelard: portée  $L = 18$  m
  - Tunnel d'accès de Châtelard:  $L = 510$  m,  $i = +8$  % à  $-12$  %,  $S = 49$   $m^2$
  - Galerie d'accès principale:  $L = 5500$  m, pente  $i = 11.5$  %, excavée au tunnelier diamètre  $\varnothing = 9,45$  m
- 2 galeries d'accès inclinées depuis Collecteur Ouest (variante d'entreprise):

- Machine cavern: Length  $L = 138$  m, Width  $B = 32$  m, Height  $H = 52$  m, Excavated volume  $V = 170,000$   $m^3$   
 Equipment:
  - 4 Francis 150 MW pump turbines; Axis Level; 1,695 m.s.l.
  - 2 x 4 ball valves upstream and downstream from the turbines
- 2 independent parallel lower underground tunnels comprised of the following elements
  - 2 shielded "Y" distribution blocks:  $L = 45$  m,  $\varnothing = 3.70$  m
  - 2 steel-lined sections:  $L = 60$  m,  $\varnothing = 4.50$  m,  $i = 11.7$  %
  - 2 power tunnels:  $L = 1,170$  m,  $\varnothing = 6.60$  m,  $i = 11.5$  % and  $7.1$  %
  - Lower valve chamber equipped with 2 roller gates
  - 2 lower water intakes, cross-section:  $18$  m x  $6.60$  m
- Lower reservoir: Existing Lake Emosson
  - Arch dam: Height  $H = 180$  m
  - Max. alt.: 1,930 m.s.l./ Min. alt. 1,835 m.s.l.
  - Usable capacity: 210 million  $m^3$

### 3.3 Accesses and adjacent facilities

- Main machine cavern access comprising the following elements (Fig. 4):
  - Bridge on River Eau Noire at Châtelard: Span  $L = 18$  m
  - Châtelard access tunnel:  $L = 510$  m,  $i = +8$  % à  $-12$  %,  $A = 49$   $m^2$
  - Main access tunnel:  $L = 5,500$  m, Incline  $i = 11.5$  %, TBM-excavated, Diameter  $= 9.45$  m
- 2 inclined access tunnels from West Collector (contractor variant).
  - Tunnel leading down to the power station:  $L = 2,130$  m,  $i = -12$  %,  $A = 46$   $m^2$
  - Tunnel leading up to the wellhead (upper valve chamber):  $L = 1750$  m/Incline  $i = 12$  %,  $A = 46$   $m^2$
- Vieux Emosson access and ventilation tunnel:  $L = 369$  m,  $i = 6$  %
- Final material depository at Châtelard: Volume  $V = 1,600,000$   $m^3$



4 Excavation en terrain meuble au portail de la galerie d'accès principale, juillet 2009

Soft ground excavation of the main access tunnel portal, July 2009



5 Excavation du portail d'Emosson (collecteur Ouest), août 2009  
Excavation of the Emosson portal (West Collector), August 2009

- galerie descendant vers la centrale: L = 2130 m, i = -12 %, S = 46 m<sup>2</sup>
- galerie montant vers la tête des puits (chambre des vannes supérieure): L = 1750 m/pente i = 12 %, S = 46 m<sup>2</sup>
- galerie d'accès et de ventilation Vieux Emosson: L = 369 m, i = 6 %
- Dépôt définitif de matériaux à Châtelard: volume V = 1 600 000 m<sup>3</sup>
- Caverne des transformateurs: L = 115 m, B = 18 m, H = 15 m
- Evacuation de l'énergie par deux lignes 380 kV placées dans les banquettes latérales en béton de la galerie d'accès principale

### 3.4 Installations de chantier

- Place de chantier principale Châtelard, altitude 1100 m.s.m.

- Transformer cavern: L = 115 m, B = 18 m, H = 15 m
- Energy evacuated via two 380 kV power lines placed in the concrete side benches in the main access tunnel

### 3.4 Construction site facilities

- Main construction site area at Châtelard, alt.: 1,100 m.s.l.
- Construction site area at Emosson (West Collector), alt.: 1,950 m.s.l. (Fig. 5)
- Temporary material depository at West Collector, Volume V = 220,000 m<sup>3</sup>. Request to maintain the temporary West Collector landfill site as the final landfill site.
- Installation of concrete aggregate preparation at Bierle (town of Trient), alt.: 1,245 m.s.l.
- Steel works assembly area at Planpro (municipality of Trient), alt.: 1,275 m.s.l.
- Road providing access to the water intakes in Lake Emosson: L = 1,400 m, Width b = 3.50 m, in altitude difference h = 154 m, Max. slope i = 18 %

- Place de chantier Emosson (Collecteur Ouest), altitude 1950 m.s.m. (Fig. 5)
- Dépôt de matériaux provisoire à Collecteur Ouest, volume  $V = 220\,000\text{ m}^3$ . Demande de maintenir la décharge provisoire de Collecteur Ouest comme décharge définitive.
- Installation de préparation des granulats à béton à Bierle (commune de Trient), altitude 1245 m.s.m.
- Place de montage pour la chaudronnerie à Planpro (commune de Trient), altitude 1275 m.s.m.
- Route d'accès aux prises d'eau dans le lac d'Emosson:  $L = 1400\text{ m}$ , largeur  $b = 3,50\text{ m}$ , dénivelé  $h = 154\text{ m}$ , pente max.  $i = 18\%$

### 3.5 Méthode de réalisation

L'excavation de toutes les galeries et cavernes était prévue initialement à l'explosif. Pour les galeries d'accès, le Maître d'Ouvrage a souhaité un standard industriel économique. Il a été prévu un complexe soutènement-revêtement, composé de béton projeté armé et d'ancrages au mortier ou de cintres HEB 160, dans les parties plus difficiles. Il n'est en principe pas envisagé de mettre en place une étanchéité et un revêtement en béton coulé. Etant donné la bonne qualité générale du massif rocheux, il est prévu sur des tronçons importants de laisser la roche apparente aux parements.

Dans les galeries hydrauliques, par contre un revêtement en béton armé est nécessaire. Les revêtements des diverses cavernes sont également prévus en béton armé, notamment à cause des forts gradients hydrauliques.

Actuellement seules les galeries d'accès depuis Châtelard et Collecteur Ouest sont en cours d'exécution.

#### 3.5.1 Le tunnel d'accès de Châtelard

Les travaux d'installation de ce lot attribué à Dénériaz SA (mais effectué en consortium par le groupement LEDI Losinger – Evéquo – Dénériaz – Imboden) ont commencé en novembre 2008. Très vite, les activités ont été perturbées par les fortes chutes de neige de l'hiver. Le premier minage a eu lieu juste avant Noël. L'excavation de ce tunnel en Y, à fortes pentes, dans les gneiss micacés et les grès du Carbonifère n'a pas posé de grands problèmes aux mineurs valaisans. Il est à relever que 2 des 3 portails ont été excavés de l'intérieur vers l'extérieur dans des conditions assez délicates (gigantesque bloc ancré au dessus du portail et débouché sur le chantier du pont à 20 m de la route internationale Martigny–Chamonix).

Par contre, une petite galerie hydraulique annexe de  $12\text{ m}^2$  de section et de 200 m de longueur a posé nettement plus de difficulté avec l'apparition d'une chapelle presque jusqu'en surface et l'excavation des derniers 25 m aux marchants. Ces ouvrages préparatoires ont été réceptionnés le 18 septembre 2009.

### 3.5 Method of implementation

It was initially planned to excavate all tunnels and caverns by drill and blast. The Project Developer wanted to adopt an economical industrial standard for the access tunnels. It was planned to use a support/lining compound made of reinforced shotcrete and mortar anchors or HEB 160 beams in the most difficult parts. In principle, it is not planned to provide waterproofing and cast concrete lining. Given the general good quality of the rock massif, it is planned to leave large sections of the rock visible on the facings.

However, reinforced concrete lining is required in the power tunnels. It is also planned to provide reinforced concrete lining in the various caverns, especially because of the high hydraulic gradients.

Currently, only the access tunnels from Châtelard and West Collector are being excavated.

#### 3.5.1 The Châtelard access tunnel

The installation work for this contract package awarded to Dénériaz SA (but performed in a consortium by the LEDI Losinger-Evéquo-Dénériaz-Imboden group) started in November 2008 but activity was very quickly disrupted by the heavy Winter snowfalls. The first blasting operation took place just before Christmas. Excavation of this Y-shaped tunnel with sharp slopes in the Carboniferous mica-gneisses and sandstones did not pose any major problems to the Valais miners. It should be noted that 2 of the 3 portals have been excavated from the inside to the outside in quite delicate conditions (gigantic block fixed above the portal and opening onto the bridge construction site 20 m from the international Martigny-Chamonix road).

However, a small adjacent 200 m-long underground tunnel with a  $12\text{ m}^2$  cross-section clearly presented more difficulties with the appearance of a chapel almost as far as the surface and excavation of the last 25 m by forepoling. This preparatory work was approved on 18th September 2009.

#### 3.5.2 The Châtelard portal (main access tunnel)

The Châtelard portal was excavated in Spring and Summer 2009 by GMI. Construction of this portal was a rather complex operation as the TMR railway line (Martigny-Chamonix) which passes less than 3 m above the tunnel calotte remained in service throughout the construction work. The surrounding ground of alluvial nature (Carboniferous sandstones and schists) that could not be investigated correctly before the work commenced. The soft ground thickness was initially estimated at 25 to 30 m based on a single destructive boring operation.

The portal support is comprised of a beam fixed just below the railway track level and 3 rows of anchored massive re-

### 3.5.2 Le portail de Châtelard (tunnel d'accès principal)

Le portail de Châtelard a été excavé au printemps et en été 2009 par GMI. La réalisation de ce portail fut une opération assez complexe puisque la ligne de chemin de fer TMR (Martigny–Chamonix) qui passe moins de 3 m au dessus de la calotte du tunnel, est restée en service pendant toute la durée des travaux. Le terrain encaissant est constitué d'éboulis de pente (grès et schistes du Carbonifère) qui n'ont pas pu être investigués correctement avant les travaux. L'épaisseur de terrain meuble était estimée initialement à 25 à 30 m sur la base d'un seul sondage destructif.

Le soutènement du portail est constitué par une poutre ancrée en tête juste sous le niveau des voies de chemin de fer et par 3 rangées de plaques en béton armé massives ancrées. La longueur des ancrages précontraints varie de 25 à 35 m. Entre les rangées de plaques en béton des clous passifs de 9 m consolident localement le terrain.

Vu la forte inclinaison du terrain naturel, il a fallu d'abord construire une piste d'accès en enrochements pour accéder avec la foreuse au niveau des ancrages et la démonter au fur et à mesure de l'excavation.

Il était prévu initialement 3 voûtes-parapluies successives de 10 m de longueur utile (longueur des tubes 14 m). Les voûtes devaient s'appuyer sur un composite: cintres réticulés – béton projeté. Sous pression de la direction des travaux et de l'entreprise, c'est une variante avec des HEB 200 qui a été finalement retenue pour l'exécution. La géométrie des cintres a été également modifiée pour conserver un stross de section constante.

Lors du forage des ancrages, il a été constaté que le rocher se trouvait moins loin que supposé initialement. Après avoir procédé à 2 forages destructifs complémentaires, la direction des travaux a pris l'option de tenter de prolonger de quelques mètres les premiers tubes de la voûte-parapluie. Cette option s'est avérée payante, puisque après 18 m les tubes supérieurs étaient ancrés dans le rocher. Finalement une seule voûte-parapluie a été nécessaire. Dans les derniers mètres excavés en terrain meuble les cintres ne sont plus plaqués contre les tubes. Cette décision a permis de gagner plusieurs semaines sur les travaux.

La géométrie de la voie de chemin de fer était contrôlée régulièrement par TMR. Des ancrages de contrôles et des inclinomètres horizontaux et verticaux télé-surveillés ont permis de garantir la circulation des trains. Le tassement de la voie de 35 mm a nécessité une intervention ponctuelle de bourrage.

Un profil permettant l'introduction du tunnelier a ensuite été miné dans les grès et schistes du Carbonifère sur 110 m longueur (tube de démarrage).

inforced concrete slabs. The pre-stressed anchors vary in length from 25 to 35 m. 9 m passive nails are used to consolidate the ground locally between the rows of concrete slabs.

Considering the natural ground's sharp slope, we had to first construct an access track in rock riprap in order to access the anchors with the boring machine and dismantle it as excavation progressed.

3 successive umbrella arches with a useful length of 10 m (pipe length: 14 m) were initially planned. The arches should have been based on a composite of networked arches and shotcrete. Due to the pressure exerted by the construction supervision and the contractor, a solution with HEB 200 was finally executed. The arch geometry was also modified in order to maintain a constant cross-section stross.

When boring the anchors, it was observed that the rock did not go as far as was initially presumed. After having performed 2 additional destructive boring operations, construction supervision decided to opt for trying to extend the first pipes in the umbrella arch by a few metres. This option proved worthwhile as the upper pipes were anchored into the rock after 18 m. Finally, only one umbrella arch was required. The arches are not fixed against the pipes in the last metres excavated in the soft ground. This decision allowed us to save several weeks' work.

The railway track geometry was regularly checked by TMR. Control anchors and remote-controlled horizontal and vertical inclinometers were used to guarantee train circulation. Consolidation of the 35 mm track required local filling operation.

A profile for introducing the TBM was then blasted in the Carboniferous sandstones and schists over a length of 110 m (starting pipe).



6 Tête du tunnelier en cours de montage, novembre 2009  
Head of the TBM during assembly, November 2009

### 3.5.3 Tunnel d'accès principal

L'utilisation d'un tunnelier pour la galerie principale est une variante d'entreprise. Le groupement GMI réutilise un des deux tunneliers du lot Steg-Raron du tunnel de base du Lötschberg (Fig. 6).

Les caractéristiques et équipements principaux de cette machine sont les suivantes:

- TBM ouvert type roche dure à 2 gripeurs
- Fournisseur Herrenknecht (adaptations ultérieures par Marti Technik)
- Diamètre de forage 9,45 m
- La tête est équipée de 4 molettes jumelles et 55 molettes simple 17", espacement 9 cm
- Poussée sur la tête: 18 000 kN
- Motorisation de la tête: 10 x 350 kW, à variateur de fréquence
- Vitesse de rotation de la tête: 0 à 6 tours/minute
- Evacuation des matériaux par bande transporteuse
- Longueur totale du tunnelier et des 6 traîneaux: 142 m
- Poids total de la machine 1450 t
- Equipement pour la pose du soutènement en L1:
  - 2 colonnes de forage pour la pose de Swellex ( $L_{\max} = 4$  m)
  - Escaliers latéraux pour la pose manuelle des treillis d'armature de soutènement
  - Bras multifonction équipé d'un robot à béton projeté et servant également à la manutention des treillis
  - Erecteur de cintres HEB 160 ou 200
- Equipement de forage additionnel en L1:
  - Colonne de forage de reconnaissance pour effecteur des sondages destructifs jusqu'à 80 m devant le TBM. Ces forages se font depuis l'arrière du bouclier, au dessus de la tête, dans l'axe du tunnel avec une inclinaison de 7° par rapport au TBM. Les forages peuvent être, si nécessaire, équipés d'une vanne ou d'un sas de type «Preventer»
  - Colonne de forage auxiliaire démontable pour le forage d'auroles d'injection ou de mini-voûtes parapluie en calotte sur 190° par devant la tête du TBM jusqu'à 30 m de longueur
  - En radier des forages carottés et destructifs sont possibles au moyen d'une foreuse mobile auxiliaire
- Equipement pour la pose du soutènement en L2:
  - 2 colonnes de forage pour la pose d'ancrages au mortier ( $L_{\max} = 4$  m)
  - Robot à béton projeté pour la pose systématique du soutènement-revêtement

A la suite des expériences sur le chantier du tunnel de base du Lötschberg, la tête a été fortement renforcée par des pièces d'usure et de protection des molettes. Initialement, les traîneaux roulaient sur les rails montés sur les voussoirs en béton de radier, tandis que cette fois, les rails seront fixés latéralement aux parements du tunnel. Plusieurs équipe-

### 3.5.3 Main access tunnel

Use of a TBM for the main tunnel is a contractor variant. The GMI group reuses one of the two TBMs from the Steg-Raron lot for the Lötschberg Base Tunnel (Fig. 6).

This machine's main characteristics and equipment are as follows:

- Open TBM for hard rock with 2 grippers
- Supplier: Herrenknecht (later adapted by Marti Technik)
- Bore diameter: 9.45 m
- The head is equipped with 4 twin disc-cutters and 55 17" single disc-cutters, spacing: 9 cm
- Thrust on the head: 18,000 KN
- Head motorisation: 10 x 350 KW, with frequency variator
- Head rotation speed: 0 to 6 RPM
- Evacuation of materials by conveyor belt
- Total length of the TBM and the 6 trailing sleds: 142 m
- Total machine weight 1450 T
- Equipment for laying the support at L1:
  - 2 drill strings for laying Swellex ( $L_{\max} = 4$  m)
  - Side stairs for laying the support mesh reinforcements manually
  - Multi-functional arm equipped with a shotcrete robot also used for mesh handling
  - HEB 160 or 200 arch erector
- Additional boring equipment for L1:
  - Investigation drilling equipment for performing destructive boring operations to a distance of 80 m in front of the TBM. These boring operations are performed from the rear of the shield above the head in the tunnel axis with a 7° incline in relation to the TBM. The bore holes may be equipped if necessary with a valve or a "Preventer"-type air lock
  - Removable auxiliary drilling equipment for boring injection holes or mini umbrella arches in the crown at 190° in front of the TBM head to a length of 30 m
  - Core sample extraction and destructive boring operations may be performed on the floor using an auxiliary mobile boring machine
- Equipment for laying the support at L2:
  - 2 drill strings for laying mortar anchors ( $L_{\max} = 4$  m)
  - Shotcrete robot for systematically laying the support/lining

The head was strongly reinforced with wear parts and disc-cutter protection parts after the experience made on the Lötschberg Base Tunnel construction site. Initially, the trailing sleds travelled on rails mounted onto the floor concrete segments whereas this time, the rails will be attached on the side to the tunnel facings. Several types of equipment have been improved or arranged differently. At L1, the removable auxiliary drilling equipment and the possibility of applying shotcrete did not exist. The mesh laying device has been withdrawn.

ments ont été améliorés ou disposés différemment. En L1, la colonne de forage auxiliaire démontable et la possibilité d'appliquer du béton projeté n'existaient pas. Le dispositif de pose des treillis a été supprimé.

Le montage du tunnelier a commencé début août 2009, par la construction des structures des traîneaux sur des voies placées latéralement perpendiculairement à l'axe du tunnel. Le montage du TBM proprement dit a débuté à la mi-octobre jusqu'à fin novembre. Puis le tunnelier a été tiré dans le tunnel et les traîneaux ont été levés, tournés à 90° et rentrés les uns après les autres. Le montage s'est poursuivi durant le mois de décembre 2009. Le tunnelier a commencé à forer à la mi-janvier 2010. Après une interruption de 3 semaines pour le montage de la réserve de bande transporteuse et divers travaux d'aménagement en radier. Le forage à 3 équipes a débuté début mars 2010.

Le radier du tunnel est constitué d'un remblai réalisé avec les matériaux d'excavation compactés, si nécessaire additionnés de ciment. Par-dessus, une dalle de béton armé de 20 cm est coulé. Par la suite, 2 banquettes en béton contenant chacune 3 câbles monophasés de 380 kV devront encore être exécutées.

### 3.5.4 Galerie d'accès depuis Emosson

Dans le secteur d'Emosson, (altitude 1950 m), l'accès routier n'a été ouvert qu'à fin avril 2009. La fin du printemps et l'été 2009 ont été consacrés aux travaux d'installations:

- Elargissement de la chaussée sur le déversoir du barrage d'Emosson.
- Montage des bureaux.
- Création de la place de chantier.
- Montage de l'atelier et des installations d'approvisionnement du chantier et de traitement des eaux.
- Préparation du dépôt de matériaux.
- Excavation du portail.
- Construction de la partie supérieure de la route d'accès qui descend vers les prises d'eaux dans le lac d'Emosson.

Une opération spéciale a été réalisée de la mi-avril à la mi-mai 2009. Une pelle-araignée a été héliportée au fond du lac d'Emosson pour faire des sondages. Ainsi, la position définitive des prises d'eau a pu être déterminée. Pendant un mois, les ouvriers et les guides de montagne assurant la sécurité ont été véhiculés en hélicoptère pour accéder au chantier.

L'excavation des galeries à l'explosif a été entreprise dès la mi-août. La caverne de bifurcation excavée sous seulement 15 m de rocher n'a pas posé de difficultés importantes. Les galeries montante et descendante ont été encore excavées de quelques dizaines de mètres avant l'interruption du chantier à cause de l'arrivée de la neige à la fin novembre. Une première faille sensible du point de vue hydrologique pour le barrage d'Emosson a été investiguée par sondage.

The TBM started to be assembled at the beginning of August 2009 with the construction of the trailing sled structures on tracks laterally placed perpendicular to the tunnel axis. The actual TBM started to be assembled between mid-October and the end of November. Then the TBM was pulled into the tunnel and the trailing sleds were lifted, rotated 90° and inserted one after the other. Assembly continued in December 2009. The TBM started work in mid-January 2010. After a 3-week interruption for assembly of the conveyor belt area and various types of floor preparation work. 3-shift boring started at the beginning of March 2010.

The tunnel floor is made up of a backfill produced with compacted excavation material, and with cement if necessary. A 20 cm reinforced concrete slab is poured on top of it. 2 concrete benches, each containing three 380 kV single-phase cables should then be laid.

### 3.5.4 Access tunnel from Emosson

The road access in the Emosson area (alt. 1,950 m) was not opened until the end of April 2009. The end of Spring and Summer 2009 were dedicated to the installation work:

- Widening of the road on the Emosson dam weir.
- Construction of the offices.
- Creation of the construction site area.
- Construction of the workshop and the construction site supply and water treatment facilities.
- Preparation of the material depository.
- Excavation of the portal.
- Construction of the upper part of the access road leading down to the water intakes in Lake Emosson.

A special operation was performed from mid-April to mid-May 2009; it involved a walking excavator being heliported to the bottom of Lake Emosson for investigation work. This allowed us to determine the final position of the water intakes. For a month, workers and mountain guides responsible for assuring safety were transported to the construction site by helicopter.

The tunnels were excavated by drill and blast as early as mid-August. The two-way cavern excavated under only 15 m of rock did not pose any major problems. The upstream and downstream tunnels were further excavated by a few dozen metres before construction was interrupted by the arrival of snow at the end of November. A first hydrologically sensitive fault for the Emosson dam was investigated by boring.

### 3.5.5 Specific methods for certain structures to be constructed

Vertical shafts will be constructed in two stages:

- Pilot boring with a raise drill

### 3.5.5 Méthodes particulières pour certains ouvrages à réaliser

Les puits verticaux seront réalisés en deux étapes:

- forage pilote au Raise-drill
- Elargissement des puits à l'explosif (à la place du tunnelier vertical initialement prévu en soumission).

L'exécution des prises d'eau dans le lac d'Emosson devrait pouvoir se réaliser sans procéder à une grande vidange estivale du lac d'Emosson qui était initialement prévue dans l'appel d'offres (travail uniquement au printemps). Pour y parvenir, un déneigement anticipé des routes d'accès va être tenté dès la mi-février. Des solutions pour accélérer le bétonnage de ces ouvrages doivent encore être développées.

### 3.6 Programme des travaux

Septembre 2008	Début des travaux préliminaires
Décembre 2008	Début des excavations du tunnel d'accès Châtelard
Mars 2009	Début des excavations du portail de la galerie d'accès principale (Fig. 7)
Avril 2009	Début des travaux préliminaires à Emosson et sondages pour les prises d'eau au fond du lac
Mai 2009	Perçement du tunnel d'accès Châtelard
Août 2009	Début du montage du TBM Début des Minages à Emosson (Collecteur Ouest)
Janvier 2010	Début de l'excavation du tunnel principal au TBM
Été 2011	Fin des excavations des galeries d'accès, début de l'excavation de la caverne principale

- Widening of the shafts by drill and blast (instead of the vertical TBM initially planned in the submission).

It should be possible to create the water intakes in Lake Emosson without lowering the water level during Summer as initially planned in the call for tenders (work only conducted in Spring). In order to achieve this, it will be attempted to clear the snow from the access road early (in mid-February). We still have to develop solutions for accelerating concreting of these structures.

### 3.6 Construction work schedule

September 2008	Start of the preliminary work
December 2008	Start of excavation operations in the Châtelard access tunnel
March 2009	Start of excavation work for the main access tunnel portal (Fig. 7)
April 2009	Start of the preliminary work at Emosson and boring operations for the water intakes at the bottom of the lake
May 2009	Drilling of the Châtelard access tunnel
August 2009	Start of TBM assembly Start of Blasting Operations at Emosson (West Collector)
January 2010	Start of excavation of the main tunnel with the TBM
Summer 2011	End of excavation work for the access tunnels, start of excavation of the main cave
Spring 2012	Start of excavation of the underground tunnels
Summer 2012	First shielding work
Summer 2013	Start of concreting work in the main cave
Winter 2015	Start of assembly of the first turbine



7 Montage du tunnelier au portail de la galerie d'accès principale, novembre 2009

Assembly of the TBM at the main access tunnel portal, November 2009



8 Minage d'avalanches, avril 2009  
Avalanche blasting, April 2009



9 Premiers travaux pour les prises d'eaux dans le lac d'Emosson, avril 2009  
Initial construction work for the water intakes in Lake Emosson, April 2009

Printemps 2012	Début des excavations des galeries hydrauliques
Été 2012	Premiers travaux de blindage
Été 2013	Début des bétonnages de la caverne principale
Hiver 2015	Début du montage de la première turbine
Printemps 2016	Mise en service des machines 3 et 4
Printemps 2017	Mise en service des machines 1 et 2

Spring 2016	Commissioning of machines 3 and 4
Spring 2017	Commissioning of machines 1 and 2

#### 4 Les défis du projet Nant de Drance

Les défis d'un tel projet hydroélectrique en milieu alpin sont nombreux. Ils nécessitent un engagement important de l'équipe de projet et de l'entrepreneur ainsi qu'une gestion des risques adaptée.

##### 4.1 Les dangers naturels

En raison de la neige et du danger d'avalanches, le chantier d'Emosson est fermé de décembre à avril. Un suivi de la sécurité est assuré par des guides de montagne qui surveillent les accès et les chantiers jusqu'à la fonte des neiges. Les guides ont la compétence d'interrompre les travaux en cas de danger. Pour réduire les risques d'avalanches durant les travaux, le secteur d'Emosson est miné durant tout l'hiver (Fig. 8).

Les secteurs à risques de chutes de pierres font également l'objet d'un suivi et de purges saisonnières.

##### 4.2 La réalisation des prises d'eau dans le lac d'Emosson

Les travaux dans le lac d'Emosson sont possibles uniquement en avril et mai. L'objectif est d'éviter une grande vidange estivale du lac d'Emosson, ce qui constituerait une perte financière importante pour l'exploitant du barrage. Les routes d'accès doivent être déneigées 1,5 à 2 mois avant ce qui était réalisé précédemment par les services cantonaux.

#### 4 The challenges of the Nant de Drance project

Such an hydroelectric project in an Alpine environment presents a number of challenges. They require a strong commitment by the project team and the contractor as well as adapted risk management.

##### 4.1 Natural dangers

The Emosson construction site is closed from December to April because of snow and the risk of avalanches. Safety surveillance is performed by mountain guides who monitor the accesses and the construction sites until the thaw. The guides have the authority to interrupt the work in the event of danger. The Emosson area is blasted throughout the winter to reduce the risk of avalanches during the work (Fig. 8).

The area presenting a risk of rock falls are also the subject of monitoring and seasonal draining operations.

##### 4.2 Creation of water intakes in Lake Emosson

The work in Lake Emosson can only be conducted in April and May. The objective is to avoid a major summer draining operation in Lake Emosson, which would represent a major financial loss for the operator of the dam. The access roads must be cleared of snow 1.5 to 2 months before the date previously retained by the canton authorities.

The work is divided into annual 4 to 6 week stages. The working day must be adapted as the snow layer thaws, in accordance with instructions provided by the mountain guides (Fig. 9).

Les travaux sont fractionnés en étapes annuelles de 4 à 6 semaines. L'horaire de travail quotidien doit être adapté en fonction du réchauffement de la couche de neige, selon les consignes données par les guides de montagne (Fig. 9).

### 4.3 Le forage au tunnelier à proximité d'un grand barrage-voûte

Un concept de surveillance renforcée des deux barrages a été mis en place. Les zones potentiellement aquifères ont été définies par les géologues. Des forages de reconnaissance destructifs à l'avancement sont prévus dans ces secteurs. La gestion des venues d'eau pendant l'excavation sera primordiale. Des scénarios d'injections ont été développés pour pouvoir traverser en sécurité une éventuelle zone aquifère. Les sources feront l'objet d'une surveillance renforcée pendant les travaux. Les venues d'eau seront réduites par des injections, si nécessaire.

### 4.4 Les excavations

L'excavation d'une très grande caverne et de deux puits de grande hauteur (434 m) sont également des challenges pour l'entreprise et les planificateurs. La distance importante entre les portails et les grandes excavations nécessite une planification soignée de la logistique et de la sécurité.

L'inclinaison importante des galeries demandera un entretien renforcé du parc de véhicules pour réduire les risques d'accidents de circulation.

### 4.5 Les touristes

Le site d'Emosson attire plus de 200 000 personnes par été. Les chemins pédestres ont été déviés au début des travaux mais malgré cela, certains promeneurs utilisent toujours la route qui longe le lac d'Emosson malgré l'interdiction mise en place. Un service de bus navette a dû être mis en place pour tenter de les canaliser.

## 5 Conclusion

Le projet Nant de Drance marque le début d'une nouvelle ère dans la réalisation de grands projets hydro-électriques en Suisse, celle des pompes-turbinages, ces aménagements qui réutilisent les eaux des lacs d'accumulation existants permettant d'accroître sensiblement la sécurité d'approvisionnement en électricité sans créer d'impacts majeurs sur l'environnement. Ils sont l'avenir de la production énergétique de la Suisse et des autres pays alpins.

Pour les constructeurs d'ouvrages souterrains, ils ouvrent de nouvelles perspectives. Pour les réaliser, les projeteurs et les entrepreneurs devront affronter les mêmes défis qu'autrefois les constructeurs des grands barrages, certes avec des moyens modernes, mais dans un cadre environnemental, sécuritaire et légal beaucoup plus complexe et restrictif.

### 4.3 TBM boring near a large arch dam

A reinforced monitoring concept has been implemented for the two dams. The potentially water-bearing areas have been defined by geologists. Destructive investigation boring operations as the work progresses are planned in these areas. Management of water inflows during excavation will be essential. Injection scenarios have been developed for crossing any water-bearing areas in complete safety. The springs will be the subject of reinforced monitoring measures during the work. The water inflows will be reduced by injections, if necessary.

### 4.4 Excavations

The excavation of a very large cavern and two vertical shafts (434 m) also present challenges for the company and the planners. Careful logistics and safety planning is required due to the large distance between the portals and the major excavation work involved.

The sharp slope in the tunnels will require more frequent maintenance of the vehicle fleet in order to reduce the risk of traffic accidents.

### 4.5 Tourists

The Emosson site attracts over 200,000 visitors each summer. The footpaths were diverted at the start of the construction work but nonetheless, certain walkers still use the road that runs along Lake Emosson despite it being prohibited. A shuttle bus service has been set up to try to direct them.

## 5 Conclusion

The Nant de Drance project marks the start of a new area in the construction of major hydroelectric projects in Switzerland, that of pumped storage schemes, these facilities that reuse water from existing storage reservoirs to considerably increase the safety of electricity supply without having any major impacts on the environment. There are the future of energy production in Switzerland and the other Alpine countries.

They open up new perspectives for manufacturers of underground structures. In order to construct them, designers and contractors will have to face the same challenges as was previously the case for constructors of large dams, certainly with modern equipment but in a much more complex and restrictive environmental, safety and legal environment.

Werner Schmid, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA,  
Baustellenchef ATW/Implenia Bau AG, Zürich/CH

Stefan Moser, Dr. sc. techn., dipl. Bau-Ing. ETH,  
Chefbauleiter A3/Basler & Hofmann AG,  
Zürich/CH

Marco Ceriani, dipl. Bau-Ing. FH/NDS,  
Abschnittsleiter A3/SBB, AG Zürich/CH

## Durchmesserlinie Zürich

### Weinbergtunnel – Vortriebe im innerstädtischen Bereich

Die Arbeiten am 4,5 km langen Weinbergtunnel sind bereits weit fortgeschritten. Die Felsstrecke des Doppelspurtunnels wurde erfolgreich aufgeföhren. Die Vortriebsarbeiten mittels Hydroschild unter der Limmat bis zum Schacht Südtrakt stehen unmittelbar bevor. Die dazu notwendigen Bauhilfsmassnahmen sind weitgehend abgeschlossen. Der Flucht- und Rettungsstollen ist komplett ausgebrochen und der Innenausbau ist in Arbeit. Die Unterquerung des denkmalgeschützten Südtraktes des Hauptbahnhofs Zürich mittels unterirdischer Deckelbauweise erfolgt mit minimalsten Setzungen.

## Zurich Cross-City Rail Link

### Weinberg Tunnel – Driving in inner-urban Area

Work on the 4.5 km long Weinberg Tunnel is progressing extremely well. The rock section of the twin-track tunnel has been accomplished successfully. The driving operations beneath the Limmat using a hydro shield up to the South Tract shaft are about to be tackled. The necessary ancillary construction measures for this purpose have largely been completed. The evacuation and rescue tunnel has been completely excavated and the inner lining is being executed. The undertunnelling of the protected South Tract of Zurich Central Station by means of an underground top cover construction method is taking place with minimal settlement.

#### 1 Weinbergtunnel als Element der Durchmesserlinie

Der Weinbergtunnel stellt ein zentrales Element der in 4 Abschnitte unterteilten Durchmesserlinie dar. Er führt von Oerlikon in einer geschwungenen Linienführung, mit minimalem Radius von 635 m, zum Hauptbahnhof Zürich. Zum Abschnitt 3 – Weinbergtunnel – gehören der Doppelspurtunnel mit parallelem Flucht- und Rettungsstollen sowie die Unterquerung des Südtrakts (Bild 1).

#### 2 Stand der Arbeiten

Die folgende Aufzählung zeigt den Stand der Arbeiten im Abschnitt 3 mit den zugehörigen verschiedensten Objekten mit unterschiedlichsten Baumethoden:

- Felsstrecke Weinbergtunnel ausgebrochen (4170 m)
- Unterirdischer Umbau TBM Fels- zu Hydrobetrieb ist erfolgt
- Innenausbau konventioneller Gegenvortrieb in Arbeit
- Grossrohrschirm zu 95 % erstellt
- Flucht- und Rettungsstollen (Bereich TBM-Vortrieb) ausgebrochen (4450 m)

#### 1 Weinberg Tunnel as an Element of the Cross-City Link

The Weinberg Tunnel represents a key element of the cross-city link, which is split up into 4 sections. It runs from Oerlikon in a sweeping arc with a 635 m minimal radius to Zurich Central Station. The twin-track tunnel with parallel evacuation and rescue tunnel and undertunnelling the South Tract belong to section 3 – the Weinberg Tunnel (Fig. 1).



1 Gliederung Durchmesserlinie  
Division of Zurich cross-city rail link

## La ligne diamétrale de Zurich

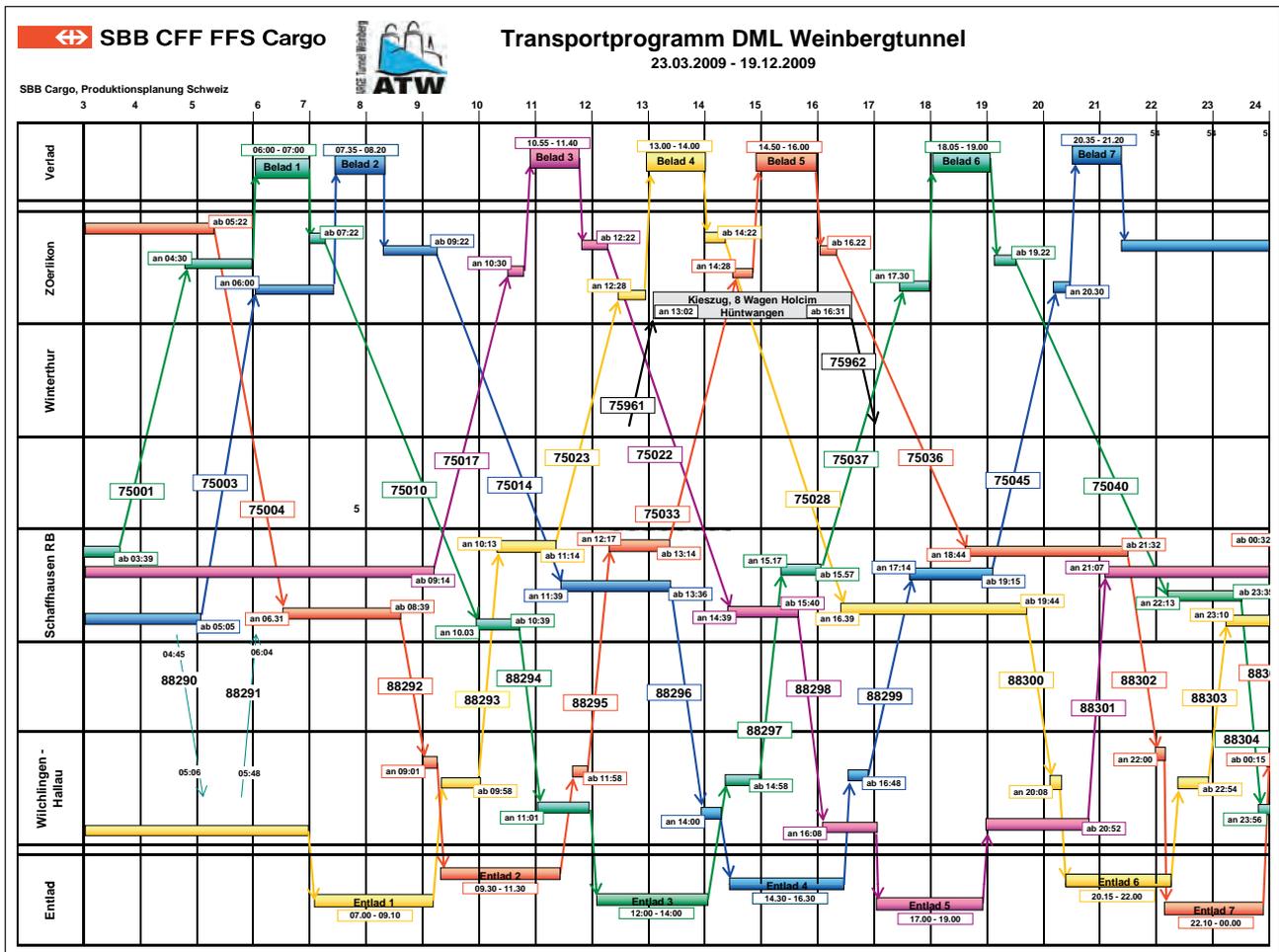
### Le Weinbergtunnel: travaux d'excavation en zone urbaine

Les travaux du «Weinbergtunnel», long de 4,5 km, sont déjà bien avancés. Le tronçon rocheux du tunnel à deux voies a été creusé avec succès. Les travaux d'excavation au bouclier à confinement hydraulique sous la Limmat jusqu'au puits Sud sont imminents. Les mesures de construction auxiliaires nécessaires sont pratiquement achevées. La galerie d'évacuation et la galerie de secours sont entièrement creusées et les travaux d'aménagement intérieur sont en cours. Le passage sous l'aile Sud de la gare principale de Zurich, classée monument historique, est réalisé avec une méthode souterraine d'excavation sous dalle générant un minimum de tassements.

## Il passante ferroviario di Zurigo

### Galleria del Weinberg: lavori discavo nella zona urbana

I lavori della galleria del Weinberg, di 4,5 km, sono a buon punto. Il tratto roccioso della galleria a doppio binario è stato scavato con successo. I lavori di avanzamento con lo scudo a contropressione con liquido sotto la Limmat fino al pozzo sud sono imminenti. I provvedimenti tecnici costruzione che si sono resi necessari sono ampiamente conclusi. Le vie di fuga e di soccorso sono state scavate ed è in atto l'ampliamento interno. Il passaggio sotterraneo del tratto sud della stazione centrale di Zurigo, posto sotto tutela come monumento storico, prevede operazioni di scavo con una copertura in calcestruzzo, con da ferrare assestamenti ridotti.



2 Fahrplan/Timetable

- Gripper-TBM für Flucht- und Rettungsstollen demontiert
- Innenausbau Flucht- und Rettungsstollen zu 30 % erstellt
- Längsstollen unter dem Südtrakt erstellt
- Schlitzwände unter den Längsstollen erstellt
- Querstollen mit Abfangdecke unter Südtrakt in Arbeit.

## 3 Weinbergtunnel

### 3.1 Felsstrecke – Materialumschlag

Für den Vortrieb der Felsstrecke wurde die Logistik der Ver- und Entsorgung zum entscheidenden Erfolgsfaktor. Die Tübbinge wurden in der Produktionsstätte in Wilchingen hergestellt und per Lkw zum Installationsplatz gefahren. Die notwendigen Fahrten konnten so gut disponiert werden. Der Ausbruchabtransport erfolgte per Bahn. Der Bahnhof Oerlikon ist äusserst stark frequentiert. Für die Ausbruchzüge, jeder mit 960 t Nutzlast, blieben lediglich 7 Zeitfenster im Fahrplan. Die Vortriebsleistung und die Vortriebszeiten, inkl. derjenigen des Flucht- und Rettungsstollens, mussten somit auf den Zugfahrplan und die Anzahl Züge abgestimmt werden (Bild 2).

Bei 18 m Vortrieb innerhalb 10 h galt es, rd. 5500 t Ausbruchmaterial umzuschlagen. Zu diesem Zweck wurde speziell für die Felsstrecke des Weinbergtunnels eine Verladeanlage gebaut und betrieben. Sie besteht aus einem Silogebäude mit 5000 t Nutzvolumen, diversen Förderbändern und einer Bahnverladehalle. Bei der Planung der Anlage am Bahnhof Oerlikon, direkt angrenzend an Wohngebiete, waren die zulässigen Emissionen ein wichtiger Faktor. Eine konsequente Einhausung, Schalldämmung und teilweise Entstaubung der Anlagenteile waren notwendig. Zudem musste die Bahnverladung so ausgelegt werden, dass ein Zug im zur



3 Verladeanlage Oerlikon  
Oerlikon loading facility

Verfügung stehenden Zeitfenster beladen und damit der Fahrplan eingehalten werden konnte. Mit der Erkenntnis früherer Baustellen konnte die Anlage so konzipiert werden, dass ein Zug in 30 Minuten beladen wurde (Bild 3).

## 2 Stage reached by Work

The following itemisation displays the stage reached by work in section 3 with the relevant objects involving highly different construction methods:

- Rock section Weinberg Tunnel excavated (4,170 m)
- Underground conversion of the TBM from rock to hydro mode taken place
- Inner lining of conventional counter-drive in progress
- 95 % of major pipe umbrella produced
- Evacuation and rescue tunnel (TBM drive area) excavated (4,450 m)
- Gripper TBM for evacuation and rescue tunnel dismantled
- 30 % of evacuation and rescue tunnel produced
- Longitudinal tunnels beneath the South Tract produced
- Diaphragm walls produced under the longitudinal tunnels
- Cross passages with supporting slab beneath the South Tract in progress.

## 3 Weinberg Tunnel

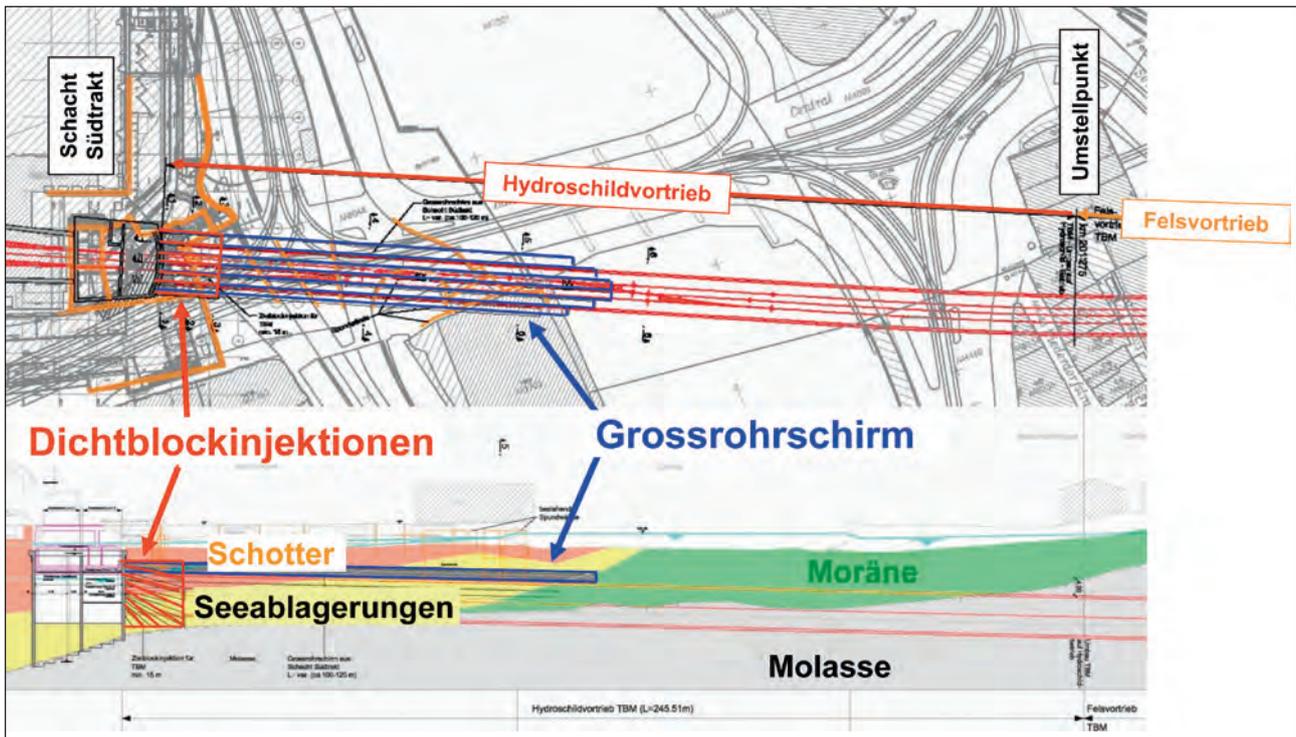
### 3.1 Rock Section – Material Handling

The logistics for supply and disposal became the decisive factor for success in driving the rock section. The segments were produced in the plant at Wilchingen and driven to the installation yard by truck. As a result the required number of journeys could be properly scheduled. The spoil was removed by train. The Oerlikon Station is an extremely busy one. There were only 7 time frames available for the spoil trains, each with 960 t capacity. As a consequence the driving rate and the driving times including those for the evacuation and rescue tunnel had to be coordinated with the number of trains (Fig. 2).

With 18 m driven within 10 h it was necessary to handle some 5,500 t of excavated material. Towards this end a loading facility was produced and operated especially for the rock section of the Weinberg Tunnel. It consists of a silo building with 5,000 t capacity, various belt conveyors and a train loading hall. The permissible emissions were a determining factor when the facility was planned at Oerlikon Station, with neighbouring residential areas nearby. It was essential to cater for a proper encasement, sound proofing and in some cases dedusting for parts of the facility. In addition loading the trains had to be arranged in such a manner that one train could be loaded during the time frame that was available in order to adhere to the timetable. Thanks to findings obtained on former construction sites the facility was devised in such a way that a train could be loaded in 30 min (Fig. 3).

### 3.2 Soft Ground Section

The soft ground section is on the point of being tackled. After completion of the large pipe umbrella as an ancillary construction measure (explained in detail at the 2009 STC) against blow-outs, cave-ins and to minimise settlement the



4 Lockermaterialstrecke mit Grossrohrschirm  
Soft ground section with large pipe umbrella

### 3.2 Lockermaterialstrecke

Das Auffahren der Lockermaterialstrecke steht unmittelbar bevor. Nach Vollendung des Grossrohrschirms als Bauhilfsmassnahme (detailliert am STC 2009 erläutert) gegen Ausbläser, Tagbrüche und zur Minimierung von Setzungen kann der Vortrieb gestartet werden. Die komplette Vortriebseinheit bis hin zur Separierung wird auf unterschiedlichste Geologie ausgelegt. In der 246 m kurzen Strecke stehen Molasse, Grundmoräne, Seebodenablagerungen und Sihlschotter an. Zudem ist im innerstädtischen Gebiet, zwischen Globus-Provisorium und Schacht Südtrakt, mit künstlichen Hindernissen wie Spundwänden, Rühlwandträgern, Schlitzwänden und Ankern zu rechnen. Die Umstellung der TBM auf Hydroschildbetrieb erfolgte unterirdisch beim Übergang von Molasse zur Moräne. Die Separationsanlage steht auf dem Installationsplatz Brunnenhof bereit. Der Ausbruch wird somit rd. 4200 m hydraulisch zur Separierung gefördert. Für den Vortrieb der 246 m langen Strecke sind 5,5 Monate im Durchlaufbetrieb (3-schichtig, 7 Tage/Woche) geplant (Bilder 4 und 5).

### 3.3 Einfahrt in den Zielschacht – Durchstich

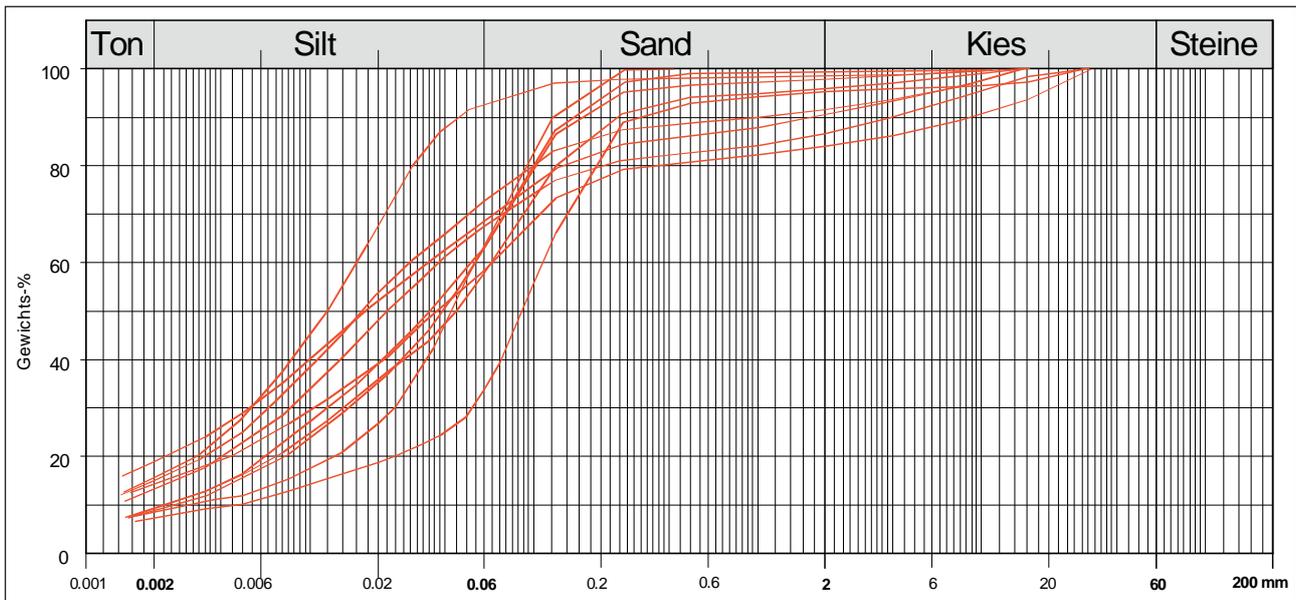
Der Durchstich in den Schacht Südtrakt war vom Projektverfasser folgendermassen vorgesehen. Erdseitig der unbewehrten Bogenschlitzwand des Zielschachtes wird ein Dichtblock mittels Injektionen in 3 Phasen erstellt,

drive can begin. The complete driving installation right up to separation is designed for all kinds of geology. In the 246 m short section molasse, ground moraine, lake-bed deposits and Sihl gravel are to be found. Furthermore in the downtown area between the Globus-Provisorium building and the South Tract shaft, artificial obstacles such as piling walls, retaining walls, diaphragm walls and anchors must be reckoned with. The TBM was converted to hydro shield mode underground in the transition from molasse to moraine. The separation plant is ready to operate on the Brunnenhof installation yard. The spoil will be carried hydraulically some 4,200 m for separation. Five and a half months involving continuous operation (3 shifts, 7 days per week) are planned for driving the 246 m long section (Figs. 4 and 5).

### 3.3 Entering the Target Shaft – Breakthrough

The project compiler planned the breakthrough into the South Tract shaft as follows. A sealing block is produced in 3 stages using grouting at the earth side of the unreinforced diaphragm wall for the target shaft. The shield skin including the tail skin is located completely in the sealing block. Following the breakthrough the shield is sealed against the diaphragm wall and remains in the soil. The TBM interior is removed and the remaining steel skin reinforced with shotcrete.

The drilling and grouting work on the sealing block with phases involving normal cement, ultra-fine cement and soft gel turned out to be extremely complex. In addition



5 Sieblinie Seebodenablagerungen  
Lake-bed deposit grading curve

wobei der Schildmantel inkl. Schildschwanz komplett im Dichtblock zu liegen kommt. Nach dem Durchstich wird der Schild gegenüber der Schlitzwand abgedichtet und verbleibt im Boden. Die TBM-Innereien werden ausgebaut und der verbleibende Stahlmantel wird mit Spritzbeton verstärkt.

Die Bohr- und Injektionsarbeiten am Dichtblock, mit den Phasen Normalzement, Feinstzement und Weichgel, erweisen sich als sehr aufwändig. Zusätzlich stehen sie in direkter Abhängigkeit zum Grossrohrschirm und können somit für den Hydroschildvortrieb und dessen Durchstich kritisch werden. Aus diesem Grunde wurde eine alternative Lösung erarbeitet. Das Einhalten des geforderten Sicherheitsniveaus gilt als oberstes Gebot. Kommunizierende Gefässe zwischen Limmat und Zielschacht sind zwingend auszuschliessen. Massnahmen von der Oberfläche aus sind infolge der Verkehrsverhältnisse am Bahnhofplatz undenkbar. Mit dem Einfahren in eine abgespriesste, betonierte Vorsatzwand, dem anschliessenden Abdichten des Schildmantels zur Bogenschlitzwand des Zielschachtes und dem darauf folgenden Durchstich, lediglich gefahren mit dem Bohrkopfhub,

the work is geared directly to the large pipe umbrella thus becoming potentially critical for the hydro shield drive and its breakthrough. As a result an alternative solution was worked out. Adherence to the demanded safety level is regarded as imperative. Communicating pipes between the Limmat and the target shaft must essentially be precluded. Measures from the surface are inconceivable on account of traffic conditions at the station. However, it can be achieved by entering a strutted, concreted curtain wall, then sealing the shield skin at the arched diaphragm wall of the target shaft and the subsequent breakthrough, only driven by the cutterhead stroke. The sealing block can thus be reduced in terms of tightness (Fig. 6).

#### 4 Evacuation and Rescue Tunnel

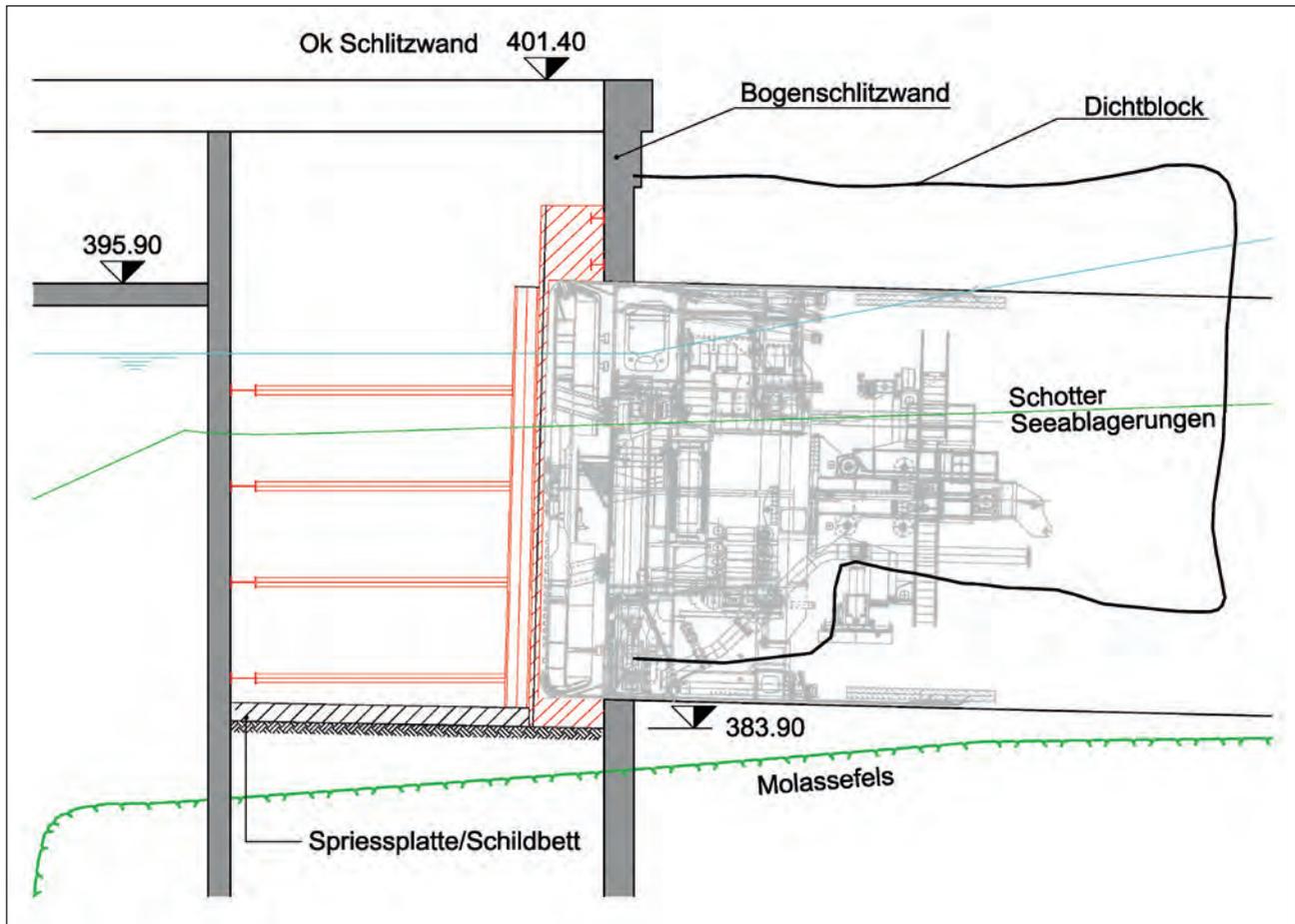
Excavation took place with a Robbins Gripper TBM. Over the first 400 m long zone in weathered and in part, glacial-induced molasse close to the surface the need for supporting was very high indeed calling in some cases for steel to be installed as well as lagging plates and the rates of

Tabelle 1: Verteilung der Sicherungsklassen

Sicherungsklasse	gebohrte Meter	in % (4378 m = 100 %)	Arbeitstage
1	0,00	0,0	55
2	1914,00	43,7	136
3	2168,00	49,5	39
4	296,00	6,8	7

Table 1: Distribution of the Support Classes

Safety class	Bored metres	in % (4378 m = 100 %)	Workung days
1	0.00	0.0	55
2	1,914.00	43.7	136
3	2,168.00	49.5	39
4	296.00	6.8	7



6 Einfahrt TBM in Schacht Südtrakt  
TBM entering the South Tract shaft

kann dies erreicht werden. Der Dichtblock kann somit aus Sicht der Dichtigkeit reduziert werden (Bild 6).

#### 4 Flucht- und Rettungsstollen

Der Ausbruch erfolgte mit einer Gripper-TBM von Robbins. Bei der ersten 400 m langen Zone in der oberflächennahen, verwitterten und zum Teil glazial verschleppten Molasse waren der Sicherungsaufwand mit teilweisem Stahleinbau und zusätzlichen Verzugblechen sehr gross und die Vortriebsleistungen entsprechend klein (Tabelle 1). Danach hat sich die Geologie relativ gutmütig dargestellt. Der Sicherungsaufwand reduzierte sich entscheidend, was sich auch in den Vortriebsleistungen von bis zu 38 m in 12 h widerspiegelte (Bilder 7 und 8).

Das Vortriebsende bei Tunnelmeter 4450 m wurde am 6. November 2009 erreicht. Die Gripper-TBM wurde anschliessend unter Tage rückgebaut und zum Portal am Bahnhof Oerlikon gefahren. Der Flucht- und Rettungsstollen wird einschalig ausgebildet. Der Innenausbau besteht somit aus einer zusätz-

advance correspondingly small (Table 1). After this the geology turned out to be relatively conducive. The need for supporting was reduced decisively, which was reflected in the rates of advance of up to 38 m in 12 h (Figs. 7 and 8).

The end of the excavation at tunnel metre 4,450 was arrived at on November 6, 2009. The Gripper TBM was then retrieved underground and driven back to the portal at Oerlikon Station. The evacuation and rescue tunnel is to be lined with a single shell. The internal lining thus consists of an additional shotcrete layer with net reinforcement placed on the excavated support. The floor concrete for the track is to be installed at the end.

The connections for the evacuation and rescue tunnel at the Weinberg Tunnel are to be excavated from the twin-track tunnel. They are set up at gaps of 470 m and apart from escapeways and accesses for the emergency services they also house technical rooms. Excavation is carried out with a roadheader so that as little bother as possible is caused to local residents (Fig. 9).



7 Sicherung mit Stahleinbau  
Supporting with steel arches



8 Sicherung mit Anker und Netzen  
Supporting with anchors and netting

lichen, auf die Ausbruchsicherung aufgebracht Spritzbetonlage mit Netzbewehrung. Der Sohlbeton für die Fahrbahn wird zum Schluss eingebracht.

Die Anschlüsse des Flucht- und Rettungsstollens an den Weinbergtunnel werden vom Doppelspurtunnel her ausgebrochen. Sie sind alle 470 m angeordnet und beinhalten nebst Fluchtwegen und Zugängen für die Rettungsdienste auch technische Räume. Der Ausbruch erfolgt mit einer TSM, um die Beeinträchtigung der Anwohner zu minimieren (Bild 9).

## 5 Unterfahrung Südtrakt – bergmännische Deckelbauweise

Die Aufweitung des Doppelspurtunnels zum 4-gleisigen Bahnhof erfolgt direkt unter dem denkmalgeschützten Südtrakt des Hauptbahnhofs Zürich mit einer bergmännischen Deckelbauweise. Die Unterfahrung bildet als Vortrieb im innerstädtischen Bereich, direkt unter der Bebauung mit minimalster Überdeckung, eine weitere Herausforderung des Abschnitts 3 (Bild 10).



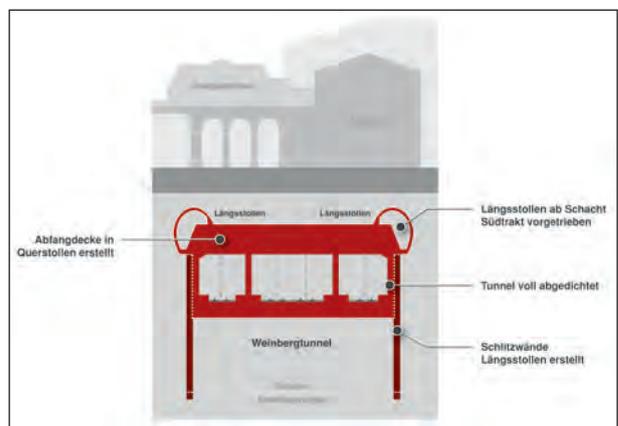
9 Ausbruch Querschlag mit TSM  
Excavating cross-passage with roadheader

## 5 Undertunnelling the South Tract – trenchless Top Cover Method

The enlarging of the twin-track tunnel into the 4-track station takes place directly underneath the protected South Tract of Zurich Central Station using a trenchless top cover construction process. Undertunnelling as it involves excavating in a downtown area directly below buildings with absolutely minimum overburden represents a further challenge for section 3 (Fig. 10).

### 5.1 Installations and Advance Operations

The space conditions at Zurich Central Station are extremely constricted. As a result a bicycle platform had to be set up above the Limmat as well as extensive installation platforms some 11 m above ground to serve as storage and handling areas. Setting up the platforms was very difficult as the entire subsurface in front of the Central Station had previously been excavated to house the ShopVille shopping centre and the central delivery facility. Given these circumstances it was



10 Darstellung der Deckelbauweise zur Unterfahrung des Südtrakts  
Top cover method for undertunnelling the South Tract

## 5.1 Installationen und Vorarbeiten

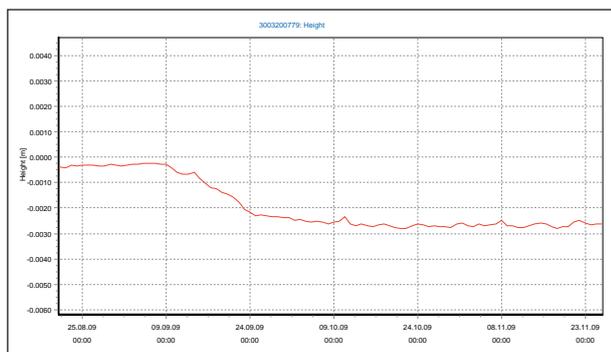
Die Platzverhältnisse am Hauptbahnhof Zürich sind sehr beschränkt. Aus diesem Grunde mussten eine Veloplattform auf der Limmat und umfangreiche Installationsplattformen, ca. 11 m über Terrain, als Lager- und Umschlagflächen über dem öffentlichen Raum erstellt werden. Die Gründung der Plattformen war äusserst schwierig, da der gesamte Untergrund vor dem Hauptbahnhof infolge des Einkaufszentrums ShopVille und der Zentralen Anlieferung unterhöhlt ist. In diesem Umfeld war der Kranstandort, der Turmdrehkran mit einer Traglast von 40 t ist das eigentliche Schlüsselgerät für die Baustelle, äusserst schwierig festzulegen (Bild 11).

Der Bereich der Unterfahrung Südtrakt liegt im Grundwasser. Eine umfangreiche Grundwasserabsenkung mittels Kleinfilterbrunnen beidseits längs des Südtraktes wurde erstellt, damit der Grundwasserspiegel um ca. 10 bis 12 m abgesenkt werden konnte. Zurzeit werden 5000 l Grundwasser pro Minute gepumpt.

Damit der Schacht Südtrakt erstellt werden konnte, mussten vorgängig die öffentliche Strasse auf Hilfsbrücken verlegt und Teile des ShopVilles und der Zentralen Anlieferung abgebrochen werden. Erst danach konnten die Schlitzwände unterhalb der Hilfsbrücken bei beschränkten Arbeitshöhen erstellt werden.

## 5.2 Längsstollen

Die Längsstollen sind eigentliche Hilfsstollen, damit der bergmännische Deckel sowie die Spundwände unter dem Bahnhof erstellt werden können. Sie wurden vom Schacht Südtrakt aus vorgetrieben. Die Überdeckung beträgt in der Regel 2 bis 3 m, teilweise werden die Fundamente des Südtraktes tangiert und die Fussgängerpassage zum ShopVille durchfahren. Die Längsstollen wurden mit einem doppelten Rohrschirm und Brustankern vorausseilend gesichert. Der Vortrieb in Etappen in der Kalotte, der Strosse sowie die vorgegebene Ringschlusszeit wurden sehr detailliert definiert. Durch konsequentes Einhalten der Vorgaben traten lediglich



12 Überwachung Verformungen  
Monitoring deformations

extremely tricky to establish a location for the crane, the 40 t capacity rotary crane, which represents the key piece of equipment for the construction site (Fig. 11).

The South Tract undertunnelling area is located in groundwater. An extensive groundwater drainage system by means of small filter wells was produced at both sides of the South Tract so that the groundwater level could be lowered by some 10 to 12 m. At present 5,000 l of groundwater per min is being pumped.

In order to produce the South Tract shaft first of all the public road had to be set on ancillary bridges and parts of the ShopVille and the central delivery facility dismantled. Only then was it possible to produce the diaphragm walls beneath the ancillary bridges given restricted working heights.

## 5.2 Longitudinal Tunnels

The longitudinal tunnels are actually used to create the top cover as well as the piling walls below the station by mining means. They were driven from the South Tract shaft. Generally



11 Installationen vor dem Hauptbahnhof Zürich  
Installations in front of Zurich Central Station

speaking the overburden amounted to 2 to 3 m, in part the foundations of the South Tract were affected and the pedestrian passage to the ShopVille had to be passed through. The longitudinal tunnels were secured in advance by a double umbrella shield and face anchors. The drive in stages for the crown, the bench as well as the intended ring closure time was defined with great precision. As a result of adhering strictly to the parameters, settlement of only a few mm occurred. A 10 m long stage incl. drilling the pipe umbrella was produced in 10 working days (Fig. 12).

23 m deep diaphragm walls were created from the longitudinal tunnels. The supporting girders – the actual tunnel slab – are later set on these diaphragm walls from the cross-passages. The size of the excavators for the diaphragm wall

Setzungen von wenigen Millimetern auf. Eine 10 m lange Etappe wurde inkl. Rohrschirmbohren in 10 AT erstellt (Bild 12).

Aus den Längsstollen wurden 23 m tiefe Schlitzwände erstellt. Auf diese Schlitzwände werden später die Abfangträger – die eigentliche Tunneldecke – aus den Querstollen abgestellt. Die Grösse der Schlitzwandbagger hat das Normalprofil der Längsstollen vorgegeben (Bild 13).

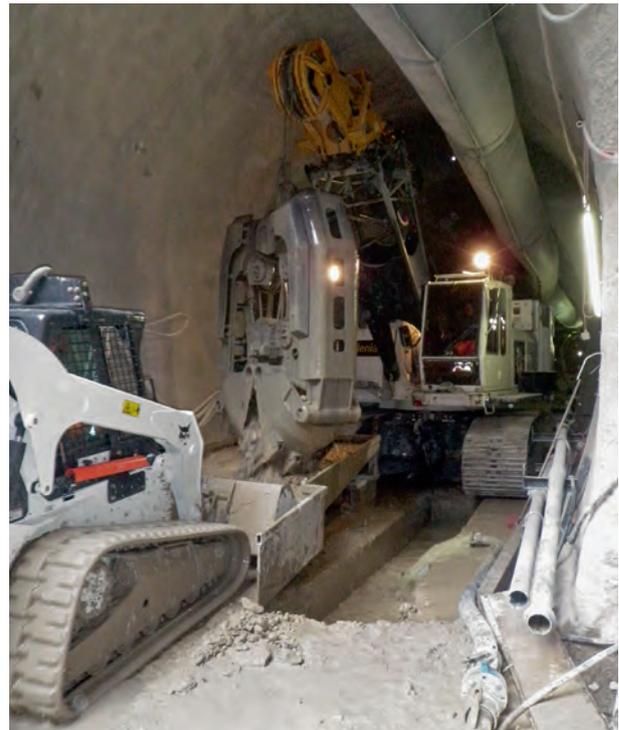
### 5.3 Querstollen

Der Vortrieb der Querstollen und das Betonieren der vorgespannten Abfangträger erfolgt im Pilgerschrittverfahren aus den Längsstollen heraus. Die Ausbruchsicherung der Sekundärstollen stützt sich auf die vorlaufend ausbetonierten Primärstollen. Die vorausseilende Sicherung wird mit Spiessen und Brustankern erstellt. Die Ausbruchsicherung erfolgt wie bei den Längsstollen mit Netzen, Gitterbögen und Spritzbeton. Die ausbetonierten und vorgespannten Querstollen bilden die Abfangdecke der bergmännischen Deckelbauweise. Der Aushub der eigentlichen Tunnelaufweitung wird später unter der Abfangdecke in 2 Etappen erfolgen (Bild 14).

## 6 Ausblick

Mit dem Auffahren der Lockermaterialstrecke des Doppelspurtunnels vom Limmatquai bis zum Schacht Südtrakt und dem geplanten Durchstich im 4. Quartal 2010 steht ein wichtiger Teilabschnitt kurz vor der Ausführung. Der Innenausbau folgt anschliessend an die Demontage und den Rückzug der TBM zum Schacht Brunnenhof.

Mit dem Auffahren der Querstollen und dem Erstellen des eigentlichen Deckels unter dem Südtrakt sind entscheidende Arbeiten in Ausführung.

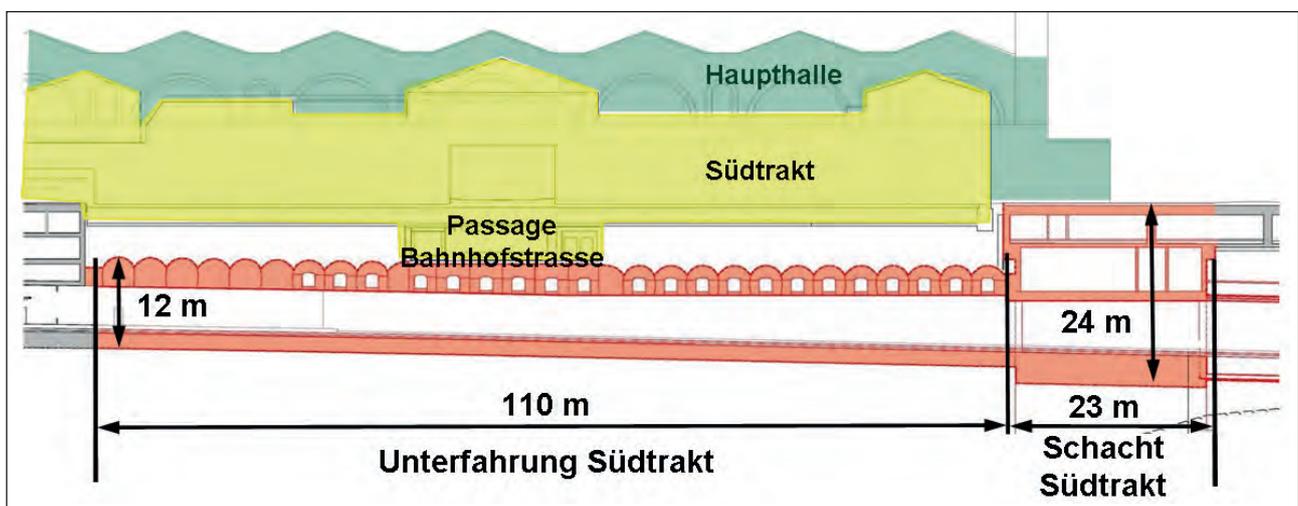


13 Schlitzwandherstellung in den Längsstollen  
Producing diaphragm walls in the longitudinal tunnels

governed the standard profile of the longitudinal tunnels (Fig. 13).

### 5.3 Cross-Passages

The driving of the cross-passages as well as concreting the pretensioned supporting girders is undertaken by the pilgrim step method from the longitudinal tunnels. The excava-



14 Längsschnitt Unterfahrung Südtrakt  
Longitudinal section for undertunnelling the South Tract

### Projektbeteiligte

#### Bauherr:

SBB AG und Kanton Zürich, vertreten durch SBB I-PJ-DML

#### Projekt und Bauleitung A3:

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG

Pöyry Infra AG

SNZ Ingenieure und Planer AG

#### ARGE Tunnel Weinberg:

Implenia Bau AG (FF, TL)

Wayss & Freytag Ingenieurbau AG (TL)

Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH (TL)

PraderLosinger SA (KL)

### Involved in Project

#### Client:

SBB AG and Canton of Zurich,  
represented by SBB I-PJ-DML

#### Project and construction management A3:

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG

Pöyry Infra AG

SNZ Ingenieure und Planer AG

#### Weinberg Tunnel JV:

Implenia Bau AG

(overall responsibility, technical management)

Wayss & Freytag Ingenieurbau AG

(technical management)

Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH

(technical management)

PraderLosinger SA (commercial management)

tion support for the secondary tunnels is based on the primary tunnels that are continuously concreted. Advance supporting is accomplished with spiles and face anchors. Netting, lattice girders and shotcrete are used for supporting the excavation just as in the case of the longitudinal tunnels. The concreted and pretensioned cross-passages form the supporting slab for the trenchless top cover method. Excavation of the actual tunnel enlargement is to take place later in 2 stages below the supporting slab (Fig. 14).

### 6 Outlook

With the excavation of the soft ground section of the twin-track tunnel from the Limmatquai to the South Tract shaft and the planned breakthrough in the 4th quarter of 2010, an important part-section is nearing completion. Lining the interior will take place once the TBM has been dismantled and returned to the Brunnenhof shaft.

Decisive operations are in progress with the excavation of the cross-passages and the creation of the actual top cover beneath the South Tract.

Rolf Pabst, Dipl.-Ing., Projektleiter Nord-Süd Stadtbahn Köln/D

# Nord-Süd Stadtbahn Köln

## Der Unfall am Waidmarkt – Erfahrungen und Folgen

Am 3. März 2009 sind in Köln während der Bauarbeiten für die Nord-Süd Stadtbahn das Historische Archiv der Stadt Köln und zwei benachbarte Gebäude eingestürzt (Bild 1). Die Klärung der Schadensursache wird derzeit von der Staatsanwaltschaft und über ein selbstständiges Beweisverfahren verfolgt. Bisher war für die Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) als Bauherrin ein erheblicher personeller und finanzieller Aufwand für Sicherungs- und Bergungsmaßnahmen, Betreuung und Entschädigung betroffener Menschen, Öffentlichkeitsarbeit sowie juristische Fragestellungen erforderlich. Bereits jetzt zeichnet sich ab, dass die Nord-Süd Stadtbahn nicht zum vereinbarten Zeitpunkt in Betrieb gehen kann und sich aufgrund des Unglücks am Waidmarkt die gesamten Projektkosten erhöhen werden. Der Umfang – und inwieweit die gestiegenen Projektkosten regressiert werden können – hängt dabei in starkem Maße von der Klärung der Schadensursache und damit der Schuldfrage ab.

# Cologne North-South Urban Light Railway

## The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences

On March 3, 2009 during the construction of the North-South Urban Light Railway in Cologne, the Historic Archive and two neighbouring buildings collapsed (Fig. 1). The public prosecutor's office quite apart from independent legal proceedings to gather evidence is engaged in attempting to clarify the cause of the damage. Up till now the Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) as client has been obliged to provide both additional personnel as well as funds for supporting and salvaging measures, taking care of and compensating affected persons, PR work as well as legal issues. It is already evident that the North-South Urban Light Railway will not become operational as scheduled and that the total costs for the project will increase on account of the incident at the Waidmarkt. The extent and just to what degree the increased project costs can be retrieved largely depend on clarifying the cause of damage and thus the question of who is to blame.

### 1 Einführung

Im Zuge des Baus der unterirdischen Strecke der Nord-Süd Stadtbahn in Köln wird zwischen den Haltestellen Heumarkt und Severinstraße das Gleiswechselbauwerk Waidmarkt (Bilder 2 und 3) erstellt, um in betriebsarmen Zeiten eine Tunnelröhre für Instandhaltungszwecke nutzen zu können. Darüber hinaus soll dieses Bauwerk als Notausstieg und in der Zwischenebene für Betriebstechnik genutzt werden. Nach Erstellung eines bis zu 1,5 m dicken und bis zu 45 m tiefen Schlitzwandkastens erfolgte bis März 2009 der Aushub für das 55 m lange und 30 m breite Bauwerk bis zur Sohle in 26 m Tiefe. Bauwerks- und Zwischendecke waren bereits betoniert worden, die Betonage der Sohle war in drei Abschnitten geplant und für März 2009 terminiert.

### 2 Hergang des Einsturzes

Am 3. März 2009 wurden in die Baugrube des Gleiswechselbauwerks Waidmarkt während der Erstellung des Planums für

### 1 Introduction

In the course of building the underline line for the North-South Urban Light Railway in Cologne, the Waidmarkt cross-over structure is being produced between the Heumarkt and Severinstraße stops (Figs. 2 and 3) so that one tunnel tube can be used for maintenance operations during off-peak periods. In addition this structure is to serve as an emergency exit with an intermediate level for housing operating technology. After producing an up to 1.5 m thick and up to 45 m deep diaphragm wall caisson the 55 m long and 30 m wide structure was excavated down to a depth of 26 m up until March 2009. The slabs for the structure and the intermediate level were already concreted, the concreting of the floor was planned in 3 sections and scheduled for March 2009.

### 2 How the Collapse occurred

On March 3, 2009 roughly 2,500 m<sup>3</sup> of soil material with water was washed into the construction pit for producing the

## La ligne nord-sud du métro de Cologne

### L'accident du Waidmarkt – Expériences et conséquences

Le 3 mars 2009, les archives historiques de la ville de Cologne ainsi que deux bâtiments voisins s'effondraient pendant les travaux de construction de la ligne Nord-Sud du métro urbain. Actuellement, la détermination des causes de l'accident a été prise en charge par le parquet ainsi que par une procédure d'enquête indépendante. Jusqu'à maintenant, la Société des transports urbains de Cologne (KVB), qui est le maître d'ouvrage, a dû mettre en œuvre un grand déploiement de personnel et de moyens financiers pour assurer les mesures de sécurisation et de dégagement, pour l'encadrement et le dédommagement des personnes touchées, pour les relations publiques et les questions juridiques. On peut d'ores et déjà dire que la ligne de métro Nord-Sud ne pourra pas être mise en exploitation à la date prévue et que le coût total du projet devra être revu à la hausse en raison de l'accident survenu sur le Waidmarkt. On ne connaît ni le volume de cette hausse et on ne sait pas non plus dans quelle mesure un recours pourra être exercé à ce sujet: ceci dépendra pour une grande part de la détermination des causes de l'accident et donc de la question de la responsabilité.

## Linea nord-sud della metropolitana di Colonia

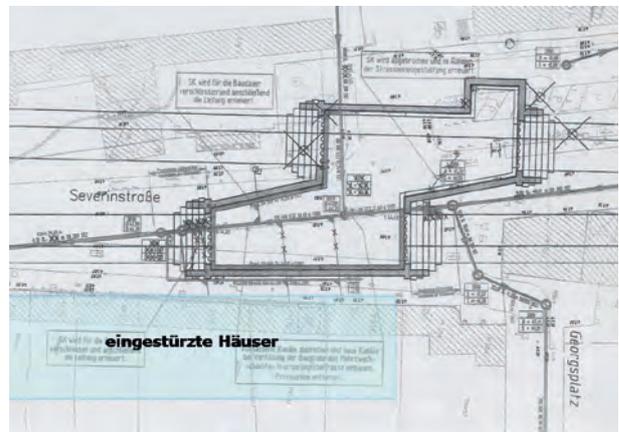
### L'incidente di Waidmarkt – esperienze e conseguenze

A Colonia, il 3 marzo 2009, durante i lavori alla metropolitana nord-sud, sono crollati l'archivio storico della città e due edifici adiacenti. La procura si sta occupando della questione, gestita anche da un'inchiesta indipendente. Per la società committente, la società dei trasporti urbani di Colonia (KVB), l'incidente ha implicato un notevole impegno di personale e finanziario, lió in selazione alle misure di sicurezza e di recupero, all'assistenza e al risarcimento delle persone coinvolte, alle pubbliche relazioni e le questioni giuridiche. Ad oggi si sa che la metropolitana non sarà in funzione per il termine stabilito e a causa dell'incidente di Waidmarkt costo complessivo del progetto dovez essere sinisto al sialso. L'entità dell'aumento non è conosciuta e la possibilità di sifarsi dell'aumento dei costi in via di regresso dipende principalmente dalla determinazione delle cause e dalle relative questioni di responsabilità.



1 Einsturz des Historischen Archivs der Stadt Köln und zweier benachbarter Gebäude

*Cave-in of the City of Cologne's Historic Archive and two neighbouring buildings*

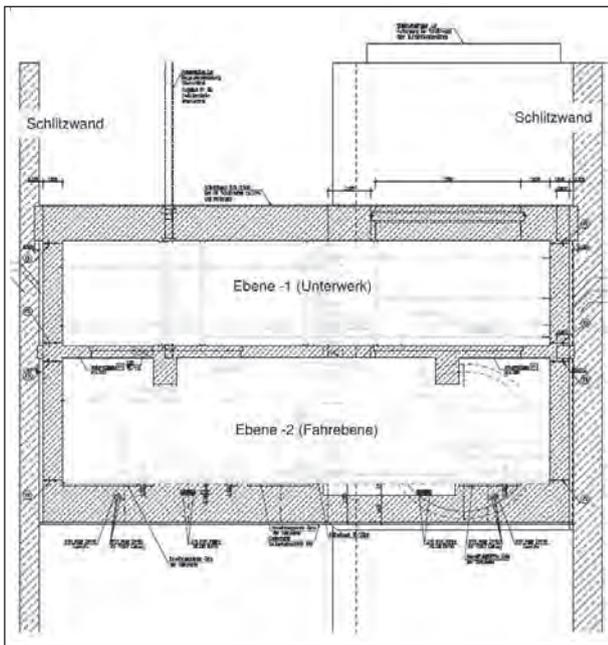


2 Grundriss des Gleiswechselbauwerks und Lage der eingestürzten Häuser

*Layout of the crossover structure and position of the houses that collapsed*

die Sauberkeitsschicht rd. 2500 m<sup>3</sup> Bodenmaterial mit Wasser eingespült (Bild 4). Hierbei wurde den angrenzenden Gebäuden der Baugrund entzogen. Das Historische Archiv der Stadt Köln und zwei benachbarte Gebäude stürzten ein. Zwei Menschen kamen ums Leben. Die Bauarbeiter konnten sich aus der Baugrube retten und eine Vielzahl von Passanten und Menschen in Gebäuden zur Flucht auffordern. Nach dem Einsturz lag ein

sub-grade for the bedding layer (Fig. 4). This resulted in the subsurface beneath the adjacent buildings being swept away. Cologne's Historic Archive and two neighbouring buildings collapsed. Two people lost their lives. The construction workers were able to get out of the excavation pit and alerted a large number of passers-by and persons in buildings so they could flee. After the collapse a large pile of



3 Querschnitt des Gleiswechselbauwerks  
Cross-section of the crossover structure

großer Trümmerberg auf und zum Teil im stark beschädigten Bauwerk. In die Baugrube drang verstärkt Grundwasser ein.

### 3 Ursache des Unfalls

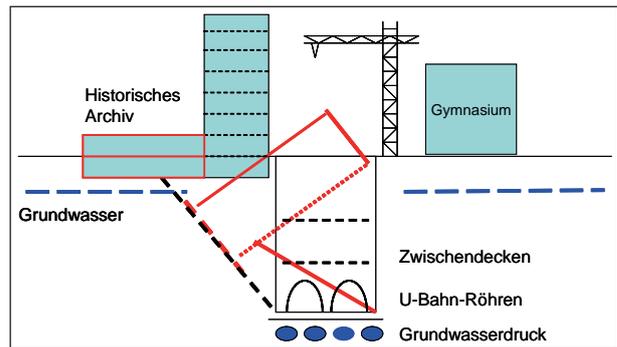
Neben den staatsanwaltschaftlichen Ermittlungen wurde von der Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) ein gerichtliches Beweissicherungsverfahren zur Ermittlung der Schadensursache beantragt. Außer Baugrunderkundungen sind derzeit vertikale Kernbohrungen in den Schlitzwänden in Verbindung mit thermografischen und geophysikalischen Untersuchungen vorgesehen. Weitere Boden- und Bauwerks-erkundungen zur Ermittlung der Schadensursache und des Schadensumfangs werden mindestens bis Frühjahr 2010 durchgeführt. Darüber hinaus erstellt die Stadt Köln für die Bergung weiterer Archivalien unter Wasser eine Bergebaugrube. Diese Bergebaugrube wird durch ein sogenanntes „Besichtigungsbauwerk“ ergänzt, in dessen Schutz eine mögliche Fehlstelle in Augenschein genommen werden soll, die bis zu 36 m unter dem Straßenniveau liegen könnte.

### 4 Folgen des Unfalls für die KVB

Zum aktuellen Zeitpunkt lassen sich noch nicht sämtliche Folgen des Unfalls am Waidmarkt für die KVB absehen. Nachgehend werden daher die bisher eingetretenen und wahrscheinlichen Folgen beschrieben.

#### 4.1 Sicherung des Bauwerks Waidmarkt

Aufgrund des Ausfalls der gesamten Wasserhaltung wurden zur Stabilisierung des Bauwerks unmittelbar nach



4 Hergang des Einsturzes  
Course of events concerning the collapse

rubble lay above and partially in the seriously damaged building. Groundwater increasingly forced its way into the construction pit.

### 3 Cause of the Accident

Apart from the investigations carried out by the public prosecutor's office, the Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) applied for legal proceedings to be opened in order to determine the cause of damage. In addition to subsurface explorations at present vertical core drilling is foreseen in the diaphragm walls in conjunction with thermographical and geophysical investigations. Further investigations of the soil and buildings to determine the cause and extent of damage were scheduled to last until spring 2010 at least. Furthermore the City of Cologne is producing a salvage pit to save further archived material still under water. This salvage pit is to be complemented by a so-called "inspection structure", protected by which it will be possible to examine possible defects, which may be located at down to 36 m below street level.

### 4 Consequences of the Accident for the KVB

At the current moment it is impossible to predict what the implications of the accident at the Waidmarkt for the KVB might be. As a result the following report will concentrate on the consequences that have unfolded so far and those that are probable in future.

#### 4.1 Securing the Waidmarkt Structure

On account of the failure of the entire drainage system some 2,900 m<sup>3</sup> of concrete was installed in the tertiary construction pit to counter uplift in order to stabilise the structure immediately after the accident occurred. Concrete bulkheads were installed to protect the neighbouring Heumarkt and Severinstraße structures against the groundwater encroaching through the tunnel tubes. Apart from soil-mechanical tests an automatic measurement technical system was set up in order to record any possible movements and deformations resulting from the structure. The stability of the tunnel tubes

## Cologne North-South Urban Light Railway • The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences

Schadenseintritt rd. 2900 m<sup>3</sup> Beton gegen den Auftrieb in die Tertiärbaugrube eingebracht. Im Bereich der angrenzenden Bauwerke Heumarkt und Severinstraße wurden Beton-Schotts zum Schutz gegen das sich durch die Tunnelröhren nähernde Grundwasser eingebaut. Neben bodenmechanischen Überprüfungen wurde ein automatisches messtechnisches System aufgebaut, um etwaige Bewegungen und Verformungen des Bauwerks zu erfassen. Neben einer kontinuierlichen, konsensualen statischen Bewertung des Bauwerkszustandes durch Gutachter, Statiker und Prüfengeure erfolgte auch eine Prüfung der Standsicherheit der Tunnelröhren im Bereich Waidmarkt.

Weiterhin wurden umfangreiche Bodenerkundungen (Rammsondierungen, Bohrungen) durchgeführt, um eventuelle Störungen im Baugrund und Gefährdungen der angrenzenden Bereiche ausschließen zu können.

### 4.2 Bergungsarbeiten

Durch einen Großeinsatz von Feuerwehr und Technischem Hilfswerk wurden bestehende Gebäude gesichert und die einsturzgefährdeten Gebäudeteile der zwei Wohnhäuser sowie ein weiteres, angrenzendes Wohnhaus zurückgebaut (Bild 5). Bei der Räumung der Trümmer aus

in the Waidmarkt area was also tested in addition to continuous, consensual static evaluation of the state of the structure by structural and test engineers as well as other experts.

Furthermore extensive soil explorations (dynamic probes, drilling) were undertaken in order to be able to preclude faults in the subsoil and danger to the surrounding areas.

### 4.2 Salvage Work

Through major efforts on the part of the fire brigade and the Agency for technical Relief existing buildings were secured and the parts of the 2 buildings threatened by collapse as well as a further neighbouring house were demolished (Fig. 5). When clearing away the rubble from the structure and the cave-in funnel apart from searching for the 2 victims, which was accorded priority, archive material from the Historic Archive of the City of Cologne was salvaged. The fire service constructed a roof (Fig. 6) for the archive material to protect it against the elements, which was removed after the salvage work was concluded above the water level at the beginning of June. Salvage operations were continued up to 2 m beneath water level (Fig. 7). The scene of the accident will remain the responsibility of the fire service until the salvaging of the archive material and the securing of evidence are completed.



5 Bergungsarbeiten durch die Feuerwehr  
Salvage operations by the fire brigade

dem Bauwerk und dem Einbruchtrichter erfolgte neben der primären Suche nach den beiden Opfern auch die Bergung des Archivmaterials des Historischen Archivs der Stadt Köln. Als Wetterschutz für die Archivalien wurde von der Feuerwehr ein Dach gebaut (Bild 6), das Anfang Juni nach Abschluss der Bergungsarbeiten oberhalb des Wasserspiegels rückgebaut wurde. Die Bergung wurde bis zu 2 m unterhalb des Wasserspiegels fortgesetzt (Bild 7). Bis zum Abschluss der Archivalien-Bergung und der Beendigung der Beweissicherungen wird die Unglücksstelle eine Einsatzstelle der Feuerwehr bleiben.

### 4.3 Betreuung und Entschädigung der vom Einsturz direkt Betroffenen

Durch den Einsturz bzw. den erforderlichen Abriss ihrer Wohnhäuser sind 35 Bewohner obdachlos geworden und 3 Gewerbebetriebe zerstört worden. Zudem wurden direkt nach dem Unfall die umliegenden Häuser weitläufig evakuiert. Durch die Sperrung des Bereichs um die Unfallstelle entstanden vielen Gewerbetreibenden Umsatzverluste und durch die Bergungsmaßnahmen teilweise auch Sachschäden. Neben den Bewohnern der eingestürzten Häuser haben auch Besucher und Mitarbeiter des Historischen Archivs und der umliegenden Häuser Verluste oder Sachschäden erlitten. Außer bei der Stadt Köln als Eigentümerin des Historischen

### 4.3 Caring for and Compensating those directly affected by the Cave-in

As a result of the cave-in and the need to demolish their houses, 35 local residents became homeless and 3 commercial businesses had to close down. Furthermore immediately after the accident the surrounding houses were evacuated on a large scale. Through the closure of the area around the scene of the disaster many businesses sustained losses in turnover as well as in some cases damage to property through the salvaging measures. Apart from people living in the collapsed houses, visitors and staff members of the Historic Archive and the surrounding houses suffered losses or damage to property. In addition to the City of Cologne as owner of the Historic Archive and neighbouring schools, the owners of the 3 houses that collapsed as well as various other buildings in the immediate vicinity sustained major damage. Construction companies as well as the donors of archive material were also affected.

To cater for the needs of the affected persons the KVD in conjunction with the City of Cologne set up a central coordinating point in a hotel close to the scene of the accident on the very next day. Affected persons received help for all their transactions with the authorities and in finding places to live in addition to psychosocial care. Each directly affected resident was provided with a personal counsellor; people run-



6 Schutzdach und Trümmerberg inner- und außerhalb des Gleiswechselbauwerks  
Protective roof and pile of rubble inside and outside the crossover structure

## Cologne North-South Urban Light Railway • The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences



7 Unglücksstelle Ende Juli 2009  
Scene of accident at the end of July 2009

Archiv und angrenzender Schulen sind auch bei den Besitzern der 3 eingestürzten Wohnhäuser sowie einiger weiterer Gebäude in unmittelbarer Nähe größere Schäden entstanden. Weitere Geschädigte sind Baufirmen sowie Leihgeber von Archivalien.

Zur Betreuung der betroffenen Personen ist von der KVB gemeinsam mit der Stadt Köln direkt am Folgetag eine zentrale Anlaufstelle in einem Hotel in unmittelbarer Nähe der Unglücksstelle eingerichtet worden. Geschädigte erhielten dort neben einer psychosozialen Betreuung Hilfe bei allen Behördenangelegenheiten und bei der Wohnungsbeschaffung. Jeder direkt betroffene Bewohner bekam einen persönlichen Betreuer; für Gewerbetreibende war ein Ansprechpartner der Wirtschaftsförderung zugegen. Des Weiteren wurden eine 24-Stunden-Hotline für Betroffene eingerichtet, in 4 Anwohner-Infoveranstaltungen über die Sachstände informiert und eine Internetplattform für die Betroffenen eingerichtet.

ning businesses were provided with a contact from the city's economic promotion office. Furthermore a 24-hour hotline was set up for those affected, 4 briefings held for residents to inform them about the situation and they were provided with an internet platform.

Immediate financial assistance was paid from a special fund of 2 mill euros set up by the KVB and the Cologne Municipal Services and initial compensation paid out on the spot by the insurance claim representative. To demonstrate goodwill legal claims for compensation were substantially raised in keeping with the approach adopted by the KVB and the City of Cologne that affected parties should be enabled to go on with their lives without being adversely affected. A team comprising representatives of the city, KVB, the Cologne Municipal Services and the insurance claim adjuster decided on and regulated claims for compensation from more than 200 applicants. In addition the City of Cologne established a donations account for those affected and commissioned a

Aus einem von der KVB und den Stadtwerken Köln eingerichteten Hilfsfonds in Höhe von 2 Mio. Euro wurden Soforthilfen an die Bewohner gezahlt und direkt vor Ort von dem Schadensregulierer der Versicherung erste Entschädigungszahlungen vorgenommen. Unter der von der Stadt Köln und KVB verabschiedeten Maxime, dass die Betroffenen in die Lage versetzt werden sollen, an ihre bisherige Lebenssituation anzuknüpfen, wurden rechtliche Ansprüche auf Entschädigung aus Kulanz erheblich aufgestockt. Ein Team aus Vertretern der Stadt, KVB, Stadtwerke Köln und dem Schadensregulierer entscheidet über Entschädigungsansprüche von über 200 Antragstellern und reguliert diese. Die Stadt Köln hat darüber hinaus für die Betroffenen ein Spendenkonto eingerichtet und als Schlichter für etwaige Unzufriedenheiten einen renommierten Ombudsmann beauftragt.

### 4.4 Selbstständiges Beweisverfahren

Die KVB hat direkt nach dem Unfall beim Landgericht Köln das selbstständige Beweisverfahren eingeleitet. Ziel ist es, die Ursache für den Einsturz zu ermitteln und zu klären, ob das Unglück hätte vermieden werden können und wenn ja, durch welche Maßnahmen. Darüber hinaus soll geklärt werden, ob ein Verstoß gegen die anerkannten Regeln der Technik vorliegt. Ein erstes Gutachten des vom Landgericht beauftragten Gutachters, Prof. Dr. Kempfert von der Universität Kassel, soll bis Ende 2010 vorliegen.

### 4.5 Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen

Von der Staatsanwaltschaft Köln wurde unverzüglich ein sogenanntes Vorermittlungsverfahren eingeleitet, das sich nicht gegen konkrete Verantwortliche richtet. Das Verfahren wird wegen des Vorwurfs der Baugeschäftigung und fahrlässigen Tötung geführt. Die KVB hat der Staatsanwaltschaft sofort nach Einleitung des Verfahrens umfassende Kooperation bei der Sachaufklärung zugesagt. Die Sachverständigen der Staatsanwaltschaft stehen in Kontakt zu den übrigen beteiligten Gutachtern, insbesondere im Hinblick auf das selbstständige Beweisverfahren.

### 4.6 Beauftragung von Gutachtern und Beratern, Statikern und Prüfsachverständigen

Im Zuge des Unfalls am Waidmarkt wurden diverse Gutachter und Berater von KVB, Stadt Köln, Landgericht (Beweissicherungsverfahren), Staatsanwaltschaft, Feuerwehr sowie Arge mit der Aufarbeitung des Unglücksereignisses beauftragt. Unter anderem wurde im Auftrag der KVB die Standsicherheit von Gebäuden entlang der Tunnelstrecke Nord-Süd Stadtbahn (ca. 450 Begehungen) überprüft.

### 4.7 Öffentlichkeitsarbeit

Die Frage nach den Ursachen stand direkt nach Eintritt des Unglücks und auch in den folgenden Wochen und Monaten

well-known ombudsman to regulate possible bones of contention.

### 4.4 Independent Proceedings to gather Evidence

Directly after the accident the KVB instituted independent proceedings to gather evidence with the Cologne District Court. The objective is to determine the cause of the accident and to clarify whether it could have been avoided and if so through which measures. In addition it must also be established whether the recognised rules of technology were contravened. A first expertise provided by the consultant commissioned by Cologne District Court, Prof. Kempfert, from the University of Kassel, is due to be tabled by the end of 2010.

### 4.5 Investigations by the State Prosecutor's Office

Preliminary proceedings were at once introduced by the Cologne State Prosecutor's Office, which were not targeted at any concrete responsible party. The proceedings are being conducted on account of the allegation of contravening the building code and wilful homicide. The KVB immediately promised its full cooperation to the public prosecutor's office when the proceedings were opened. The public prosecutor's office's experts are in contact with the other arbitrators involved especially in connection with the independent proceedings to collect evidence.

### 4.6 Commissioning Consultants and Advisors, Structural and Test Engineers

As a result of the accident at the Waidmarkt various consultants and advisors were commissioned to investigate the incident by the KVB, the City of Cologne, the District Court (proceedings designed to collect evidence), the public prosecutor's office, the fire service as well as the JV. Among other things the stability of the buildings along the tunnel route for the North-South Urban Light Railway was checked on behalf of the KVB.

### 4.7 PR Work

Directly after the accident occurred and during the weeks and months that followed the question of the causes was at the centre of attention among the general public, the media and political representatives. The KVB was flooded with inquiries from journalists from all over the country and beyond, which were responded to in writing and by telephone.

The City of Cologne set up a crisis management group and the fire service took charge of the scene of the incident. As a result a great deal of the work in dealing with the press was initially tackled by the City of Cologne's Press Office: in the first weeks there were sometimes 2 press conferences per day, which were often attended by the KVB board and at

## Cologne North-South Urban Light Railway • The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences

an erster Stelle des öffentlichen Interesses, der Medien und der politischen Vertreter. Eine Flut journalistischer Anfragen aus der gesamten Republik und darüber hinaus ging bei der KVB ein und wurde schriftlich und telefonisch beantwortet.

Die Stadt Köln setzte ihren Krisenstab ein und die Feuerwehr übernahm die Hoheit am Einsatzort. Somit wurde ein Großteil der Pressearbeit zunächst über das Presseamt der Stadt Köln abgewickelt: In den ersten Wochen gab es oft bis zu 2 Pressekonferenzen pro Tag, zu denen die Stadt kurzfristig einlud, an denen häufig auch der Vorstand der KVB beteiligt war und auf denen die neuesten Erkenntnisse hinsichtlich der Suche nach den Vermissten, der Bergungsarbeiten, der Maßnahmen zur Baustellensicherung etc. mitgeteilt und zusätzlich schriftlich als Pressemitteilungen versandt wurden.

In allen Medien wurde nicht nur überregional, sondern auch international über das Kölner Unglück berichtet. Die Berichterstattung gab sich in der Regel einen sachlichen und fundierten Anstrich, der oftmals durch Interviews mit Experten unterschiedlicher Fachrichtungen angestrebt wurde. Mangels tieferer fachlicher Kenntnis und Einsichten wurden jedoch häufig nicht belegbare Vermutungen angestellt, die auch der Schuldfrage spekulativ vorgriffen – zum Beispiel der Annahme, man habe, um Geld zu sparen, ein billiges und weniger sicheres Bauverfahren angewandt. Die Verantwortung dafür wurde der KVB zugeschrieben. Durch die Berichterstattung wurden Verunsicherung und Verängstigung der Bevölkerung weiter verstärkt. Der KVB gelang es nur mit großer Anstrengung, die Situation durch eigene Pressemitteilungen und Informationen zu entschärfen und Sachverhalte richtigzustellen.

Als Sofortmaßnahme zur Aufklärung und Beruhigung der Betroffenen und der Anlieger auch in anderen Bereichen der U-Bahn-Trasse führte die Unternehmenskommunikation der KVB insgesamt 10 Informationsveranstaltungen durch. Baubeteiligte Fachleute und externe Experten gaben Auskunft über Fragen der Statik, über Standsicherheitsuntersuchungen in allen Häusern entlang der Strecke, über den Stand der Arbeiten an der Unglücksstelle, über Entschädigungen etc.

Informationen zum Stand der Bauarbeiten in den einzelnen Bereichen, die ohnehin wöchentlich aktuell im Internet veröffentlicht werden, wurden noch detaillierter aufbereitet. Eine Vortragsreihe im eigens für die Nord-Süd Stadtbahn Köln eingerichteten InfoCenter, die sonst zweimal im Monat stattfand, wurde intensiviert. Diverse Themen, die durch den Unglücksfall ins Interesse der Öffentlichkeit gerückt sind, z. B. das Thema „Wasserhaltung“, werden für Laien verständlich erläutert. Themen wie Rissbildungen, messtechnische Überwachungen etc. werden offensiv kommuniziert. Erneut werden auch Führungen und eine Wanderausstellung zum U-Bahn-Bau angeboten.

Die ohnehin enge Zusammenarbeit mit den Gewerbetreibenden im Bereich der Unglücksstelle wurde weiter intensi-

which the latest information relating to the search for missing persons, the salvage operations, measures to secure the construction site etc. was provided. Additionally press releases were sent.

The accident in Cologne received both supraregional as well as international attention. Generally reporting gave the impression of being well-founded and objective, often backed up by interviews with all sorts of “experts”. Owing to a lack of profound expert knowledge and insight frequently non-attestable speculations were put forward, which also touched on the issue of culpability – for instance the presumption that a cheap and less safe construction method had been resorted to in order to save money. The KVB was given the blame for it. Through such reports insecurity and panic became rife among the population. The KVB was able to defuse the situation and clarify issues only with great difficulty thanks to its own press releases and information.

The KVB's corporate communication department organised a total of 10 information events as a first step towards enlightening and calming those affected and persons living in other parts of the underground route. Experts involved in construction and external specialists provided details on structural issues, stability investigations in all the houses along the route, on the stage reached by work at the accident site, on compensation etc.

Details relating to the stage reached by construction work in the individual sections, which were published weekly on the internet in any case, were prepared even more meticulously. A series of lectures in the InfoCenter especially set up for Cologne's North-South Urban Light Railway, otherwise scheduled for twice a month, was intensified. Various themes, which occupied public attention on account of the incident, e.g. the topic of “drainage”, were explained understandably for the layman. Topics such as crack formation, measurement technical monitoring etc. are being forcefully put across. Once again guided tours and a touring exhibition dealing with the Metro construction programme are being provided.

The close cooperation already existing with those business people situated around the scene of the accident has been further stepped up. The KVB is contributing towards a concept for marketing the location and in addition the work of the interest group for local business people is being financed to a substantial extent.

### 4.8 Customer Satisfaction

The KVB is carrying out continuous, monthly surveys on customer satisfaction by means of a customer barometer. No serious changes in customer satisfaction were determined for the months March, April, May and June 2009, which is still very high as in the past. The customer barometer provides no

viert. Für ein Konzept zum Standortmarketing werden nicht nur Eigenleistungen der KVB erbracht, sondern die Arbeit der Interessengemeinschaft der Geschäftsleute wird auch finanziell maßgeblich unterstützt.

### 4.8 Kundenzufriedenheit

Die KVB führt kontinuierliche, monatliche Erhebungen zur Kundenzufriedenheit mittels eines Kundenbarometers durch. Für die Monate März, April, Mai und Juni 2009 sind keine gravierenden Änderungen in der Kundenzufriedenheit festzustellen, die nach wie vor recht hoch ist. Im Kundenbarometer sind keine Veränderungen erkennbar, die durch das Unglück am Waidmarkt hervorgerufen wurden.

### 4.9 Image

Nach dem Unglück am Waidmarkt hat die KVB ein sogenanntes Image-Tracking in Auftrag gegeben. Aufbauend auf den Ergebnissen einer ersten Befragung werden Image-Veränderungen – u. a. aufgrund der Öffentlichkeitsarbeit und Marketingmaßnahmen der KVB – gemessen. Inzwischen wurden 2 Erhebungen durchgeführt. Die Werte zeigen, dass etwas über die Hälfte der Befragten meint, dass sich das Image der KVB seit dem Unglück verschlechtert hat. Eine Minderheit äußert, das Image habe sich nicht verändert und nimmt die KVB in ihren Äußerungen zum Teil in Schutz. Die Befragten trennen in ihrer Bewertung zwischen Baumaßnahmen der Nord-Süd Stadtbahn, sonstigen Baumaßnahmen und dem Regelbetrieb. Das Fahrverhalten der Befragten hat sich seit dem Unglück nicht verändert. Die Werte des Image-Trackings haben sich von der ersten zur zweiten Befragung in fast allen Merkmalen leicht verbessert. Nach Anlaufen einer Vertrauenskampagne im April 2010 soll eine Nachmessung mit einer 3. Umfrage im Sommer 2010 erfolgen.

### 4.10 Vertrauenskampagne

Das Ergebnis aus dem Image-Tracking zeigte, dass die KVB nach dem Unfall am Waidmarkt bei technischer und emotionaler Kompetenz einen Imageschaden erlitten hat. Um das verlorene Vertrauen wiederherzustellen, wird daher im Frühjahr 2010 eine breit angelegte Kampagne gestartet. Zielgruppe dieser Kampagne sind die mittelbar und unmittelbar Betroffenen des Unglücks, die KVB-Kunden, die Politik auf lokaler, regionaler und Landesweiter Ebene sowie die breite Öffentlichkeit. Durch einen aktiven Dialog zum Kunden soll die KVB emotional als kompetenter, sympathischer, verlässlicher und technisch kompetenter Partner positioniert und ein Imagetransfer aus negativ betroffenen Kompetenzfeldern möglichst vermieden werden.

### 4.11 Haftung

Grundsätzlich würde eine Haftung die Schadensersatzansprüche der Eigentümer zerstörter und beschädigter Gebäude, Bewohner, Leihgeber von Archivalien, der Stadt Köln, der KVB und ihrer Vertragspartner usw. umfassen. Wer

indication of changes, which have resulted from the Waidmarkt incident.

### 4.9 Image

After the Waidmarkt incident the KVB commissioned what is known as an image tracking campaign. On the basis of the results of an initial survey, changes in image are measured for instance founded on the KVB's PR work and marketing measures. In the interim 2 surveys have been carried out. The values indicate that roughly more than the half of those questioned feel that the KVB's image has deteriorated since the accident. A minority of those asked felt that the image had not altered and partly take the side of the KVB in their comments. Those questioned distinguished between construction measures for the North-South Urban Light Railway, other construction measures and normal services in their responses. The travelling habits of those asked have not changed since the incident. The values of the image tracking campaign slightly improved in practically every aspect from the first to the second survey. After the start-up of a confidence campaign in April 2010, a 3rd survey is to be undertaken in summer 2010 to re-assess the situation.

### 4.10 Confidence Campaign

The results from the image tracking surveys revealed that after the Waidmarkt incident the KVB sustained damage to its image in terms of technical and emotional competence. In order to restore the confidence that was lost as a consequence a widely based campaign is to be embarked on in spring 2010. The target group for this campaign are those affected directly and indirectly by the accident, KVB customers, politicians at local, regional and national level as well as the general public. In emotional terms through an active dialogue with the customer the KVB is to present itself as a competent, sympathetic, reliable and technically well-versed partner to ensure that an image transfer from negatively affected fields of competence be avoided if at all possible.

### 4.11 Liability

Basically liability for claims to damage would embrace the owners of destroyed and damaged buildings, residents, donors of archive material, the City of Cologne, the KVB and their contractual partners etc. At present it cannot be determined just who will be responsible for the damage resulting from the accident as the cause of damage and possible blame have not been clarified. In addition to claims for damages related to culpability, claims for damages not related to culpability by third parts against the City of Cologne, the KVB and the JV for the contract section south cannot be precluded.

The construction of the North-South Urban Light Railway is insured by means of a combined third party and construction services insurance policy for damage to persons and

# Cologne North-South Urban Light Railway •

## The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences

letztendlich für den durch die Havarie entstandenen Schaden einzustehen hat, ist derzeit noch nicht festzulegen, da die Schadensursache und ein mögliches Verschulden unklar sind. Über die verschuldensabhängigen Schadensersatzansprüche hinaus können zudem verschuldensunabhängige Entschädigungsansprüche Dritter gegen die Stadt Köln, die KVB und die Arge Los Süd nicht ausgeschlossen werden.

Der Bau der Nord-Süd Stadtbahn ist über einen kombinierten Haftpflicht- und Bauleistungsversicherungsvertrag für Personen- und Sachschäden sowie für Vermögensschäden versichert. Darüber hinaus besteht seitens der Stadt Köln eine Sachversicherung der Archivalien.

In Anbetracht der Schwierigkeiten bei der Abwicklung der Schäden unter dem Deckungsschutz unterschiedlicher Versicherungen wurde ein „Regulierungspool“ gegründet. Dieser soll sicherstellen, dass die beteiligten Versicherer nach Vorlage der Kosten zeitnah zu einer Verteilungsquote kommen, sodass eine zügige Regulierung gewährleistet ist.

### 4.12 Organisatorische Veränderungen

Der KVB-Vorstand hat dem aufgrund des Unglücks am Waidmarkt bedingten erheblich gestiegenen Arbeitsaufwand Rechnung getragen und die Verantwortlichkeiten für das Projekt auf zwei Projektleiter umverteilt. Des Weiteren wurde ein speziell zur Aufarbeitung des Unglücks eingerichteter Lenkungsausschuss eingesetzt, der alle zwei Wochen tagt.

Zur Unterstützung der Projektleitung wurde ein Gutachter-Team für die fachgutachterliche Beratung der Projektleitung in Bezug auf die Sanierungsplanung und den Weiterbau vertraglich gebunden. Darüber hinaus soll das Team bei der Ursachenforschung und der fachlich-inhaltlichen Koordination von Handlungen diverser Gutachter unterstützen.

Zusätzlich wurde ein kaufmännisches Projektmanagement zur Steuerung und Lenkung des weiteren Vorgehens zum Unglück Waidmarkt implementiert – inklusive eines speziellen kaufmännischen Risikomanagements.

Die Aufgaben der Baugrund- und Bauwerkserkundung zum Schadensumfang sowie die Planung und Durchführung einer entsprechenden Sanierung stellen hohe Anforderungen an die Qualifikation der beteiligten Institutionen dar. Aus diesem Grunde wurden die Ingenieurleistungen „örtliche Bauüberwachung“ und „Bauoberleitung“ nach einer Ausschreibung an eine Ingenieurgemeinschaft vergeben.

### 4.13 Sanierungskonzept

Der Weiterbau der Nord-Süd Stadtbahn an der Unglücksstelle erfordert die Erarbeitung und Abstimmung eines Sanierungskonzepts mit dem Bauleistungsversicherer und eine zügig

property. Furthermore the City of Cologne had taken out a policy to insure the archived material.

In view of the difficulties faced in regulating the damage under the cover provided by various insurance companies a “regulation pool” was set up. This is intended to ensure that the insurers involved come up with a distribution quota promptly after the costs have been submitted so that everything can be regulated swiftly.

### 4.12 Organisational Changes

The KVB board took notice of the considerably increased work load that ensued on account of the incident at the Waidmarkt and placed the responsibilities for the project in the hands of two managers. In addition a steering committee was set up especially to deal with the consequences of the accident, which meets every two weeks.

To support the project management a team of experts was contractually commissioned to advise the project management with respect to redevelopment planning and further construction. Furthermore the team is entrusted with supporting various experts in establishing the causes and the specialised contentual coordination of activities.

In addition a commercial project management to control and steer the further procedures relating to the Waidmarkt incident was implemented – including a special commercial risk management.

The tasks of investigating the substratum and the structure to determine the extent of damage as well as planning and executing appropriate redevelopment measures place high demands on the abilities of the institutions involved. For this reason the engineering services “local construction supervision” and “construction management” were awarded to a firm of engineering consultants.

### 4.13 Redevelopment Costs

The further construction of the North-South Urban Light Railway at the scene of the incident requires a redevelopment concept to be worked out and coordinated with the insurer of the construction performances and then its rapid fulfilment. However, it will not be possible to undertake the planning of redevelopment quite apart from establishing a proper redevelopment method until the cause and extent of the accident are clarified.

For the timepoint when the Waidmarkt structure is handed over to the KVB by the fire service concepts for securing the site, traffic guidance through the location at least in the form of a path for pedestrians, access checks, the rebuilding of damaged supply pipes (e.g. distance heating, electricity) as

anschließende Umsetzung. Solange jedoch Schadensursache und -umfang nicht geklärt sind, kann die Planung einer Sanierung bzw. die fachliche Festlegung eines Sanierungsverfahrens nicht abschließend durchgeführt werden.

Für den Zeitpunkt der Übergabe des Bauwerks Waidmarkt von der Feuerwehr an die KVB werden Konzepte für die Sicherung des Baufeldes, die Verkehrsführung durch die Unglücksstelle zumindest als Fußgängerweg, die Zugangskontrolle, die Wiederherstellung der unterbrochenen Versorgungsleitungen (z. B. Fernwärme, Strom) sowie die notwendigen Überwachungen des Gleiswechselbauwerks Waidmarkt erstellt bzw. bereits umgesetzt.

### 4.14 Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen bei allen Bauwerken

Nach dem Einsturz sind bei allen noch im Bau befindlichen Bauwerken der Nord-Süd Stadtbahn zusätzliche Sicherungsmaßnahmen durchgeführt worden und die vorhandenen Messsysteme räumlich und bezüglich der Messfrequenz erheblich verdichtet worden. Diese Maßnahmen sollen eventuelle Bewegungen noch genauer und noch frühzeitiger ermitteln und entsprechend warnen.

### 4.15 Bauzeitverzögerung

Die Bauzeit für das Gesamtprojekt wird sich aufgrund der vorgenannten Fakten deutlich verlängern. Unter Berücksichtigung der bereits jetzt abzuschätzenden Zeiten für die an die Sanierungsanschließenden Arbeiten (Räumung, Fertigstellung Rohbau, Ausbau) ist eine Inbetriebnahme der Nord-Süd Stadtbahn erst im Jahr 2013 wahrscheinlich.

### 4.16 Personalaufwand

Sämtliche durch das Unglück entstandenen zusätzlichen Aufgaben, Prüfungen und Dokumentationen haben bei der KVB in vielen Bereichen zu einem erheblich höheren Personalaufwand geführt, der sich – leicht abgeschwächt – bis zur Fertigstellung der Nord-Süd Stadtbahn fortsetzen wird.

### 4.17 Finanzielle Risiken

Die finanziellen Risiken aus dem Unglück am Waidmarkt können derzeit noch nicht verlässlich dargestellt werden. Die Gesamtschadenshöhe ist abhängig von der Klärung der Haftungsfrage und den sich dynamisch entwickelnden Ansprüchen. Hierbei sind außerdem noch Ansprüche der KVB gegenüber Versicherungen und anderen Dritten sowie Kulanzanteile bei Entschädigungszahlungen zu berücksichtigen. Grundsätzlich ergeben sich Kosten aufgrund folgender Punkte:

- Entschädigung betroffener Bewohner, Eigentümer, Gewerbetreibender, Leihgeber der Archivalien etc.

well as the necessary supervision for the Waidmarkt crossover structure have been devised or already put into practice.

### 4.14 Additional Supporting Measures for all Structures

Additional supporting measures have been carried out for all structures of the North-South Urban Light Railway still under construction following the collapse and the existing measurement systems substantially extended spatially and with regard to the measurement frequency. These measures are geared to determining possible movements even more accurately at an earlier stage thus providing a corresponding warning.

### 4.15 Delay in Construction Time

The construction time for the overall project will be considerably extended on account of the above mentioned factors. Taking the times that can now be estimated for the activities relating to redevelopment (clearance, completion of roughwork, supporting) the North-South Urban Light Railway will probably first become operational in 2013.

### 4.16 Staff Requirements

The many additional tasks, tests and documentations resulting from the accident have led to a substantially higher need for staff in many sectors of the KVB, which will continue – in slightly milder form – until the North-South Urban Light Railway is completed.

### 4.17 Financial Risks

The financial risks ensuing from the Waidmarkt incident cannot yet be reliably predicted. The total amount of damage depends on the clarification of the liability issue and the dynamically developing claims. In this connection there are also still claims on the part of the KVB against insurance companies and other third parties as well as partial payments undertaken as gestures of goodwill for compensation to be lent consideration. Essentially costs have evolved on account of the following aspects:

- Compensating affected residents, owners, business people, donors of archive material etc.
- Liquidity flows from damage regulation
- Salvage costs and prevention of hazards
- Removal of measures limiting damage (e.g. underfilling with concrete)
- Cost increases when continuing construction on account of redeveloping the crossover structure, changed construction method and construction time delay
- Damaged public areas, archive building incl. inventory and archived material (excluding loans), school building incl. inventory

## Cologne North-South Urban Light Railway • The Accident at Waidmarkt – Findings and Consequences

- Liquiditätsabflüsse aus Schadensregulierungen
- Bergungskosten und Gefahrenabwehr
- Beseitigung von Schadensminderungsmaßnahmen (z. B. Unterfüllung mit Beton)
- Kostensteigerungen bei der Baufortsetzung wegen Sanierung des Gleiswechselbauwerks, geänderter Bauweise und Bauzeitverzögerung
- Geschädigte öffentliche Flächen, Archivgebäude inkl. Inventar und Archivalien (soweit keine Leihgaben), Schulgebäude inkl. Inventar
- Kosten externer Berater und Gutachter sowie weiterer Projektbeteiligter
- Informationsveranstaltungen, Unterstützung der Gewerbetreibenden und des Standortmarketings in der Severinstraße
- Zusätzliche Personalaufwendungen bei KVB, Stadt, Feuerwehr etc.
- Verschobenes Einnahmepotenzial aufgrund verspäteter Inbetriebnahme.

Die derzeit noch nicht absehbaren Kosten aufgrund des Unglücks am Waidmarkt werden unweigerlich auf die gesamten Projektkosten durchschlagen und somit zu einer Überschreitung der geplanten Kosten führen. Inwieweit diese zusätzlichen Kosten regressiert werden können, hängt letztlich von der Klärung der Schadensursache und damit der Schuldfrage ab.

### 4.18 Mitarbeiterengagement

Das Unglück am Waidmarkt hat deutlich gemacht, wie die Mitarbeiter zu und hinter ihrem Unternehmen stehen: Das Engagement aller Beteiligten war ohne Ausnahme überdurchschnittlich hoch. Viele Mitarbeiter arbeiteten fast rund um die Uhr und übernahmen auch Aufgaben, die nicht zu ihrem Arbeitsbereich gehören. Der hohe Druck von außen betraf nicht nur den Vorstand, sondern auch Straßenbahn- und Busfahrer, die bedroht und beschimpft wurden. In diesem Klima rückten alle Kollegen und Kolleginnen näher zusammen und halfen sich gegenseitig.

### 5 Fazit

Die Bewältigung des Einsturzungsunglücks am Waidmarkt war und ist für alle Beteiligten eine große Aufgabe, die noch lange nicht bewältigt ist – weder was die Geschädigten betrifft, noch diejenigen, die sich mit der Abarbeitung der sonstigen Themen befassen, seien es die Ursachenforschung, das Erstellen von Sanierungskonzepten, die Klärung juristischer und versicherungsrechtlicher Fragen oder auch der Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Marketing. Eine Aufgabe, der wir uns als Unternehmen und Bauherrin der Nord-Süd Stadtbahn Köln verantwortungsbewusst stellen.

- Costs for external advisors and experts as well as others involved in the project
- Information events, supporting business people and location marketing in the Severinstraße
- Additional outlay for staff on the part of the KVB, city, fire service etc.
- Deferred potential revenue on account of delayed start-up.

The costs, which currently are inestimable incurred on account of the Waidmarkt incident, will inevitably affect the total costs and thus lead to the planned total amount being exceeded. To what extent these additional costs can be retrieved ultimately depends on clarifying the cause of damage and in turn the question of who is to blame.

### 4.18 Staff Commitment

The accident at the Waidmarkt clearly revealed just how the staff feel committed to their company. The involvement of all members of staff was without exception extremely high. Many members of staff worked round the clock and also took on duties outside their normal sphere of competence. The high pressure exerted from outside not only affected the board but also tram and bus drivers, who found themselves threatened and abused. Against this background all colleagues closed ranks and helped one another.

### 5 Conclusion

Mastering the cave-in incident at the Waidmarkt was and still is a major task for all those involved, which is certainly not over yet. Neither for those affected by the damage nor for those, who are engaged in tackling other matters: whether researching the causes, evolving redevelopment concepts, clarifying juristic and legal issues to do with insurance or from the PR and marketing sector. A task, which we as a company and the client for Cologne's North-South Urban Light Railway accept, well aware of the responsibility.

*Renzo Simoni, Dr. sc. techn., Dipl. Bauing. ETH/SIA, Vorsitzender der Geschäftsleitung  
AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH*

## Gotthard-Basistunnel

### Kurz vor dem ersten Hauptdurchschlag

Ende 2009 waren fast 95 % des Gotthard-Basistunnels ausgebrochen. Einzig zwischen den Abschnitten Sedrun und Faido liefen noch Vortriebsarbeiten in den Hauptröhren. Es fehlten nur noch knapp 4 km. Voraussichtlich im November 2010 ist es so weit: Die Schweiz wird mit uns den Hauptdurchschlag im Gotthard-Basistunnel feiern! – Mit der Unterzeichnung des Werkvertrages für das Hauptlos der Bauarbeiten am Ceneri-Basistunnel im Oktober 2009 erreichten wir einen weiteren Meilenstein, die Vorbereitungsarbeiten haben mittlerweile bereits begonnen.

AlpTransit Gotthard ist also auf Kurs, den geplanten Eröffnungen des Gotthard-Basistunnels Ende 2017 und des Ceneri-Basistunnels 2019 steht aus heutiger Sicht nichts im Weg.

## Gotthard Base Tunnel

### Shortly before the Main Breakthrough

At the end of 2009 almost 95 % of the Gotthard Base Tunnel had been broken through. Driving operations in the main bores are still progressing solely in the Sedrun and Faido sections. There is still just some 4 km to go. This will probably be completed by November 2010: Switzerland will be able to celebrate the Gotthard Base Tunnel's main breakthrough together with us! We achieved a further milestone in October 2009 with the signing of the main contract section for producing the Ceneri Base Tunnel, where driving operations have started in the meantime.

AlpTransit Gotthard is therefore on schedule for seen from the current standpoint nothing appears to stand in the way of the planned openings of the Gotthard Base Tunnel at the end of 2017 and the Ceneri Base Tunnel in 2019.

Die Piora-Mulde und auch die geologisch schwierigen Zonen im Tavetscher Zwischenmassiv werden vielleicht einmal in den Geschichtsbüchern über den Bau des Gotthard-Basistunnels auftauchen. Aber nicht als die Schreckgespenster, zu denen sie einst sogar Experten hochstilisiert hatten. Vielmehr werden sie Beispiele sein – für die Innovationskraft des Schweizer Tunnelbaus im Fall Tavetscher Zwischenmassiv – für eine gute, vorausschauende Vorbereitung im Fall Piora.

Ende 2009 waren fast 95 % des Gotthard-Basistunnels ausgebrochen. Einzig zwischen den Abschnitten Sedrun und Faido liefen noch Vortriebsarbeiten in den Hauptröhren. Es fehlten nur noch knapp 4 km. Voraussichtlich im November 2010 ist es so weit: Die Schweiz wird mit uns den Hauptdurchschlag im Gotthard-Basistunnel feiern! - Mit der Unterzeichnung des Werkvertrages für das Hauptlos der Bauarbeiten am Ceneri-Basistunnel im Oktober 2009 erreichten wir einen weiteren Meilenstein, die Vorbereitungsarbeiten haben mittlerweile bereits begonnen.

The Piora Basin as well as the geologically tricky zones in the Tavetsch Intermediate Massif will perhaps one day appear in history books referring to the construction of the Gotthard Base Tunnel. But certainly not in the form of the spectres that even experts once characterised them to be. Far rather they will represent examples – for the innovative force of Swiss tunnelling in the case of the Tavetsch Intermediate Massif – and for good, foresighted preparation in the case of Piora.

Around 95 % of the Gotthard Base Tunnel had been broken through at the end of 2009. Driving operations in the main bores are still progressing only in the Sedrun and Faido sections. There is still just some 4 km to go. This will probably be completed in November 2010: Switzerland will be able to celebrate the Gotthard Base Tunnel's main breakthrough together with us! We attained a further milestone in October 2009 through signing the main contract section for producing the Ceneri Base Tunnel, where driving operations have started in the meantime.

## Le tunnel de base du Saint-Gotthard

### Juste avant le premier percement principal

Fin 2009, presque 95 % du tunnel de base du Saint-Gotthard étaient creusés. Les seuls travaux d'excavation encore en cours étaient ceux situés entre les tronçons Sedrun et Faido, dans les tubes principaux. Il ne manquait plus que 4 km à peine. En novembre 2010, nous toucherons probablement au but : la Suisse fêtera avec nous le percement principal du tunnel de base du Saint-Gotthard! En signant le contrat d'entreprise pour le lot principal de construction du tunnel de base du Ceneri en octobre 2009, nous avons marqué un nouveau jalon. Les travaux de préparation ont déjà commencé depuis.

AlpTransit Gotthard a donc pris le cap ! Dans l'optique actuelle, plus rien ne barre la route pour l'inauguration du tunnel de base du Saint-Gotthard prévue pour fin 2017, ni pour celle du tunnel de base du Ceneri, prévue pour 2019.

## Galleria di base del San Gottardo

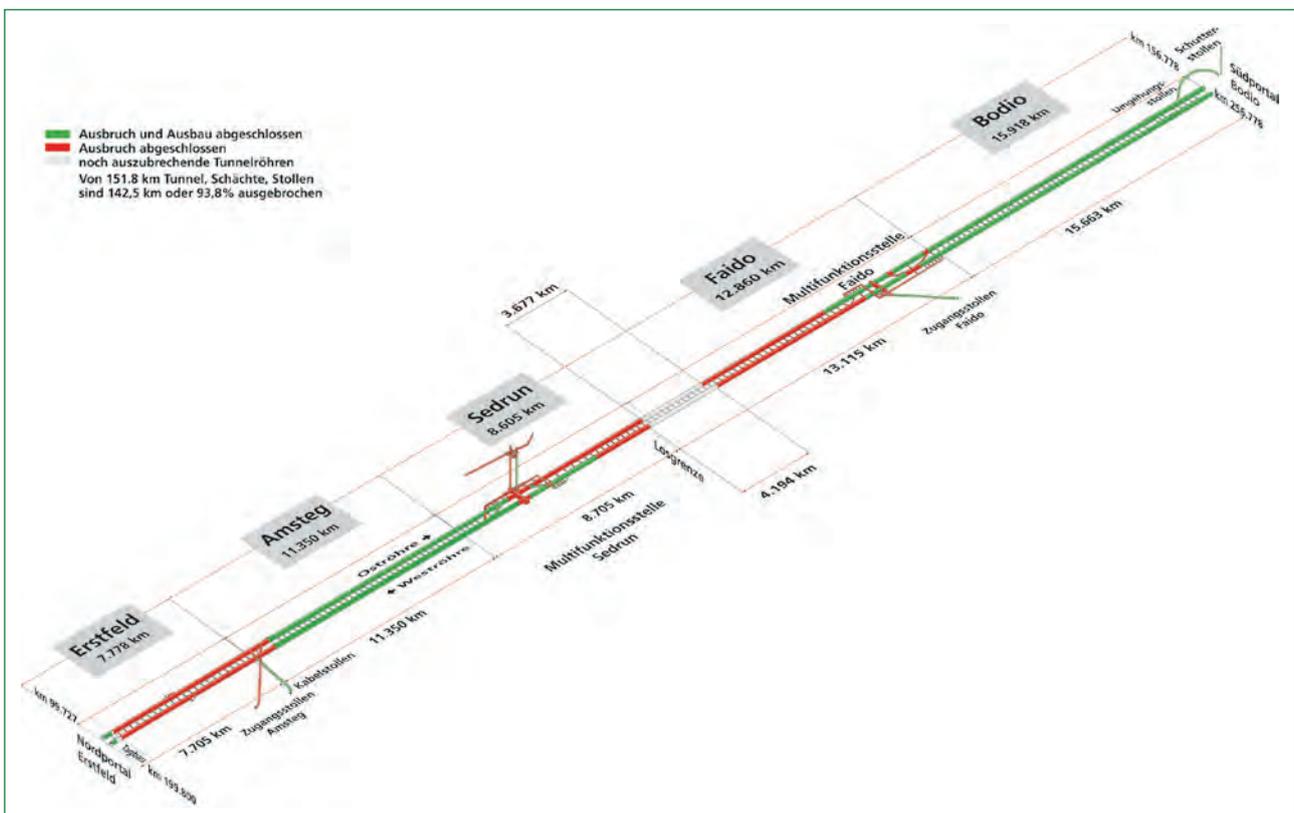
### Poco prima di completare la caduta del primo diaframma principale

Alla fine del 2009 era stato scavato quasi il 95 % della galleria di base del San Gottardo. Solo fra le tratte di Sedrun e Faido erano ancora in corso lavori di avanzamento nei tubi principali. Mancavano ormai solo 4 km circa. Si presume che nel novembre 2010 la Suisera festeggero con noi la caduta del primo diaframma principale del San Gottardo. Con la firma del contratto per il lotto principale dei lavori della galleria di base di Ceneri nell'ottobre 2009 abbiamo raggiunto un'ulteriore pietra miliare, i lavori preliminari nel frattempo sono già iniziati.

AlpTransit Gotthard è quindi sulla rotta giusta e, oggi come oggi, niente sembra opporsi alla prevista realizzazione della galleria di base del San Gottardo per fine 2017 e della galleria di base di Ceneri per il 2019.

AlpTransit Gotthard ist also auf Kurs, den geplanten Eröffnungen des Gotthard-Basistunnels Ende 2017 und des Ceneri-Basistunnels 2019 steht aus heutiger Sicht nichts im Weg (Bild 1).

AlpTransit Gotthard is therefore on schedule for seen from the current standpoint nothing appears to stand in the way of the planned openings of the Gotthard Base Tunnel at the end of 2017 and the Ceneri Base Tunnel in 2019 (Fig. 1).



1 Stand der Arbeiten am Gotthard-Basistunnel am 1. Februar 2010  
Stage reached by work at the Gotthard Base Tunnel on February 1, 2010



2 Bauarbeiten an der neuen Brücke über die Stille Reuss  
Construction work on the new bridge over the Stille Reuss

## 1 Gotthard-Basistunnel: Stand der Arbeiten (Ende 2009)

### 1.1 Offene Strecke Altdorf–Rynächt

Zur Zufahrtsstrecke gehören neben dem ca. 7 km langen Bahntrasse zahlreiche Kunstbauten. Nicht weniger als 6 Unterführungen mit bis zu 75 m Länge, 5 Brückenbauwerke mit bis zu 21 m Spannweite und eine Vielzahl von Durchlässen und Stützmauern sind zu erstellen. Neben der Schüttung des Bahntrassees, Asphaltierungen und ersten Gleisverlegungen zur Erschließung des künftigen Bahntechnik-Installationsplatzes laufen gleichzeitig Arbeiten an diversen Teilprojekten. Vor allem im Bereich Stille Reuss herrscht reges Treiben: Im Bau sind die neue Bahnbrücke und verschiedene Stützmauern. Weit fortgeschritten sind auch die Arbeiten an der Unterführung Riedstrasse. Im Bereich der Unterführung Walter Fürst entsteht die provisorische Umfahrungsstrasse (Bild 2).

### 1.2 Teilabschnitt Erstfeld

Dank der mehrstündigen, spannenden Übertragung des Schweizer Fernsehens konnte die Schweiz beim ersten Durchschlag in der Oströhre am 16. Juni 2009 live dabei sein. Mit einem Vorsprung von einem halben Jahr und einer minimalen Abweichung von nur gerade 4 mm quer zum Tunnel und 8 mm in der Höhe konnten wir diesen Durchschlag als weiteren Erfolg beim Bau des Gotthard-Basistunnels feiern (Bild 3).

In der Weströhre erfolgte der zweite Durchschlag am 16. September 2009, ebenfalls 6 Monate früher als geplant. Die beiden Tunnelbohrmaschinen sind längst abtransportiert. Im Teilabschnitt Erstfeld sind damit die Vortriebsarbeiten in den eigentlichen Tunnelröhren abgeschlossen, Ende 2009 waren auch alle 24 Querschläge ausgebrochen. Nur noch im Bereich der beiden Verzweigungsbauwerke liefen noch Ausbrucharbeiten. Damit eine mögliche zukünftige Verlängerung des Gotthard-Basistunnels Richtung Norden (Variante Berg lang) im Betriebszustand überhaupt möglich wäre,



3 Durchschlag Weströhre Erstfeld–Amsteg am 16. Juni 2009  
Breakthrough of western bore Erstfeld–Amsteg on June 16, 2009

## 1 Gotthard Base Tunnel: Stage of Work by end of 2009

### 1.1 Altdorf–Rynächt open Section

Apart from the roughly 7 km long rail line numerous engineering structures belong to the access route. No fewer than 6 underpasses of up to 75 m in length, 5 bridges with spans extending to 21 m and a large number of openings and supporting walls have to be created. In addition to filling the rail route, asphaltting and laying the first tracks to develop the future rail technology installation yard, operations for diverse part projects are progressing at the same time. There are ongoing activities in the Stille Reuss area in particular: the new rail bridge with various supporting walls is being built. Work on the Riedstrasse underpass has also progressed to a great extent. The provisional bypass road is being produced at the Walter Fürst underpass (Fig. 2).



4 Tagbautunnel Erstfeld  
Erstfeld cut-and-cover tunnel

müssen die Verzweigungsbauwerke bereits heute als Vorinvestition erstellt werden.

Die ersten 600 m des Gotthard-Basistunnels entstehen im Tagbau. Die Arbeiten haben im April 2008 begonnen. Ende 2009 waren je etwa die Hälfte fertig betoniert (Bild 4).

### 1.3 Teilabschnitt Amsteg

Im Dezember 2009 konnte die Arbeitsgemeinschaft den fertigen Rohbau des Teilabschnitts Amsteg dem Bauherrn AlpTransit Gotthard AG übergeben. Im letzten Jahr stellte man das Innengewölbe der beiden Röhren fertig, zuletzt erfolgte in der Oströhre der Einbau des Gewölbes im Bereich Startrohre, Montagekaverne und Speisepunkt, während in der Westrohre der Banketteinbau lief. Mit der Rohbauausrüstung und dem Einbau der Querschlagstüren und -lüftungen sowie der Doppelböden konnte auch die Rohbauausrüstung termingemäss abgeschlossen werden.

### 1.4 Teilabschnitt Sedrun

Grosse Fortschritte machte auch im Teilabschnitt Sedrun der Innenausbau. Nach der erfolgreichen technischen Prüfung gingen im Oktober 2009 die beiden Tunnelröhren nördlich



5 Abluftschacht und -stollen in der Multifunktionsstelle Sedrun  
Exhaust air shaft and tunnel in the Sedrun MFS

der Multifunktionsstelle bis zur Abschnittsgrenze Amsteg termingerech und unter Einhaltung des vorgesehenen Kostenrahmens in die Obhut des Bauherrn AlpTransit Gotthard AG über. In der Multifunktionsstelle ist mittlerweile auch das Gewölbe der Tunnelaufweitung 2 fertig. Der Innenausbau der Abluftschächte Nord 1 bis 7 ist programm-gemäss weit fortgeschritten (Bild 5).

Im Frühsommer 2009 erreichten die Südvortriebe die geologisch günstige Formation der Paradiesgneise. Es resultierten durchschnittliche Auffahrleistungen von 4 m/Tag, bei maximalen Leistungen von bis zu 7 m/Tag. Die regelmässigen Vorauserkundungsbohrungen zeigen nur noch lokal begrenzte, schwierige Bereiche. Am 20. Oktober erreichte der Vortrieb in der Westrohre Süd Tunnelkilometer (TKM) 226,308 und damit die ursprünglich bestellte Loslänge (inkl.

### 1.2 Erstfeld Part-Section

Thanks to that exciting, several-hour long transmission by Swiss TV Switzerland was able to witness the first breakthrough in the eastern bore live on June 16, 2009. We were able to celebrate this breakthrough as a further triumph in building the Gotthard Base Tunnel completing it six months ahead of schedule with a minimum deviation of only some 4 mm diagonally to the tunnel and 8 mm in height (Fig. 3).

The second breakthrough took place in the western bore on September 16, 2009 – also six months earlier than scheduled. The two tunnel boring machines have long since been removed. Thus the driving operations in the actual tunnel bores for the Erstfeld part-section have been completed. All 24 cross-passages had also been produced at the end of 2009. Excavation work was still only in progress at the 2 branch structures. These branch structures must be produced as prior investments today to ensure that a possible future extension of the Gotthard Base Tunnel northwards in operational state would be feasible (the along the mountain alternative).

The first 600 m of the Gotthard Base Tunnel is produced by cut-and-cover. Work started in April 2008. At the end of 2009 in each case roughly the half had been completely concreted (Fig. 4).

### 1.3 Amsteg Part-Section

In December 2009 the JV was able to hand over the finished roughwork for the Amsteg part-section to the client – the AlpTransit Gotthard Ltd. Last year the inner vault of the two bores was produced, with the vault for the start-up tube, assembly chamber and feed point subsequently being accomplished in the eastern tube with work on installing the verges progressing in the western tube. The roughwork furnishing was also finished according to schedule with the installation of the cross-passage doors and ventilation as well as the false floors.

### 1.4 Sedrun Part-Section

Major progress was attained by the internal furnishings for the Sedrun part-section as well. Following successful technical testing the two tunnel bores to the north of the MFS to the boundary with Amsteg were handed over to the client – the AlpTransit Gotthard AG according to schedule in October 2009 within the intended cost framework. The vault for the tunnel enlargement 2 has also been completed at the MFS in the meantime. In keeping with the schedule the internal furnishing of exhaust air shafts North 1 to 7 has progressed substantially (Fig. 5).

In early summer 2009 the southern drives arrived at the geologically favourable Paradies gneiss formation. The outcome was average rates of advance amounting to 4 m/day, given

der Option von 1 km). Seither befindet sich der Vortrieb in der im Jahr 2008 bestellten zusätzlichen Losgrenzenverschiebung, die einen Vortrieb bis TKM 228,000 erlaubt. Die Oströhre stand Ende 2009 kurz vor der Losgrenze.

Die im Jahr 2008 ausgelöste weitere Verschiebung der Losgrenze von Sedrun in Richtung Faido bedeutete den Anfall von weiteren 750 000 t Ausbruchmaterial und erforderte hinsichtlich der Deponien eine Anpassung des Konzeptes zur Materialbewirtschaftung. Für diese erheblichen Mehrmengen braucht es zusätzliche Ablagerungsmöglichkeiten im Nahbereich der Baustelle, da ein Abtransport in ausreichender Menge weder per Bahn noch per Lkw möglich ist. Gemeinsam mit allen Interessenspartnern wie Gemeinde, Region, Kanton, Anwohner, Umweltschutzorganisationen und Genehmigungsbehörden fand und realisierte man bewilligungsfähige Lösungen. Am 30. September 2009 nahm die neue Deponie Claus Surrein den Betrieb auf. Die Arbeiten an der bisherigen Deponie Val Bugnei sind inklusive Rekultivierung grösstenteils abgeschlossen (Bild 6).

### 1.5 Teilabschnitt Faido

Nach der Revision der beiden Tunnelbohrmaschinen während der Baustellenferien im Sommer 2009 kam der Vortrieb gut voran. Im September 2009 überquerte die Tunnelbohrmaschine in der vorausseilenden Oströhre die Kantonsgrenze Tessin–Graubünden. Die Grenzüberschreitung fand im Gotthard-Massiv 2000 m unterhalb des Piz Scai (GR) und der Alp Scaione (TI) statt. Hier im südlichen Abschluss des Gotthard-Massivs dominiert der Medelser Granit. Da es sich beim Granit um ein Gestein handelt, das in mehr oder weniger flüssigem Zustand in älteres, schon vorhandenes Gestein eindrang, dieses verdrängte und aufschmolz, kann die Ausdehnung eines solchen Gesteinskörpers nicht prognostiziert werden. Dies hat sich im Gotthard-Basistunnel einmal mehr bewahrheitet, der Granit reicht wesentlich weiter nach Norden und ist etwa doppelt so mächtig wie erwartet. Ende 2009 befanden sich die Vortriebe 2500 m nördlich des prognostizierten Übergang immer noch im Medelser Granit.

Von Anfang Juni bis Ende August 2009 erfolgten Sanierungsarbeiten nördlich der Multifunktionsstelle (Gewölbesanierung auf 242 m, Sohlсанierung und -betonage auf 211 m). Nach den in der Oströhre nötigen Umbauarbeiten begannen Mitte September die Sanierungsarbeiten in der Weströhre. Diese waren eine Folge der ungünstigen Verhältnisse in der penninischen Gneiszone mit den Lucomagno-Gneisen. Schichtungen stehen im nördlichen Teil steil, im südlichen liegen sie flach. Wegen der grossen Überlagerung von über 1500 m wirkte sich die flache Lagerung in diesen eigentlich relativ günstigen Gesteinen negativ aus. Sie führte zu erheblichen bautechnischen Schwierigkeiten. Dazu kam noch, dass wegen der schleifend zum Tunnel verlaufenden Störung der Wechsel von den steil stehenden zu den flach liegenden Lucomagno-Gneisen rd. 500 m weiter nördlich erfolgt als



6 Neue Deponie Claus Surrein in Sedrun  
New Claus Surrein landfill at Sedrun

maximum rates of up to 7 m/day. The regular advance exploratory drillings only indicated locally restricted, tricky zones. On October 20, the drive in the western bore South reached tunnel kilometre (TKM) 226.308 and thus the originally commissioned section length (including the option of 1 km). Since then the drive has been located in the additional section boundary adjustment commissioned in 2008, which permits excavation up to TKM 228.000. At the end of 2009 the eastern tube had progressed to shortly before the boundary limit.

The further adjustment of the boundary limit from Sedrun in the direction of Faido initiated in 2008 signified the incidence of a further 750,000 t of excavated material and required an adaptation of the material management concept with regard to landfills. Additional storage opportunities close to the construction site were required for these considerable added quantities as it is not possible to remove the material to a sufficient extent either by rail or truck. Solutions that met with approval were arrived at in collaboration with all interest groups such as the municipality, region, canton, local residents, environment organisations and the sanctioning authorities. On September 30, 2009 the new Claus Surrein landfill site began operating. Work at the existing Val Bugnel site has largely been concluded including recultivation (Fig. 6).

### 1.5 Faido Part-Section

Following inspection of the two tunnel boring machines during the construction site holiday period in summer 2009 the drive progressed well. In September 2009 the TBM in the advance eastern tube crossed the Tessino–Graubünden cantonal boundary. Undertunnelling took place in the Gotthard Massif 2,000 m beneath the Piz Scai (GR) and the Alp Scaione (TI). Medelser granite is predominant here in the southern reaches of the Gotthard Massif. As granite is a rock, which penetrated older, already existing rock in a more or less liquid state, displacing and fusing it, it is impossible to forecast the

prognostiziert. Die bautechnisch ungünstige Strecke wurde also noch länger.

Parallel zu den Vortriebs- und Sanierungsarbeiten erfolgten die Innenausbauarbeiten in der Multifunktionsstelle Faido. Im Abluftsystem West sind die Arbeiten in allen Abluftschächten abgeschlossen. Momentan erfolgt der Ausbau des Abluftsystems Ost (Bild 7).



7 Reprofilierungsarbeiten in Faido  
Reprofiling work at Faido

### 1.6 Teilabschnitt Bodio

Die Rohbauausrüstung ist abgeschlossen, alle Querschläge sind komplett ausgerüstet. Nach dem Rückbau der Schienen und der Tunnelreinigung erfolgte am 17. Dezember die technische Prüfung des Rohbaus und anschliessend die Übergabe an den Bauherrn AlpTransit Gotthard AG. Damit stand die Weströhre termingerecht für den Einbau der bahntechnischen Ausrüstung sowie für die spätere Teststrecke bereit (Bild 8).



8 Übergabebereite Tunnelröhre Bodio  
Tunnel bore ready to be handed over at Bodio

extent of such a rock zone. This proved to be true once more in the case of the Gotthard Base Tunnel, for the granite extends substantially further towards the north and is roughly twice as thick as expected. At the end of 2009 the drives were located 2,500 m to the north of the forecast transition but still in Medelser granite.

From the beginning of June until the end of August 2009 redevelopment work was carried out to the north of the MFS (vault redevelopment over 242 m, redeveloping and concreting of the floor over 211 m). Following the conversion work necessary in the eastern bore, redevelopment work was executed in the western one as from mid-September. This was the outcome of the unfavourable conditions prevailing in the Penninic gneiss zone featuring Lucomagno gneisses. In the northern part, layers stand upright whereas they lie flat in the southern one. On account of the major overburden amounting to more than 1,500 m the flat bedding in this really relatively favourable rocks posed a negative effect. It led to considerable technical difficulties in construction. In addition on account of the fault at an angle to the tunnel the transition from the upright to the flat-lying Lucomagno gneisses took place some 500 m further to the north than forecast. The technical unfavourable stretch influencing construction was thus even longer.

The interior furnishing work in the Faido MFS took place parallel to the driving and redevelopment operations. Work in all exhaust air shafts for the exhaust air system West has been concluded. At present the exhaust air system East is being furnished (Fig. 7).

### 1.6 Bodio Part-Section

Furnishing the roughwork has been concluded, all cross-passages have been completely equipped. After retrieving the rails and cleaning the tunnel the technical examination of the roughwork was undertaken on December 17 and subsequently handed over to the client – the AlpTransit Gotthard AG. As a result the western bore was ready for being



9 Spatenstich Centro d'esercizio di Pollegio (CEP) in Bodio

First clod of earth turned for the Centro d'esercizio di Pollegio (CEP) at Bodio

### 1.7 Teilabschnitt Gotthard Süd (Biasca)

Am 28. November 2009 fand der Spatenstich für die Betriebsleitzentrale der SBB statt (Bild 9). Das aus einem Architektenwettbewerb siegreich hervorgegangene Projekt trägt den Namen „Periscopio“. Die neue Betriebsleitzentrale oder „Centrale d’esercizio di Pollegio“ (CEP) steht in unmittelbarer Nähe des AlpTransit-Infocentros (Bild 10). Die Zentrale wird den Bahnverkehr auf der Gotthard-Achse zwischen Chiasso und Arth-Goldau, in den neuen Basistunneln, zwischen Bellinzona-Luino und Bellinzona-Locarno steuern.

### 2 Bahntechnik am Gotthard-Basistunnel: Stand der Arbeiten (Ende 2009)

Ende April 2008 unterzeichneten die AlpTransit Gotthard AG und die Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard den Werkvertrag zum Einbau der bahntechnischen Ausrüstung im Gotthard-Basistunnel. Mit einer Vertragssumme von rd. 1,7 Mrd. CHF ist dies der grösste Vertrag der AlpTransit Gotthard AG und auch weltweit einer der grössten Verträge im bahntechnischen Bereich.

Im Mai 2009 begann Transtec Gotthard, die Zufahrtsgleise vom Bahnhof Biasca bis zum Installationsplatz der Bahntechnik zu bauen. Am 10. September 2009 startete der Gleisbau für die offene Strecke Süd (Zufahrt zum Hauptportal). Diese gehört zum ersten Teilabschnitt der Bahntechnik. Gleichzeitig wird der Installationsplatz Süd auf einer Fläche von rd. 70 000 m<sup>2</sup> in Biasca aufgebaut. Es entstehen Unterkünfte für über 200 Arbeiter, eine Kantine, Montagehallen für die Vormontage der Bahntechnikkomponenten, Lagerhallen und Lagerflächen im Freien, eine Leitstelle zur Überwachung des Baustellenverkehrs im Tunnel und diverse Werkgleisanlagen. Bis April 2010 war diese temporäre Infrastruktur fertig – sie wird den Bahntechnikereinbau im Tunnel logistisch sicherstellen. Der Einbau der bahntechnischen Ausrüstung in der Weströhre des Gotthard-Basistunnels ab dem Südportal Bodio bis nach Faido beginnt im Mai 2010. Es geht u. a. um insgesamt 17 km Fahrbahn, Fahrleitung, Stromversorgung, Kabel, Telekommunikation, Sicherungsanlagen und Einrichtungen in den Querschlägen. Ab 2012 werden umfangreiche Testfahrten auf dem Abschnitt durchgeführt.

### 3 Ceneri-Basistunnel: Stand der Arbeiten (Ende 2009)

Die AlpTransit Gotthard AG und die italienisch-schweizerische Arbeitsgemeinschaft Consorzio Condotte Cossi unterzeichneten am 20. Oktober 2009 den Werkvertrag für das Hauptlos der Bauarbeiten am Ceneri-Basistunnel (Los 852). Die Arbeitsgemeinschaft Condotte Cossi setzt sich aus den Unternehmungen Società Italiana per Condotte d’Acqua S.p.A. (Roma), Cossi S.p.A. (Sondrio) und Cossi S.A. (Lugano) zusammen. Das Auftragsvolumen für das Hauptlos des Ceneri-Basistunnels beträgt rd. 1 Mrd. CHF. Die Arbeiten umfassen in erster Linie den Vortrieb der beiden Einspurröhren



10 Fotomontage künftige Betriebsleitzentrale (CEP)  
Photomontage of the future operational control centre (CEP)

equipped with rail technology as well as for the subsequent test section according to schedule (Fig. 8).

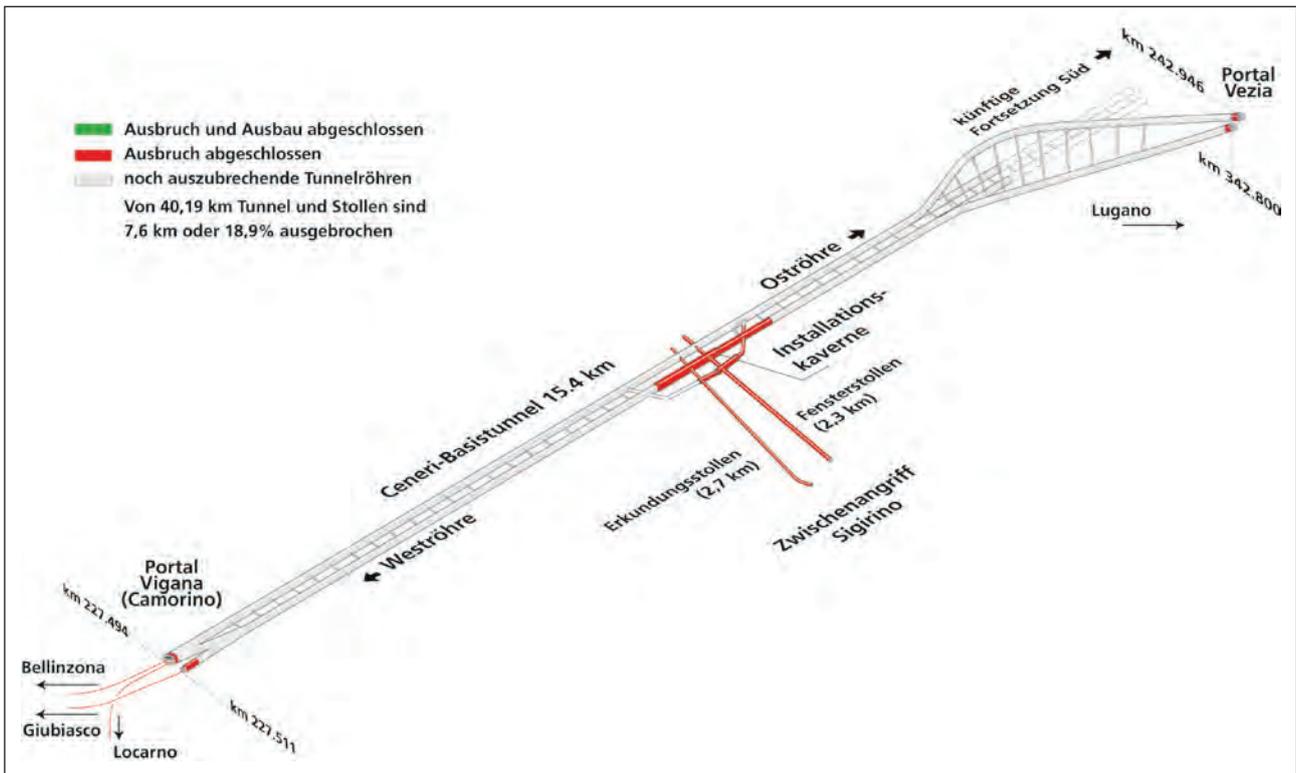
### 1.7 Gotthard South (Biasca) Part-Section

On November 28, 2009 the first clod of earth was turned for the SBB operational control centre (Fig. 9). The project bearing the name “Periscopio” successfully emerged from an architects’ competition. The new operational control centre or “Centrale d’esercizio di Pollegio” (CEP) is located in the immediate vicinity of the AlpTransit InfoCenter (Fig. 10). The control centre will guide rail traffic on the Gotthard axis between Chiasso and Arth-Goldau, in the new Base Tunnels, between Bellinzona-Luino and Bellinzona-Locarno.

### 2 Rail Technology at the Gotthard Base Tunnel: Stage of Work by end of 2009

At the end of April 2008 the AlpTransit Gotthard AG and the Transtec Gotthard JV signed the works contract for installing the rail technical equipment in the Gotthard Base Tunnel. Amounting to around CHF 1.7 bill. this represents the AlpTransit Gotthard’s largest contract and also one of the biggest contracts on the rail technology sector worldwide.

In May 2009 Transtec Gotthard began constructing the access tracks from Biasca Station to the rail technology installation yard. On September 10, 2009 work started on the tracks for the open section South (access to the main portal). This belongs to the first part-section of the rail technology. At the same time the installation yard South is being set up on an area of some 70,000 m<sup>2</sup> in Biasca. Living quarters for more than 200 workers, a canteen, assembly halls for preassembling the rail technology components, storage halls and outside storage areas, a control centre to supervise the construction site traffic in the tunnel and various service track facilities are being produced. This temporary infrastructure was completed by April 2010 – it will secure the installation of rail technology in the tunnel in logistic terms. Installation of the rail technical equipment in



11 Stand der Arbeiten am Ceneri-Basistunnel am 1. Februar 2010  
 Stage reached by work on the Ceneri Base Tunnel on February 1, 2010

des Ceneri-Basistunnels ab dem Zwischenangriff Sigirino in Richtung Norden und Süden. Ende November 2009 wurden in Sigirino die ersten Baustellenareale an die Arbeitsgemeinschaft übergeben. Der eigentliche Tunnelvortrieb soll bis 2015 dauern. Anschliessend wird die Bahntechnik eingebaut. Der kommerzielle fahrplanmässige Betrieb des Ceneri-Basistunnels ist für Ende 2019 geplant (Bilder 11 und 12).

the western bore of the Gotthard Base Tunnel from the Bodio south portal to Faido was due to start in May 2010. This concerns for instance a total of 17 km of track, the overhead contact system, power supply, cables, telecommunications, safety facilities and installations in the cross-passages. As from 2010 extensive test runs will be carried out over the section.

### 3 Ceneri Base Tunnel: Stage of Work by end of 2009

The AlpTransit Gotthard AG and the Italo-Swiss Consorzio Condotte Cossi JV signed the works contract for the main contract section for constructing the Ceneri Base Tunnel (Contract Section 852) on October 20, 2009. The Condotte Cossi JV consists of the companies Società Italiana per Condotte d'Acqua S.p.A. (Rome), Cossi S.p.A. (Sondrio) and Cossi S.A. (Lugano). The main contract section of the Ceneri Base Tunnel is worth some CHF 1 bill. First and foremost the work constitutes driving the two single-track bores for the Ceneri Base Tunnel from the Sigirino intermediate point of attack towards the north and south. At the end of November 2009 the first construction site areas in Sigirino were handed over to the JV. The actual tunnel excavation is expected to last until 2015. Then the rail technology will be installed. Commercial services through the Ceneri Base Tunnel are scheduled to be introduced towards the end of 2019 (Figs. 11 and 12).



12 Werkvertragsunterzeichnung Hauptbaulos Ceneri-Basistunnel mit W. Bernardi, R. Simoni, D. Astaldi, R. Cossi (v. l. n. r.)

Signing the works contract for the Ceneri Base Tunnel main contract section with W. Bernardi, R. Simoni, D. Astaldi, R. Cossi (from left to right)

### 3.1 Camorino

Im Bau stehen die neue Brücke über die Morobbia entlang der SBB-Linie beim Bahnhof Giubiasco und der A2 sowie seit September 2009 auch die neue Unterführung der Kantonsstrasse. Zudem haben Vorbereitungsarbeiten zum Bau der neuen Brücke über die A2 (Los 771) begonnen.

### 3.2 Vigana

Angesichts der geringen Überlagerung erfolgte der heikle Vortrieb für die Bretella unter der Autobahn A2 mit besonderer Vorsicht und in sehr enger Koordination mit dem ASTRA. Anfang Dezember 2009 war der Vortrieb bereits ca. 40 m von der SBB-Linie entfernt. Die Vorbereitungsarbeiten Cunicolo West (Erstellen der Fundamente für das doppelspurige Tunnelportal) konnten bereits im Dezember 2009 abgeschlossen werden, die Vorbereitungsarbeiten im Cunicolo Ost waren im Gang. Zudem wurde die Rampe für die Kalottenerweiterung vorbereitet (Bild 13).

### 3.3 Sigirino

Die Vortriebe in der Caverna operativa West Richtung Norden und in der Tunnelröhre West Richtung Süden sind seit 23. Oktober 2009, resp. Ende November 2009, beendet. Nach der Übernahme der Baustelle Sigirino durch die Arbeitsgemeinschaft Condotte Cossi Ende November haben am 4. Januar 2010 die Untertagearbeiten im Rahmen des Loses 852 begonnen.

### 3.4 Vezia

Ende Oktober 2009 waren auch die Aushub- und Ausbrucharbeiten im Portalbereich unterhalb der Villa Negroni abgeschlossen. Die Baustelle wurde Ende 2009 geräumt. Im März 2010 beginnen die Vorbereitungsarbeiten für den Gegenvortrieb Richtung Sigirino. Es laufen die Arbeiten für die Anpassung der SBB-Stammlinie südlich des künftigen Südportals (Bild 14).



**14** Fertiggestellter Voreinschnitt für den Tagbautunnel in Vezia  
Completed advance cutting for the cut-and-cover tunnel at Vezia



**13** Nordportale Ceneri-Basistunnel mit darüber hinwegführender Autobahn A2

*Ceneri Base Tunnel north portals with the A2 motorway passing over them*

### 3.1 Camorino

The new bridge over the Morobbia along the SBB line at Giubiasco Station and the A2 has been under construction as well as the new underpass for the cantonal road since September 2009. In addition preparatory work for building the new bridge over the A2 (contract section 771) has begun.

### 3.2 Vigana

In view of the shallow overburden the tricky drive for the link road beneath the A2 motorway had to be tackled with great caution and in very close cooperation with the ASTRA. At the beginning of December 2009 the drive was only some 40 m away from the SBB line. The preparatory work at Cunicolo West (producing the foundations for the twin-track tunnel portal) were concluded in December 2009, preparatory work at Cunicolo East was in progress. Furthermore the ramp for enlarging the crown was prepared (Fig. 13).

### 3.3 Sigirino

The drives in the Caverna operativa West towards the north and in the western tunnel bore towards the south have been in progress since October 23, 2009 and the end of November 2009 respectively. After the Sigirino construction site was taken over by the Condotte Cossi JV at the end of November underground construction work started on contract section 852 on January 4, 2010.

### 3.4 Vezia

At the end of October 2009, the excavation and mucking out operations in the portal zone below the Villa Negroni had also been completed. The construction site was cleared at the end of 2009. In March 2010 the preparatory operations are starting for the counter-drive in the direction of Sigirino. Work is progressing on adapting the SBB existing line to the south of the future portal (Fig. 14).

#### 4 Standortbestimmung

Im Jahre des Hauptdurchschlages des längsten Eisenbahntunnels der Welt erscheint es mir angezeigt, einen kurzen Rück- sowie einen Ausblick bis zur Inbetriebsetzung des Gotthard-Basistunnels aus Sicht der Bauherrschaft zu machen.

##### 4.1 Rückblick

Die meisten der am Projekt Beteiligten haben ihren individuellen Bezug zu diesem Vorhaben, mit dem ihre persönliche Geschichte des Projekts beginnt. Mir geht es dabei nicht anders. Doch als ich das erste Mal mit der Idee eines Gotthard-Basistunnels in Kontakt kam, ahnte ich nicht im Entferntesten, welche Rolle dieser Tunnel in meinem Berufsleben dereinst spielen sollte.



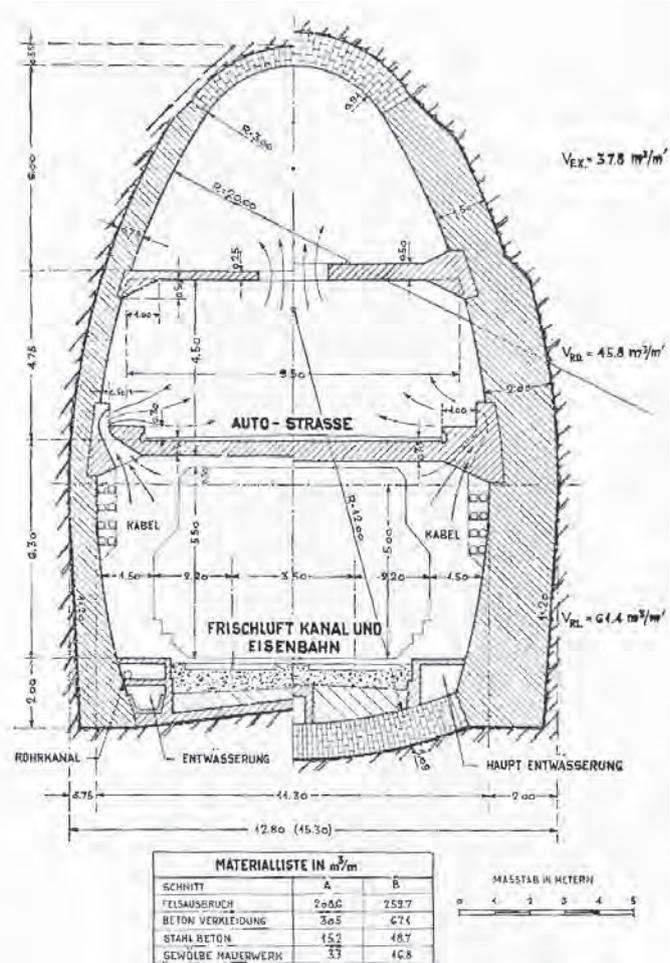
15 Projektskizzen zu einem Gotthard-Basistunnel aus den 1940er-Jahren, aus „Drei Generationen Bauingenieure“  
Project drawings for a Gotthard Base Tunnel from the 1940s, extracted from "Drei Generationen Bauingenieure"

#### 4 Determining the Position

In the year marking the breakthrough of the world's longest rail tunnel it appears appropriate to me to provide both a short review as well as a preview pertaining to the commissioning of the Gotthard Base Tunnel seen from the client's viewpoint.

##### 4.1 Review

Most of those involved in the project have their own special relationship to it, with which their personal story regarding the project begins. The same applies to me. However when I was first confronted with the concept of a Gotthard Base Tunnel, I had absolutely no idea, what sort of role this tunnel would subsequently play in my professional life.



<sup>1</sup> Karl Mommsen, „Drei Generationen Bauingenieure – Das Ingenieurbüro Gruner und die Entwicklung der Technik seit 1860“, Basel 1962

<sup>1</sup> Karl Mommsen, „Drei Generationen Bauingenieure – Das Ingenieurbüro Gruner und die Entwicklung der Technik seit 1860“, Basle 1962

Es war im Frühjahr 1985, als ich meine erste Arbeitsstelle als junger Ingenieur bei Gruner in Basel antrat. Anlässlich des obligaten Begrüßungsbesuchs beim damals bereits im Pensionsalter stehenden, aber immer noch aktiven Georg Gruner wurde mir unter anderem das Buch „Drei Generationen Bauingenieure“<sup>1</sup> geschenkt, das die hundertjährige Firmengeschichte bis zum Jubiläumsjahr 1962 festhielt. Darin werden diverse Projektstudien für einen Gotthard-Basistunnel dargestellt, u. a. ein kombinierter Auto- und Bahntunnel zwischen Amsteg und Bodio mit einer Scheitelhöhe von 570 m ü. M., wie von Eduard Gruner in den ersten Jahren nach Ende des Zweiten Weltkriegs vorgeschlagen (Bild 15).

Bekanntlich wurde dann der Strassentunnel zwischen Göschenen und Airolo zuerst realisiert. Rund 20 Jahre nach jenen Projektideen haben mehrere Studiengruppen das Thema Basistunnel vertieft. Es begann mit dem „Generellen Projekt Februar 1967“ der „Kommission Eisenbahntunnel durch die Alpen“ und führte über das „Allgemeine Bauprojekt 1972/74“ der SBB zur Zweckmässigkeitsprüfung von 1988. Im Mai 1989 entschied der Bundesrat die sogenannte Netzvariante, bestehend aus den beiden Kernelementen Lötschberg-Basistunnel und Gotthard-Basistunnel, dem Volk zum Beschluss vorzulegen. Die Vorlage wurde im September 1992 angenommen. Im Jahre 1993 wurde die Projektverantwortung für die Gotthard-NEAT der SBB übertragen. Mit der Gründung der AlpTransit Gotthard AG am 12. Mai 1998 hat der Bund dann das Besteller-Ersteller-Modell mit Verantwortlichkeiten ausserhalb der künftigen Betreibergesellschaft umgesetzt.

Die darauf folgende Projektentwicklung war durch viele Meilensteine geprägt, die den Weg bis zum bevorstehenden Hauptdurchschlag ebneten. Ich möchte nur einige wenige in Erinnerung rufen:

- 1995 wurde das Tunnelsystem mit 2 Einspurröhren, 2 Multifunktionsstellen und rd. 180 Querschlägen festgelegt.
- 1997 konnten mittels Sondierbohrungen positive Erkenntnisse über den Baugrund in der Piora-Mulde auf Tunnelniveau gewonnen werden.
- 1999 wurde im Februar in Sedrun mit den ersten Bauarbeiten für bleibende Anlagen des Gotthard-Basistunnels begonnen.
- 2000 konnte der erste Schacht Sedrun fertiggestellt werden.
- 2002 begannen die Vortriebsarbeiten in Bodio sowie die Ausbrucharbeiten an der Multifunktionsstelle Faido.
- 2003 begannen die Vortriebe von Amsteg Richtung Sedrun.
- 2006 erreichten die TBM von Bodio her kommend die Multifunktionsstelle Faido, es kam damit zu den ersten Durchschlagsfeiern am Gotthard.
- 2007 erfolgten die Durchschläge zwischen Amsteg und Sedrun, 9 und 6 Monate früher als geplant.
- 2008 wurde in Luzern der GU-Vertrag für die bahntechnische Ausrüstung unterzeichnet und die Piora-Mulde ein erstes Mal durchbohrt.

It was spring 1985 when I began my first job as a young engineer with Gruner in Basle. During the obligatory introductory visit to meet Georg Gruner, who at the time had already reached retirement age but was nonetheless still active, I was among other things presented with the book “Drei Generationen Bauingenieure”<sup>1</sup> (Three Generations of Civil Engineers), which examined a century of company history up until its jubilee year 1962. It contained various project studies for a Gotthard Base Tunnel, including a combined road and rail tunnel between Amsteg and Bodio with an apex height of 570 m ASL, as was proposed by Eduard Gruner in the first few years following the conclusion of World War Two (Fig. 15).

As is known the road tunnel between Göschenen and Airolo was first accomplished. Some 20 years after these project concepts, several study groups further investigated the theme of a Base Tunnel. This began with the “General Project February 1967” of the “Commission for a Rail Tunnel through the Alps” and led via the “General Construction Project 1972/74” by the SBB to the 1988 adequacy test. In May 1989 the Federal Council decided to present the so-called network variant, consisting of the two core elements Lötschberg Base Tunnel and Gotthard Base Tunnel, to the population to decide on in a referendum. The resolution was accepted in September 1992. In 1993 the project responsibility for the Gotthard NEAT was passed to the SBB. With the establishment of the AlpTransit Gotthard AG on May 12, 1998 the federal government then created the commission-compilation model with responsibilities outside the future operating company.

The subsequent project development was marked by many milestones, which levelled the path towards the forthcoming main breakthrough. I should like to mention just a few of them:

- In 1995 the tunnel system with 2 single-track bores, 2 multi function stations and around 180 cross-passages was established.
- In 1997 exploratory drillings were able to provide positive findings relating to the subsurface in the Piora Basin at tunnel level.
- In 1999 initial work on permanent facilities for the Gotthard Base Tunnel was embarked on in February at Sedrun.
- In 2000 the first shaft at Sedrun was completed.
- In 2002 driving operations started at Bodio as well as excavation work at the Faido MFS.
- In 2003 the drives from Amsteg towards Sedrun commenced.
- In 2006 the TBMs reached the Faido MFS coming from Bodio, thus heralding in the first celebrations commemorating a breakthrough at the Gotthard.
- In 2007 the breakthroughs between Amsteg and Sedrun took place, respectively 9 and 6 months earlier than scheduled.

- 2009 erfolgten nach sehr eindrücklichen Vortriebsleistungen die Durchschläge von Erstfeld Richtung Amsteg.

### 5 Ausblick

Wie geht es nun weiter? Im Moment befinden wir uns in einer speziellen Phase, während der sowohl Vortriebs-, Ausrüstungs- als auch Bahntechnikerarbeiten ausgeführt werden. Diese Phase geht – so hoffen wir – in wenigen Monaten mit den Hauptdurchschlägen zwischen Sedrun und Faido zu Ende.

Der Einbau der Bahntechnik in der Weströhre in Bodio soll bis Ende 2012 abgeschlossen sein. Danach folgt eine intensive Testphase, die über Verbesserungspotenziale für den Einbau in den übrigen Abschnitten Aufschluss geben soll.

Die Fertigstellung der übrigen Rohbaulose ist wie folgt geplant: Erstfeld 2012, Sedrun inkl. Multifunktionsstelle und Schächten sowie Bodio/Faido 2014. Der Einbau der Bahntechnik soll dann im Herbst 2016 abgeschlossen sein. Bis zur fahrplanmässigen Inbetriebnahme auf den Fahrplanwechsel im Dezember 2017 folgen dann intensive Abnahme- und Testphasen sowie der Probetrieb.

Bis zum Sommer 2010 überprüft die AlpTransit Gotthard AG gemeinsam mit den am Projekt beteiligten Partnern zudem die technische und finanzielle Machbarkeit einer Beschleunigung mit dem Ziel einer um 1 Jahr vorgezogenen kommerziellen Inbetriebnahme.

- In 2008 the general contractor contract for the rail technical equipment was signed in Lucerne and the Piora Basin penetrated for the first time.
- In 2009 the breakthroughs from Erstfeld towards Amsteg occurred following extremely impressive rates of advance.

### 5 Preview

How will things now progress? At present we find ourselves in a special phase during which driving, furnishing and rail technical operations are being tackled. This phase will – we hope – come to an end in a few months with the main breakthroughs between Sedrun and Faido.

The installation of the rail technology in the western tube at Bodio is scheduled to be finished by the end of 2012. This will be followed by an intensive test phase, which is intended to provide potential improvements for completion of the other sections.

The completion of the other roughwork contract sections is planned as follows: Erstfeld 2012, Sedrun including multi function station and shafts as well as Bodio/Faido 2014. The installation of the rail technology is due to be concluded in autumn 2016. Intensive acceptance and test phases as well as trial operation will then be executed until scheduled services are introduced to coincide with the change in timetable in December 2017.

Up until summer 2010 the AlpTransit Gotthard AG together with its partners involved in the project will also investigate the technical and financial feasibility of accelerating the programme with the aim of introducing commercial services a year earlier than originally planned.

Martin Herrenknecht, Dr.-Ing. E.h.,  
Herrenknecht AG, Schwanau/D

Karin Bäßler, Dr., Herrenknecht AG, Schwanau/D

Michael Knabe, Dipl.-Ing., Herrenknecht AG,  
Schwanau/D

## Der Weg zum Gotthard

### Entwicklung der Tunnelvortriebsmaschinen für die NEAT

Bei den Projekten Lötschberg- und Gotthard-Basistunnel sind bis dato über 100 km Tunnel mit Durchmessern von grösser 8,8 m durch Hartgesteins-Grippermaschinen von Herrenknecht aufgeföhren worden. Dabei wurde hinsichtlich des Durchmessers, der extremen Gebirgsüberlagerungen, des blockigen und druckhaften Gebirges mit Konvergenzen Neuland betreten. Im Rahmen dieses Beitrags werden Erfahrungen und Entwicklungen der TBM näher erläutert.

## The Way to the Gotthard

### Development of the Tunnel Boring Machines for the New Routes crossing the Alps (NEAT)

So far in excess of 100 km of tunnel has been driven by Herrenknecht hard rock gripper machines with diameters of more than 8.8 m for the Lötschberg and Gotthard Base Tunnel projects. In this connection new ground was broken regarding the diameter, the extreme rock overburdens, blocky and squeezing rock with convergences. Within the scope of this report TBM findings and developments are examined more closely.

#### 1 Einleitung

Der maschinelle Tunnelvortrieb im Hartgestein ist heute hauptsächlich durch den Einsatz offener Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit Gripperverspannung oder geschildeten TBM gekennzeichnet. Der Fokus dieser Veröffentlichung richtet sich auf die einfach verspannten Gripper-TBM, die sogenannten offenen TBM, mit grossem Durchmesser.

Die folgende Darstellung der Projekte Tschärner, Lötschberg- und Gotthard-Basistunnel zeigt die Leistungsfähigkeit dieses Maschinentyps und belegt die Umsetzung der Entwicklungsanstrengungen, ausgehend vom Einsatz einer Gripper-TBM mit einem Ausbruchdurchmesser von 9,53 m für den Erschliessungsstollen Tschärner in Péry-Reuchenette bis hin zum aktuellen Hartgesteinsvortrieb am Gotthard-Basistunnel für insgesamt ca. 85 km gebohrter Tunnel durch anspruchsvollstes Gebirge.

Bei den beiden Grossprojekten Lötschberg- und Gotthard-Basistunnel wurde hinsichtlich des Durchmessers der Maschinen, der Gebirgsüberlagerungen von über 2500 m, des blockigen und druckhaften Gebirges mit Konvergenzen von nahezu 1 m im Durchmesser im L1- und L2-Bereich Neuland betreten. Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden die Erfahrungen und die schrittweise Entwicklung der ausgeführten Projekte näher erläutert.

#### 1 Introduction

Mechanised tunnelling in hard rock is mainly characterised nowadays by the application of open tunnel boring machines (TBMs) with braced grippers or TBMs with shields. The focus of this report is directed at the single braced gripper TBM, the so-called open TBM, with large diameter.

The following presentation of the Tschärner, Lötschberg and Gotthard Base Tunnels reveals the capabilities of this type of machine and testifies to the application of development efforts – starting from the utilisation of a gripper TBM with 9.53 m external diameter for the Tschärner exploratory heading in Péry-Reuchenette right up to the current hard rock drive at the Gotthard Base Tunnel for a total of 85 km of bored tunnel through sophisticated rock.

In the case of the 2 major projects Lötschberg and Gotthard Base Tunnels new ground was broken regarding the diameter of the machines, the rock overburdens in excess of 2,500 m, blocky and squeezing rock with convergences of practically 1 m in diameter in the L1 and L2 sector. Within the scope of this publication the experiences and step-by-step development of the projects tackled are explained in more detail.

## En route vers le Saint-Gotthard

### Développement des tunneliers pour la NLFA

Dans les projets du tunnel de base de Lötschberg et du Saint-Gotthard, plus de 100 km de tunnel d'un diamètre de plus de 8,8 m ont été abattus jusqu'à maintenant par des grippers pour roche dure de Herrenknecht. Ce fut une avance en terrain inconnu en ce qui concerne le diamètre, les couvertures rocheuses extrêmement importantes, les roches en blocs et poussantes avec convergences. La présentation aborde et commente en détail les expériences et les développements des tunneliers.

## La via per il Gottardo

### Sviluppo delle fresatrici meccaniche (TBM) per la NEAT

Nei progetti della galleria di base di Lötschberg e del San Gottardo fino ad ora sono stati scavati oltre 100 km di gallerie con un diametro di oltre 8,8 m con delle fresatrici meccaniche Herrenknecht per roccia dura. Si è così esplorato un terreno sconosciuto per quanto riguarda il diametro, i livetti di copertura rocciosa estremamente elevati, il massiccio soccioso fratturato in blocchi e spinte con convergenze. La presentazione da sequenza affronta e commenta in dettaglio le esperienze e gli sviluppi nel campo delle fresatrici meccaniche.

## 2 Erschliessungstollen Tscharnen

Im Hinblick auf die anstehenden NEAT-Projekte mit ähnlichen Tunneldurchmessern wurde für das Projekt Tscharnen in der Schweiz eine einfach verspannte Gripper-TBM mit einem Ausbruchdurchmesser von 9,53 m eingesetzt. Ziel des Einsatzes der Gripper-TBM war das Auffahren eines 2300 m langen Zugangstollens zur Erschliessung eines neuen Gewinnungsgebietes für Kalk für die Zementherstellung der Vigier Cement AG in Péry-Reuchenette. Der Tunnel, der von der Marti Tunnelbau AG in mittel- bis grobbankigen Kalken aufgefahren wurde, hat eine Steigung von 2 bis 9,5 %. Die hier eingesetzte Maschinenteknik galt als Vorreiter für das anspruchsvolle NEAT-Projekt und entspricht mit vergleichbarem Ausbruchdurchmesser der Grundkonzeption der TBM am Lötschbergtunnel. Um eine Optimierung des Schneidverhaltens bei unterschiedlichen Gesteinsverhältnissen zu ermöglichen, wurden Elektromotoren mit Frequenzumrichter eingesetzt; somit konnte auf die sonst üblichen Anfahrkupplungen verzichtet werden. Die Gripper-TBM war durch einen vergleichsweise kurzen Spanschild hinter dem Bohrkopf charakterisiert und ermöglichte so eine möglichst frühe Felsicherung im Vortriebsbereich. Die TBM war mit Ankerbohrlafetten ausgestattet. Die Bedienung der beiden Ankerbohrlafetten erfolgte von mobilen Schutzkörben aus.

Die Felsstrecken wurden mit dem Einbau einer Systemankerung (L = 3,5 bis 4 m, 6 bis 10 Stück/m), einem Kopfschutz mit Netzen und einer zwischen 8 und 12 cm dicken Stahlfaserspritzbetonsicherung gesichert. In stark gebrüchigem Fels oder in Lockergesteinsabschnitten waren der Einbau von HEB-160-Stahlbögen und Schalungsgittern sowie das Überspritzen der Sicherungselemente mit 6 cm Spritzbeton vorgesehen. Die im Vortrieb gewonnenen Erfahrungen resultierten in Optimierungseinsätzen insbesondere im L1\*-Sicherungsbereich. Mit Beginn des regulären Vortriebs konnten gleichmässige Vortriebsleistungen von 60 m/Woche bei einschichtigem 5-Tage-Betrieb erzielt werden.

## 2 Tscharnen Exploratory Heading

In view of the current NEAT projects with similar tunnel diameters, a single braced gripper TBM with 9.53 m external diameter was applied for the Tscharnen project in Switzerland. The objective of using the gripper TBM was to drive a 2,300 m long access tunnel to open up a new extraction field for lime for cement production by Vigier Cement AG at Péry-Reuchenette. The tunnel, which was driven by the Marti Tunnelbau AG in medium to thick-bedded limes, possesses a 2 to 9.5 % gradient. The engineering technology that was applied here was seen as a trail-blazer for the NEAT project and corresponds to the basic conception for the Lötschberg Base Tunnel TBMs with comparable diameters. In order to optimise the cutting behaviour given different rock conditions, electric motors with frequency converters were applied so that it was possible to do without the usual start-up couplings. The gripper TBM was characterised by a relatively short span shield behind the cutterhead thus enabling the rock in the driving zone to be secured as soon as possible. The TBM was fitted with anchor drill rigs. The 2 anchor drill rigs were operated from mobile protection cages.

The rock sections were secured by installing an anchorage system (l = 3.5 to 4.0 m, 6 to 10/m), overhead protection with netting and a between 8 and 12 cm thick steel fibre shotcrete support. In highly friable rock or in soft ground sections the installation of HEB 160 steel arches and formwork meshing was foreseen as well as spraying the support elements with 6 cm of shotcrete. The findings obtained during the excavation resulted in optimisation applications particularly in the L1\* support section. With the start of the regular drive uniform rates of advance amounting to 60 m/week for a 5-day operation were attained.

### 3 Einsatz von zwei grossen Gripper-TBM für den Lötschberg-Basistunnel, Lose Steg und Raron

Das Tunnelsystem des Lötschberg-Basistunnels besteht aus zwei richtungsgetretenen, einspurigen Eisenbahntunneln mit einem Regelabstand zwischen den beiden Röhren von 40 m. Die beiden den TBM-Vortrieb betreffenden Tunnellose gliedern sich in die Abschnitte Steg (8,9 km) und Raron (10 km). Die eingesetzten einfach verspannten Gripper-TBM wurden an die in den Ausschreibungsunterlagen beschriebenen geologischen Verhältnisse angepasst und entsprachen dem neuesten Stand der Technik. Der Bohrkopf (Durchmesser 9,43 m) war entsprechend dem damaligen Stand der Technik mit 60 Stück 17"-Schneidrollen bestückt. Die 17"-Schneidrollen kombinieren hohe Schneideffizienz mit guter Verschleisscharakteristik und Handhabbarkeit. Des Weiteren lagen für diese Schneidrollengrösse bereits zum damaligen Zeitpunkt ausreichende Einsatzerfahrungen mit „backloading designs“ vor.

Der Bohrkopfschild ist sehr kurz gehalten, um eine sehr frühe Rundumsicherung des Gebirges, möglichst nahe hinter dem Bohrkopf, zu realisieren, sodass auch der Einbau von Stahlmatten als permanenter Kopfschutz direkt hinter dem kurzen Bohrkopfschild ausgeführt werden konnte (Bild 1).

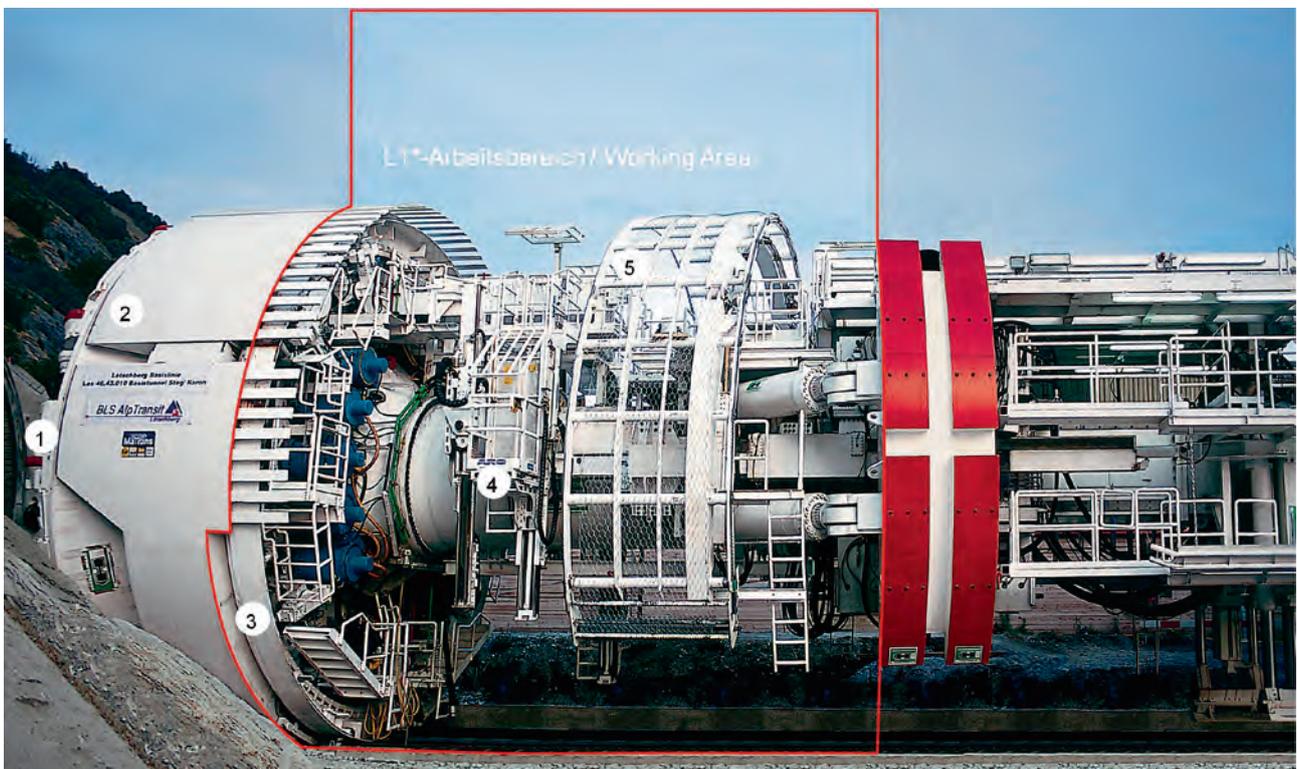
Geologisch bedingt stellte das Projekt hinsichtlich Überdeckung, tektonischer Spannungen und Abrasivität im Durchmesserbereich von 9,4 m eine Besonderheit dar. Die

### 3 Application of two large Gripper TBMs for the Lötschberg Base Tunnel, Steg and Raron Contract Sections

The Lötschberg Base tunnel system of tunnels consists of 2 directionally-separated, single-track rail tunnels with the 2 bores set some 40 m apart. The 2 tunnel sections for TBM driving are split up into the sections Steg (8.9 km) and Raron (10 km). The applied single braced gripper TBMs were adapted to the geological conditions described in the tendering documents and corresponded to the latest state of the art. The cutterhead (9.43 m diameter) was fitted with sixty 17" cutters in keeping with the latest state of the art at the time. The 17" cutters combine a high cutting efficiency with good wear-and-tear resistance and ease of handling. Furthermore at the time sufficient experience with backloading designs was available at the time for this size of cutter roller.

The cutterhead shield has a very compact design so that the rock can be supported all-round at a very early stage, as close behind the cutterhead as possible so that steel mats can be placed as permanent overhead protection directly behind the short cutterhead shield (Fig. 1).

Geologically speaking this project represented a novelty with respect to the overburden, tectonic stresses and abrasiveness in the 9.4 m diameter area. The geology in the Steg contract section for instance turned out to be trickier than forecast. First of all the blockiness of the rock at the face con-



1 Hauptmerkmale einer Gripper-TBM (1 Bohrkopf, 2 Bohrkopfschild, 3 Fingerschild, 4 Ankerbohrgeräte, 5 Mattenversetzgerät)  
Main features of a gripper TBM (1 cutterhead, 2 cutterhead shield, 3 finger shield, 4 anchor drilling units, 5 mat setting unit)

Geologie im Los Steg zum Beispiel erwies sich schwieriger als prognostiziert. Zum einen behinderte die Blockigkeit des Gesteins an der Ortsbrust erheblich den Abbau und den Abtransport des Aushubmaterials, zum anderen überstieg die zunehmende Abrasivität des Gesteins bei Weitem die Vorhersagen und führte zu erhöhtem Verschleiss an den Abbauwerkzeugen und den Räumern des Bohrkopfes. Resultat waren häufigere bzw. ungeplante Werkzeugwechsel, die zu einer Verringerung der zur Verfügung stehenden Vortriebszeit führten.

In Bereichen mit extrem blockigem Material an der Ortsbrust (Bild 2) hatten die Blöcke eine Dimension von bis zu 3 x 3 m; die Schneidspuren auf der teilweise vorlaufenden Ortsbrust waren nicht erkennbar, da die Blöcke an der Ortsbrust ausbrachen. Der Bohrkopf wirkte somit als Brecher. Die grossen und losen Felsplatten an der Ortsbrust führten u. a. zu hohen Stossbelastungen auf die Disken und Räumern sowie zu hohen Kippmomenten auf den Bohrkopf und das Hauptlager. Weiterhin führte die Grossestückigkeit des Abraums zu Problemen bezüglich des weiteren Material-transports auf den Maschinenbändern.

Als sehr ungewöhnlich erwiesen sich die blockigen Gesteinsverhältnisse dadurch, dass die Stabilität der Firste und der Seitenwände nicht beeinflusst wurde, obwohl Verbrüche im Brustbereich auftraten. Dieses Phänomen wurde in dieser Ausprägung erstmalig beim Stegtunnel angetroffen. Bei bisher ausgeführten Tunnelbauprojekten mit blockigem Gebirgsverhalten traten Instabilitäten nicht nur an der Ortsbrust auf, sondern auch hinter dem Bohrkopf in der Firste und an der Tunnellaubung.

Wie für das Auffahren von blockigem Gestein gefordert, war die TBM mit einem möglichst glattflächigen Bohrkopf ausgestattet, um ein mögliches Verhaken in der Ortsbrust bzw. den Überhang der Ortsbrust im Bereich der Kalibermeissel zu reduzieren. Mit einem glatten Bohrkopf hat der Abraum wenig Gelegenheit, sich im Aussenbereich zu verkeilen.

Das Bohrkopfdesign stellt das wirksamste Konzept dar, der Blockigkeit zu begegnen, ermöglicht hohe Vortriebsraten in massiven Hartgesteinsverhältnissen und mit dem kurzen Bohrkopfschild den Einbau der Firstsicherung nahe der Ortsbrust.

Das Bohrkopfdesign fällt durch eine gleichmässige, flächig verteilte Anordnung der Schneidwerkzeuge auf, welche Ausdruck der Optimierungsarbeiten von Rollenlagergehäuse und Bohrkopfstruktur ist (Bild 3). Die Schneidrollenhalterungen sind vollkommen in die Bohrkopfstruktur eingelassen und die Schneidrollen sind vom rückwärtigen Bereich aus zu wechseln. Der gesamte Bohrkopf ist mit Verschleissplatten geschützt. Die Materialabfuhr erfolgte über zwölf Aufnahmeöffnungen am Bohrkopfumfang, welche von zusätzlichen Konus- und Rückräumern auf der Bohrkopfrückseite unterstützt wurden.



2 Blockige Ortsbrustverhältnisse am Lötschberg-Basistunnel, Los Steg

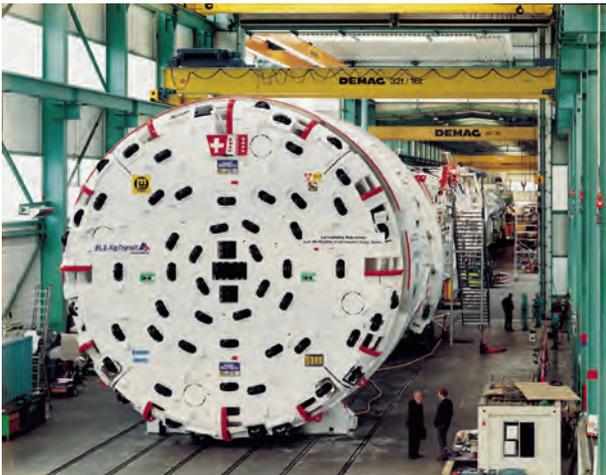
*Blocky face conditions at the Lötschberg Base Tunnel, Steg contract section*

considerably hampered extraction and removal of the soil, secondly the increasing abrasiveness of the rock far exceeded the predicted amount and led to high wear on the extraction tools and the buckets at the cutterhead. The outcome was frequent or unscheduled tool changes, which led to a reduction in the amount of time available for extraction.

In areas with extremely blocky material (Fig. 2) at the face the blocks were up to 3 x 3 m in size; the cutting tracks on the in part advancing face were not recognisable, as the blocks broke away at the face. As a consequence the cutterhead acted as a crusher. The large and loose slabs of rock at the face led among other things to high impact loads on the discs and buckets as well as to high tilting moments on the cutterhead and main bearing. In addition the large size of the spoil led to problems for transporting the material further on the machine belt conveyors.

The blocky rock conditions emerged to be extremely unusual in so far as the stability of the roof and the side walls was not influenced although collapses did occur in the face zone. This phenomenon was first encountered to such an extent in the Steg tunnel. As far as previous tunnelling projects with blocky rock conditions are concerned instabilities occurred both at the face as well as behind the cutterhead in the roof and at the tunnel walls.

As was requested for driving blocky rock the TBM was fitted with a smooth-surfaced cutterhead as possible in order to reduce possible entanglement at the face or the face projection in the peripheral bit area. Thanks to a smooth cutterhead the spoil has little opportunity to become wedged in the outer zone.



3 Bohrkopf Lötschberg-Steg  
Cutterhead Lötschberg Steg

Im Betrieb wurden die maschinentechnischen Parameter dem blockigen Gestein angepasst, indem die Anpresskraft und die Drehzahl des Bohrkopfes in diesen Zonen reduziert wurden, um Schocklasten auf die Schneidrollen und den Bohrkopf zu minimieren. Insbesondere die Möglichkeit einer variablen Bohrkopfdrehzahl durch den Einsatz von Frequenzumrichtern erwies sich als Vorteil.

Die maschinelle Ausrüstung zur Ausbruchsicherung war der RMR-Klassifikation nach Bieniawski angepasst. Für ca. 93 % der Tunnelstrecke wurde die Gebirgsgüte gemäss den Submissionsunterlagen mit der RMR-Klassifikation nach Bieniawski in die Klasse II, gute Gebirgsverhältnisse, eingestuft. Die Planung des Bauherrn sah deshalb für diesen Vortriebsabschnitt den Einsatz einer offenen Gripper-TBM vor. In den Bereichen mit guter Geologie wurden die neben einem Kopfschutz notwendigen Gebirgssicherungsmaßnahmen hinter der TBM im Nachläuferbereich (L2) durchgeführt. Für 2/3 der aufzufahrenden Strecke wurde schwache bis mittlere Bergschlaggefahr erwartet. In diesen Streckenabschnitten wurden die systematischen Sicherungsarbeiten direkt hinter dem Bohrkopfschild (L1\*) ausgeführt (Bild 4).

Der Stützmitteleinbau im L1\*-Bereich konnte über einen Ringrektor, 2 voneinander unabhängig manövrierbare Ankerbohrreinrichtungen und eine Netzversetzeinrichtung erfolgen. Zusätzlich war noch ein Vorausbohrgerät für Sondierbohrungen bis zu 80 m Länge angeordnet.

Die ergänzende Felsicherung und die Komponenten für den Einbau der Sohlübbinge wurden im Nachläuferbereich eingebaut. Dazu wurde eine Nassspritzbetoneinrichtung mit 2 Spritzbetonrobotern auf der TBM-Nachlaufbrücke installiert. Das Rückprallmaterial wurde von 2 mobilen Entsorgungswannen aufgefangen, die per Tunnelzug ausgetauscht werden konnten. Der komplette Nachläufer der TBM ist auf Schienen geführt, welche auf den Sohlübbingen montiert wurden.

The cutterhead design represents the most effective concept for countering blockiness and facilitates high rates of advance in massive hard rock conditions and the installation of the roof support close to the face thanks to the short cutterhead shield.

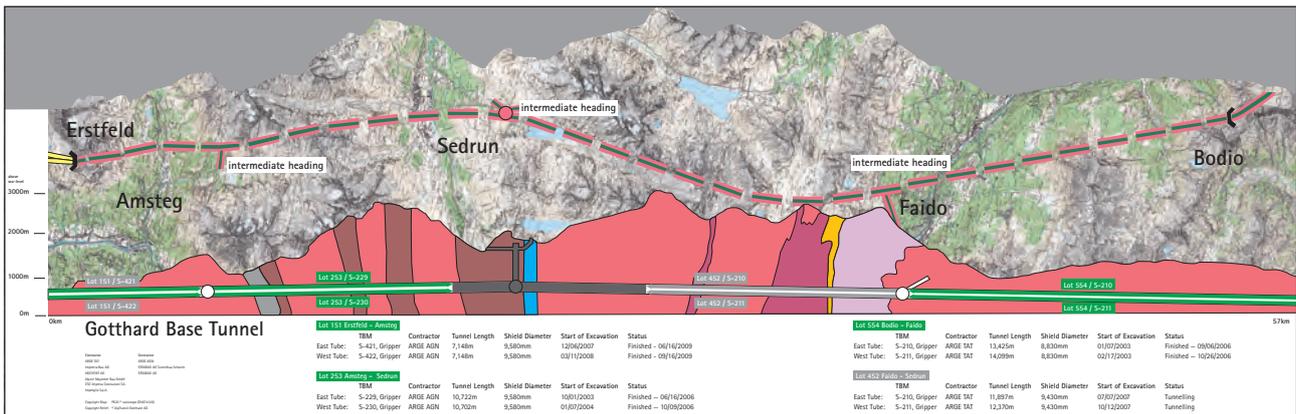
The cutterhead design excels through a uniform arrangement of the cutting tools distributed over a wide area, which expresses the optimisation work carried out on the roller bearing housing and cutterhead structure (Fig. 3). The cutter holders have been completely incorporated in the cutterhead structure and the cutters can be replaced from the rear. The entire cutterhead is protected by wear plates. The spoil is removed via 12 discharge openings on the perimeter of the cutterhead, which are supported by additional cone and rear buckets on the rear side of the cutterhead.

During operation the engineering parameters were adjusted to the blocky rock with the contact pressure and the torque of the cutterhead being reduced in these zones in order to minimise shock loads on the cutters and the cutterhead. The possibility of a variable cutterhead RPM through the application of frequency converters in particular turned out to be an advantage.

The mechanical equipment for securing the excavation was adapted to the RMR classification according to Bieniawski. For 93 % of the tunnel section the rock quality in accordance with the submission documents was graded in class II, good rock conditions, in keeping with RMR classification according to Bieniawski. The client's planning thus foresaw the application of an open gripper TBM for this excavation section. In areas with good geology apart from head protection the necessary rock supporting measures were executed behind the TBM in the back-up zone (L2). For 2/3rds of the section to be driven, danger from weak to average rockfall was expected. In these sections systematic supporting work was carried out directly behind the cutterhead shield (L1\*) (Fig. 4).



4 Stützmitteleinbau im L1\*-Bereich  
Installing supporting agents in the L1\* area



5 Die TBM-Lose für den Gotthard-Basistunnel  
The Gotthard Base Tunnel's TBM contract sections

Die am Lötschberg-Basistunnel eingesetzten Maschinen für die Lose Steg und Raron verkörpern den damaligen Stand der Technik. Dies beinhaltet das Bohrkopffayout mit den gewählten Schneidrollentypen, deren Anordnung auf dem Bohrkopf, Spacing, Räumerdiesign sowie die Maschinenspezifikationen wie Vortriebskraft, Drehmoment, Leistung und Drehzahl.

Die im TBM-Vortrieb gesammelten Erfahrungen für das Los Steg waren von entscheidender Bedeutung beim Auffahren und Sichern des parallelen Loses Raron. Dort versuchte man, basierend auf den Erkenntnissen von Steg, die Vortriebsleistungen zu optimieren, die mit Optimierungen im Bohrprozess und im Bereich der Felsicherung einhergehen.

4 Konstruktive Anpassungen für die Tunnelvortriebe am Gotthard-Basistunnel, Los Amsteg und Los Bodio/Faido

Für die maschinelle Auffahrung der insgesamt 8 Teillose des Gotthard-Basistunnels (Bild 5) mit einer Gesamtlänge von ca. 85 km wurden 4 Tunnelbohrmaschinen gefertigt und je zwei an die AGN (Strabag AG Tunnelbau Schweiz [CH]/Strabag AG [A]) (Bild 6) und je zwei an die TAT (Implema Industrial Construction, Alpine Bau GmbH, CSC Impresa Costruzioni SA, Hochtief AG, Impregilo SpA) geliefert. Das erfolgreiche Grundkonzept der TBM wurde entsprechend den Einsatzerfahrungen bei den Vortrieben vom Lötschberg optimiert. Weitere Änderungen wurden aufgrund der geologischen Prognosen sowie des Anforderungsprofils aus der Ausschreibung erforderlich. Grundlage der konstruktiven Überarbeitung waren die folgenden Forderungen:

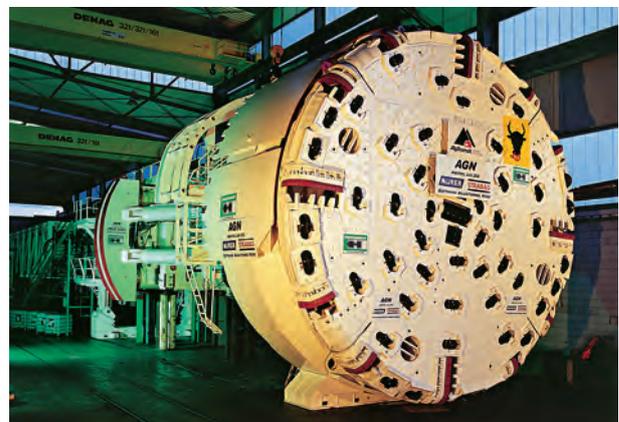
- Erhöhung der Standzeit des Bohrkopfverschleisschutzes
- Verringerung der Stillstandszeiten für den Wechsel der Bohrwerkzeuge
- Massiver Einbau von Stützmitteln im L1-Bereich
- Einbringung von Spritzbeton im L1-Bereich
- Ortbetonsohle anstatt vorgefertigter Sohlsegmente.

Der Bohrdurchmesser der TBM für die Südbaulose muss nach der Auffahrung Bodio/Faido von 8,8 m auf 9,5 m erhöht wer-

The installation of supporting agents in the L1\* zone was undertaken via a ring erector, 2 independently operating manoeuvrable anchor drilling rigs and a net placing device. Furthermore an advance drilling unit for exploratory drilling up to a length of 80 m was installed.

The supplementary rock supporting and the components for installing the base segments were placed in the back-up zone. Towards this end a wet shotcrete appliance with 2 spraying robots was installed on the TBM back-up bridge. The rebound material was collected by 2 mobile disposal basins, which could be exchanged per tunnel train. The TBM's complete back-up system is trackbound with the track mounted on the base segments.

The machines used in the Lötschberg Base Tunnel for the Steg and Raron contract sections embodied the state of the art at the time. This includes the cutterhead layout with the chosen types of cutters, their arrangement on the cutterhead, spacing, bucket design as well as the machine specifications such as driving force, torque, output and RPM.



6 Gripper-TBM S-229 für das Los Amsteg-Sedrun (Osttunnel)  
Gripper TBM S-229 for the Amsteg-Sedrun contract section (eastern tunnel)

den, da aufgrund der geologischen Bedingungen im Baulos Faido/Sedrun ein stärkeres Betoninnengewölbe benötigt wird (Bild 6).

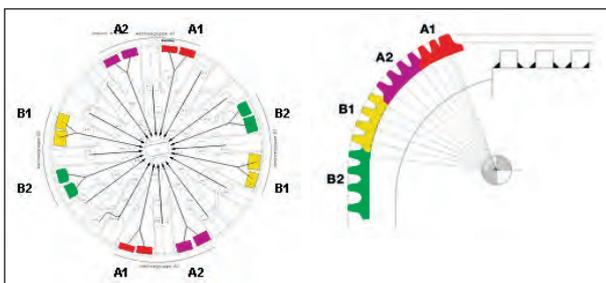
Bei der Nachlaufkonzeption für die Baulose Bodio/Faido und Faido/Sedrun war weiterhin zu berücksichtigen, dass parallel zu den TBM-Vortrieben hinter den TBM die Querschläge im Sprengvortrieb ausgebrochen werden müssen. Ausserdem erfolgt die Fertigstellung des endgültigen Betoninnengewölbes in einer weiteren Baustelle hinter der TBM.

#### 4.1 Änderungen am Bohrkopf

Der Bohrkopf ist mit einem zusätzlich verstärkten Verschleisschutz im Kaliberbereich und an der Bohrkopfrückseite im Konusbereich ausgerüstet. Die Räumere sind grösser dimensioniert; der Verschleiss an den Räumeroöffnungen wird so minimiert. Durch versetzt überlappende Anordnung der Räumere im Kaliber- und Konusbereich werden verschleissverursachende Materialansammlungen über die gesamte Bohrkopflänge geräumt.

Im Rahmen einer Optimierungsstudie wurde die Zugänglichkeit der Schneidrollen analysiert; die Schneidrollen mit der nach den Erfahrungen vom Lötschberg höchsten Wechselhäufigkeit wurden in den am besten zugänglichen Bohrkopfkammern angeordnet. Weiterhin wurde angestrebt, Schneidrollen mit ähnlicher Verschleissrate in Wechselgruppen anzuordnen. Je eine Wechselgruppe kann mit nur einer Zwischendrehung des Schneidrades gewechselt werden. Diese Strategie eines optimierten Werkzeugwechsels ermöglicht eine Minimierung der TBM-Stillstandszeiten. Durch diese Einteilung in Gruppen ist es möglich, gleichzeitig mehrere Schneidrollen parallel in der Sohle zu wechseln (Bild 7).

Im Aussenbereich des Bohrkopfes sind die Diskenpositionen in 4 Gruppen zu je 2 + 2 Positionen angeordnet. Die Anordnung ergibt jeweils 4 benachbarte Spuren in 2 gegenüberliegenden Positionen (jeweils gleichfarbige Darstellung, Bild 7). Die nächstfolgenden 4 Spuren sind in den gleichen Quadranten angeordnet. Damit kann je eine der Wechselgruppen A1, A2, B1, B2 (4 Gruppen) mit nur einer Zwischendrehung des Schneidrades gewechselt werden.



7 Wechselgruppen der Werkzeuge auf dem Bohrkopf  
Groups of tools on the cutterhead for replacement

The experiences gained during the TBM drive for the Steg contract section were of decisive importance for excavating and supporting the parallel contract section Raron. There an attempt was made to optimise the rates of advance based on the recognitions gained in Steg, which run parallel with improvements in the extraction process and securing the rock.

#### 4 Constructional Adjustments for the Tunnel Drives at the Gotthard Base Tunnel, Amsteg Contract Section and Bodio/Faido Contract Section

Four tunnel boring machines were manufactured and two of them delivered to AGN Consortium (Strabag AG Tunnelbau Schweiz [CH]/Strabag AG [A]) (Fig. 6) and two to TAT Consortium (Implema Industrial Construction, Alpine Bau GmbH, CSC Impresa Costruzioni SA, Hochtief AG, Impregilo SpA) for the mechanised driving of the altogether 8 part-sections of the Gotthard Base Tunnel with a total length of roughly 85 km (Fig. 5). The successful basic concept of the TBMs was optimised in keeping with the findings obtained from the Lötschberg drives. Further alterations were needed on account of the geological forecasts as well as the requirement profile from the tender. The following demands represented the basis for the constructional modifications:

- increasing the service life for the cutterhead wear protection
- reducing standstill times for changing the extraction tools
- massive installation of supporting agents in the L1 area
- placing shotcrete in the L1 area
- in situ invert instead of precast base segments.

The boring diameter of the TBM for the southern contract sections had to be increased from 8.8 to 9.5 m after excavating Bodio/Faido, as a stronger concrete inner vault is necessary on account of the geological conditions in the Bodio/Faido contract section (Fig. 6).

As far as the back-up system conception for the Bodio/Faido and Faido/Sedrun contract sections was concerned it also has to be taken into consideration that the cross-passages have to be excavated via drill+blast behind the TBM parallel to the TBM drives. In addition the completion of the final concrete inner vault is accomplished at a further construction site behind the TBM.

#### 4.1 Alterations to the Cutterhead

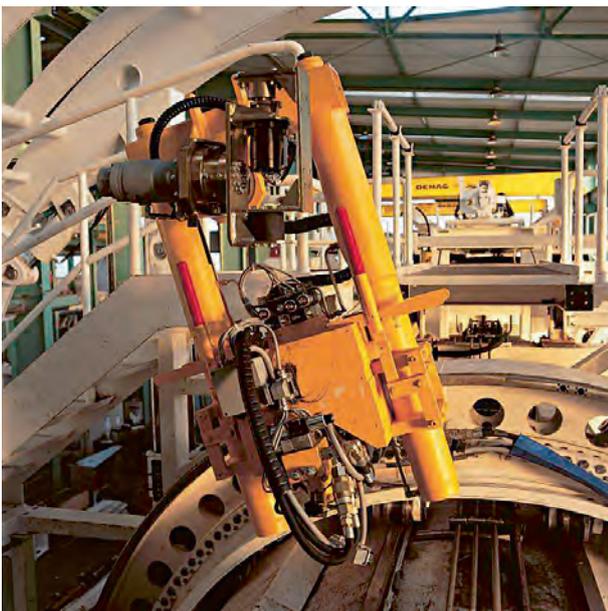
The cutterhead is fitted with an additional reinforced wear protection in the peripheral area and at the rear side of the cutterhead in the cone area. The buckets are dimensioned larger; the wear at the bucket openings is thus minimised. Thanks to a staggered overlapping arrangement of the buckets at the perimeter and the cone area accumulations of material causing wear over the entire length of the cutterhead are removed.

Die Bohrköpfe der eingesetzten Maschinen sind mit ebener Ortsbrust ausgeführt, um den ungestützten Bereich bis zur stützenden Schildschiene zu minimieren. Sie sind mit von hinten zu wechselnden 17"-Schneidrollen bestückt. Der Einsatz von 19"-Schneidrollen wurde erwogen, aber aufgrund des höheren Gewichts beim Werkzeugwechsel sowie der seinerzeit noch fehlenden Langzeiterfahrungen mit „backloading designs“ verworfen.

#### 4.2 Gestaltung des L1-Sicherungsbereiches

Für die Einbringung der Ausbruchsicherung im sogenannten L1-Bereich unmittelbar hinter dem Bohrkopfschild wurden folgende Geräte vorgesehen:

- Ringerektor zur Vormontage von geschlossenen Stahlringen aus TH-Profil verschiedener Dicken.
- Zwei auf einem Ringträger radial und in Vortriebsrichtung verfahrbare Ankerlafetten mit am Ringträger angebrachten Arbeitsbühnen zum Setzen der Anker und sonstige Sicherungsarbeiten. Die Bühnen sind mit Schutzdächern versehen. Der Verfahrbereich in Längsrichtung wurde gegenüber dem Lötschberg um 1 m verlängert.
- Für die kurzen Streckenabschnitte, in denen Spritzbeton im L1-Bereich gefordert wurde, ist ein radial angeordneter Spritzroboter auf dem Ringträger der Bohrlafetten zu montieren. Dieser Roboter ermöglicht die Einbringung von Spritzbeton über 270° im oberen Tunnelbereich. Die durchgehende Arbeitsbühne muss während des Spritzens teildemontiert werden (Bild 8).
- Der Einbau von Stahlmatten für den Kopfschutz erfolgt mittels Mattenversetzgerät, dieses dient auch zum Antransport von Ausbauringen und Kappen.



8 Spritzbetonroboter  
Shotcrete Robot

Within the framework of an optimisation study the accessibility of the cutters was analysed, the cutters, which had to be exchanged most frequently according to the findings obtained at the Lötschberg, were arranged in the most accessible cutterhead chambers. In addition an effort was made to set up cutters sustaining a similar rate of wear in appropriate groups. Such a group can be replaced with only one intermediate rotation of the cutting wheel. This strategy of optimised tool changing facilitates a minimising of the TBM standstill times. Through division into groups it is possible to change several cutters parallel in the invert at the same time (Fig. 7).

On the external area of the cutterhead the disc positions are arranged in 4 groups with 2 + 2 positions. The arrangement in each case results in 4 neighbouring tracks in 2 opposing positions (in each case same colour presentation, Fig. 7). The 4 succeeding tracks are set up in the same quadrants. In this way one of the groups A1, A2, B1, B2 (4 groups) can be changed with only a single intermediate rotation of the cutting wheel.

The cutterheads of the machines that are used are provided with an even face so that the unsupported area to the supporting shield edge is minimised. They are equipped with 17" cutters, which are replaced from the rear. The application of 19" cutters was contemplated but discarded on account of the higher weight involved in changing the tools as well as the lack of long-term experience with back-loading designs, as was the case at the time.

#### 4.2 Set-up of the L1 Supporting Area

For installing the excavation support in the so-called L1 area directly behind the cutterhead shield the following machines were foreseen:

- Ring erector for preassembly of closed steel rings consisting of various thicknesses of TH profile.
- Two anchor hole drilling rigs assembled on a ring carrier manoeuvrable radially and in the direction of the drive with working platforms attached to the ring carrier for setting anchors and other supporting jobs. The platforms are provided with protective roofs. The range of movement in a longitudinal direction was increased by 1 m compared to the Lötschberg.
- For the short route sections, in which shotcrete is needed in the L1 area, a radially set up spraying robot is mounted on the drilling rigs' ring carrier. This robot enables shotcrete to be placed over 270° in the upper tunnel area. The continuous working platform has to be partly dismantled during spraying (Fig. 8).
- The installation of steel mats for overhead protection takes place via a mat placing unit, which also serves to bring in support rings and bars.

In contrast to what was forecast, immediately after the drive commenced in Bodio a roughly 500 m long fault zone was

Entgegen der Prognose wurde direkt nach dem Start der Vortriebe in Bodio eine etwa 500 m lange Störzone angefahren, in der der Einbau von Stahlbögen mit Spritzbeton im L1-Bereich erforderlich war. Das vorgesehene System erwies sich unter diesen Bedingungen als nicht optimal. Die Anbringung des Spritzroboters auf dem Ringträger der Bohrlafetten erforderte ständiges Abdecken der Lafetten gegen Spritzbetonrückprall. Wenn zur Sicherung Anker benötigt wurden, musste die Abdeckung entfernt werden; ausserdem behinderte der Spritzroboter die Ankerbohrarbeiten und war herabfallenden Steinen ausgesetzt. Durch die teilweise demontierte Arbeitsbühne und die geringe Gehhöhe unter dem Mattenversetzgerät bei 8,8 m Bohrdurchmesser wurden die Sicherungsarbeiten zusätzlich erschwert. Grössere Ausbrüche über Profil konnten mit der radial spritzenden Düse nicht immer optimal verfüllt werden.

Um unter den geänderten Voraussetzungen über längere Strecken gute Vortriebsleistungen zu ermöglichen, wurde der Arbeitsbereich durch Rowa Tunnelling Logistics AG folgendermassen modifiziert:

- Ersatz der Arbeitsbühnen an den Bohrlafetten durch grossflächige, separat verfahrbare Arbeitsbühnen.
- Ersatz des Spritzroboters auf dem Lafettenring durch einen auf der durchgehenden Arbeitsbühne längsverfahrbaren Roboter mit Teleskopdrehschlepparm. Dieser ermöglicht nun das Wegfahren der Lafetten hinter den Spritzroboter und umgekehrt. Arbeitsbühne und Roboter müssen nicht demontiert werden, wenn sie nicht benutzt werden. Des Weiteren ermöglicht der Spritzarm, auch grössere Ausbrüche mit optimalem Spritzwinkel zu verfüllen.
- Wegfall des Mattenversetzgerätes, Transport der Matten mittels eines einklappbaren Manipulators, die Matten werden von der grossen Arbeitsbühne aus händisch gesetzt.

### 4.3 Gestaltung der Nachlaufeinrichtungen

Die Forderung, die Bausohle als dichte Ortbetonsohle einzubringen, erforderte deutliche Änderungen an den Nachlaufeinrichtungen. Während bei den Nord-Baulosen die Bandabförderung beibehalten werden konnte, verbot sich dieses Verfahren bei den Süd-Baulosen aufgrund der nachgeschalteten Baustellen der Querschläge und Gewölbe.

Deshalb soll hier besonders auf diese Nachläufer eingegangen werden:

- Hinter der TBM läuft eine ca. 50 m lange Rohrbrücke, die die Sicherungseinrichtungen des L2-Bereiches mit radial arbeitendem, längsverfahrbarem Spritzroboter und 2 Nachankerlafetten aufnimmt. Diese Brücke ist auf 2 Schreitwerken gelagert. Die Fahrwege und Kapazitäten ermöglichen die Sicherung zeitgleich mit dem TBM-Vortrieb auch bei hohen Vortriebsleistungen.
- Anschliessend wurde eine weitere 80 m lange Brücken-

encountered, in which the installation of steel arches with shotcrete was essential in the L1 area. The intended system turned out to be anything but optimal under these circumstances. The mounting of the spraying robot on the ring carrier for the drilling rigs made it necessary to keep the rigs covered against shotcrete rebound. The covering had to be removed if anchors were required for supporting; in addition the spraying robot hampered anchor drilling operations and was exposed to falling rocks. Supporting operations were hindered even further by the partially dismantled working platform and the low headroom beneath the mat placing unit given 8.8 m boring diameter. Larger bursts in excess of the profile could not always be optimally filled using the radially functioning spraying nozzle.

In order to facilitate good rates of advance over lengthy sections given the changed circumstances, the working area was modified by Rowa Tunnelling Logistics AG as follows:

- The working platforms on the drill rigs were replaced by large-area, independently manoeuvrable working platforms.
- The spraying robot on the drill rig carrier ring was replaced by one with telescopic arm moving along the continuous working platform. This made it possible for the drill rigs to be relocated behind the spraying robot and vice versa. The working platform and the robot did not have to be dismantled if they were not in use. Furthermore the spraying arm also enabled larger bursts to be backfilled with an optimal spraying angle.
- Discontinuation of using the mat placing unit, transportation of the mats by means of a retractable manipulator, the mats are placed manually from the large working platform.

### 4.3 Set-up of the Back-up Facilities

The requirement to incorporate the construction invert as a tight in situ concrete base called for substantial alterations to the back-up installations. Whereas removal via belt was maintained for the northern contract sections, this method was not possible for the southern ones on account of the follow-up construction sites for the cross-passages and vault.

As a consequence, it is deemed essential to examine the back-ups in particular:

- A roughly 50 m long pipe bridge runs behind the TBM, which carries the supporting installations for the L2 area with radially operating, longitudinally-moving spraying robot and 2 follow-up anchor hole drill rigs. This bridge is set on 2 advancing mechanisms. The travel and capacities enable supporting to be carried out together with the TBM drive even given high rates of progress.
- A further 80 m long bridge structure followed up, under which the in situ concrete was cast in a relocatable invert formwork. The length of this bridge resulted from the requirement to enable 40 m to be driven/day. The invert

konstruktion vorgesehen, unter der in einer umsetzbaren Sohlschalung der Ort beton gegossen wird. Die Länge dieser Brücke resultiert aus der Forderung, 40 m Vortrieb/Tag zu ermöglichen. Die Sohlfertigung muss entsprechend vorlaufen, da das Ende der Brücke bereits auf Schienen läuft, die auf der grünen Betonsohle verlegt werden.

- Der anschließende zweigleisige Bahnhofsbereich ermöglicht das Parken aller Beton- und Arbeitszüge, diese werden mit dem Nachläufer gezogen. Der Transport des Sohlbetons von der Waggonladung erfolgte ursprünglich mit Betonbändern, wurde aber später wegen des hohen Wartungs- und Reinigungsbedarfs auf Pumpförderung umgestellt.
- Weiter hinten befindet sich der Beladebereich des Schotterzuges, dieser steht während der Beladung ortsfest auf der Bausohle, die Beladung erfolgt mittels eines über die Zuglänge verfahrbaren Bandentladungswagens.

### 5 Fazit

Beim Jahrhundertbauwerk Gotthard-Basistunnel wurde bautechnisch in verschiedenen Bereichen Neuland betreten, so z. B. was den Durchmesser des TBM-Vortriebs anbetrifft, mit Durchmessern grösser 8,8 m im kristallinen Hartgestein, Überlagerungshöhen von ca. 2500 m, Gebirgsdrücken auf dem Frontschild über 60 t/m<sup>2</sup> mit Konvergenzen von nahezu 1 m im Durchmesser im L1- und L2-Bereich, massive Ausbruchsicherung im L1\* mit Ausbaubögen, umlaufender Systemankerung und bis zu 5 m<sup>3</sup> Spritzbeton pro Laufmeter, kombiniert mit Stauelementen. Zudem wurden erstmals im TBM-Vortrieb preventergeschützte Kern- und Schlagbohrungen durchgeführt.

Die grundlegenden Entwicklungsschritte des TBM-Designs vom Lötschberg- zum Gotthard-Basistunnel stellen Optimierungen im Abbauprozess dar. Die Anpassungen am Bohrkopflayout basieren auf den Erfahrungen der beiden Vortriebe für die Lose Steg und Raron am Lötschberg-Basistunnel in massiven, extrem festen und abrasiven bis hin zu blockigen Gesteinen. Die Analyse des Vortriebsverlaufes inklusive der Betriebsparameter der beiden TBM am Lötschberg sowie ein Vergleich der schwierigen Gebirgsproblematik mit anderen TBM-Projekten führten zu Optimierungen des Bohrkopf- und TBM-Designs für die TBM-Lose des Gotthard-Basistunnels. Erfahrungen der frühen Bauphase führten zu weiteren Anpassungen der TBM speziell im Sicherungsbereich.

Der Vortrieb der insgesamt 4 einfach verspannten Gripper-TBM für den Gotthard-Basistunnel zeigt, dass die eingesetzte Vortriebstechnik in der Lage ist, technisch wesentlich kritischere Situationen zu bewältigen als werkvertraglich vorgesehen waren. Mittlerweile sind die Ausbrucharbeiten der Nord-Baulose beendet.

Die Tunnelbohrmaschinen für das Los Amsteg, Gabi 1 (Oströhre) und Gabi 2 (Weströhre), bewährten sich bei

had to be completed in advance as the end of the bridge already runs on rails, laid on the green concrete base.

- The adjoining twin-track station area enables all concrete and work trains, which are pulled by the back-up, to be stationed. The transportation of the invert concrete from the car unloading point originally took place via concrete conveyors but was later converted to pump delivery on account of the high maintenance and cleaning requirement.
- Further behind there is the loading zone for the ballast train, which is located permanently on the working floor during loading, which is carried out by a belt unloading car that travels the length of the train.

### 5 Summary

New ground was broken structurally in various spheres during the building of the project of the century, the Gotthard Base Tunnel, e.g. with regard to the TBM drive diameter involving diameters of in excess of 8.8 m in crystalline hard rock, overburden heights of about 2,500 m, rock pressures on the front shield of more than 60 t/m<sup>2</sup> with convergences of almost 1 m in diameter in the L1 and L2 areas, massive excavation supporting in the L1\* with support arches, continuous anchorage systems and up to 5 m<sup>3</sup> of shotcrete per running metre, combined with yielding elements. Furthermore preventer-protected core and percussive drilling was undertaken for the first time in TBM excavation.

The fundamental stages in development for the TBM design from the Lötschberg to the Gotthard Base Tunnel are represented by optimising the extraction process. The adjustments to the cutterhead layout are based on findings from the 2 drives for the Lötschberg Base Tunnel's Steg and Raron contract sections in massive, extremely solid and abrasive even blocky rocks. The analysis of driving progress including the operational parameters for the 2 TBMs at the Lötschberg as well as a comparison of the tricky rock problems with other TBM projects, led to the cutterhead and TBM design being optimised for the Gotthard Base Tunnel TBM contract sections. Findings derived from the early construction phase led to further adjustments of the TBMs particularly in the field of supporting.

The driving of the altogether 4 single gripper TBMs for the Gotthard Base Tunnel shows that the applied driving technology is capable of mastering far more critical situations in technical terms than foreseen in the works contract. In the interim the excavation work for the northern contract sections has been concluded.

The tunnel boring machines for the Amsteg contract section, Gabi 1 (eastern bore) and Gabi 2 (western bore), proved themselves during their first application in the section from Amsteg towards Sedrun. After starting-up in May 2003 and the commencement of the full-scale drive in October 2003 Gabi 1 completed the 11.3 km long stretch from north to south by June 2006 some 9 months ahead of the construc-

ihrem Ersteininsatz auf dem Los von Amsteg Richtung Sedrun. Nach dem Andrehen im Mai 2003 und der Aufnahme des Leistungsvortriebes im Oktober 2003 legte Gabi 1 die 11,3 km lange Strecke von Nord nach Süd bis Juni 2006 mit einem 9-monatigen Vorsprung vor dem Bauprogramm zurück. Nach diesem Durchbruch wurde die TBM unter Tage demontiert und durch die Tunnelröhre zurücktransportiert. Nach einer umfassenden Revision wurde die TBM anschließend vor dem Nordportal Erstfeld wieder montiert. Den letzten Abschnitt von 7,2 km vom Nordportal bis zur Losgrenze Amsteg absolvierten die Mineure 6 Monate schneller als geplant mit einem Durchbruch am 16. Juni 2009.

Die zweite Gripper-TBM, Gabi 2 in der Weströhre, legte in nur 18 Monaten die Strecke von 7,2 km zurück und erreichte, wie schon die Schwestermaschine Gabi 1, den Zielort Amsteg am 19. November 2009 – 6 Monate früher als geplant. Beim Durchschlag betrug die Abweichung von der Sollachse horizontal 4 mm und vertikal 8 mm.

Die durchschnittliche Tagesleistung beim Vortrieb durch hartes Gestein und Gebirgsüberdeckungen von bis zu 1000 m betrug rd. 18 m. Die beste Tagesleistung erreichte Gabi 2 mit 56 m gefräster und gesicherter Tunnelröhre auf dem Abschnitt Erstfeld–Amsteg.

Die letzten beiden Maschinen arbeiten sich im Berg mittlerweile etwa 26 km – mit etwa 15 bis 22 m/Tag – von Faido Richtung Sedrun vor. Die verbleibende Auffahrlänge bis zum Durchschlag in Sedrun beträgt 2,8 und 3,2 km (Stand Februar 2010).

tion deadline. After the breakthrough it was dismantled underground and transported back through the tunnel bore. Following a comprehensive overhaul the TBM was then reassembled in front of the Erstfeld north portal. The tunnellers accomplished the final 7.2 km stretch from the north portal to the Amsteg boundary limit 6 months faster than scheduled with the breakthrough occurring on June 16, 2009.

The second gripper TBM, Gabi 2 in the western bore, covered 7.2 km in only 18 months and reached its destination Amsteg on November 19, 2009, 6 months earlier than planned just like its sister machine Gabi 1. At the breakthrough point the deviation from the intended axis amounted to 4 mm horizontally and 8 mm vertically.

The average daily rate of advance when driving through hard rock and rock overburdens of up to 1,000 m amounted to some 18 m. The best rate of advance was achieved by Gabi 2 on the Erstfeld–Amsteg section with 56 m of cut and supported tunnel tube.

The last 2 machines have in the meantime progressed some 26 km into the mountains at a rate of roughly 15 to 22 m/day from Faido in the direction of Sedrun. The remaining lengths to be driven until the breakthrough at Sedrun amount to 2.8 and 3.2 km (as of February 2010).



Alex Sala, Dipl. Bauing. FH, Leiter IG GBTS, Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH

# TBM-Vortrieb Faido

## Erfahrungen mit Nachprofilierungen in der druckhaften Strecke

Gleich zu Beginn der TBM-Vortriebe in den flach liegenden Lucomagno-Gneisen im Teilabschnitt (TA) Faido wurde das Profil auf 300 m Länge stark deformiert. Es traten radiale Konvergenzen bis 60 cm auf, welche die Ausbruchsicherung beschädigten und die Sohle bis zu 30 cm anhoben. Beide Tunnelröhren mussten saniert werden, wobei immer eine der beiden Röhren zur Versorgung der beiden vorseilenden TBM-Vortriebe offen bleiben musste. In den vergangenen 1½ Jahren wurden die Sanierungen dank zusätzlicher Massnahmen erfolgreich und ohne Auswirkungen auf das Gesamtterminprogramm durchgeführt.

## Faido TBM Drive

### Findings with Reprofiling in the squeezing Section

At the very start of the TBM drive in the flat-lying Lucomagno in the Faido part-section (TA) the profile was greatly deformed over a 300 m long section. Radial convergences of up to 60 cm occurred, which damaged the excavation support and caused the floor to rise by up to 30 cm. Both tunnel bores had to be redeveloped with one of the two bores having to be kept open to supply the two advancing TBM drives. In the past 1½ years the refurbishing work was executed successfully thanks to additional measures and without adverse effects on the overall scheduled construction programme.

#### 1 Einleitung

Der Teilabschnitt (TA) Faido mit der Multifunktionsstelle (MFS) und dem 11 km langen TBM-Vortrieb Richtung Sedrun liegt auf dem zeitkritischen Weg des gesamten Gotthard-Basistunnels.

Nach Überwindung enormer geologischer Schwierigkeiten in der Multifunktionsstelle Faido – um den erst beim Vortrieb erkannten geologischen Problemen auszuweichen, wurden Teile der MFS (insbesondere die Tunnelverzweigung und die Nothaltestelle West) 618 m gegen Süden verschoben – begann im Juli 2007 der Start des TBM-Vortriebs in der Oströhre bzw. im Oktober 2007 in der Weströhre je aus einer Startkaverne heraus. Die Sprengvortriebsstrecke von rd. 1200 m Länge ab der Querkaverne der MFS bis zur Startkaverne wurde z. T. mit unterteilter Ortsbrust und nachgiebigen Sicherungselementen bei Durchschnittsleistungen von weniger als 2 m/AT ausgebrochen. Die ursprünglich zur Terminalsicherung geplante Verlängerung des Sprengvortriebs vor Ankunft der TBM aus dem Süden um 2000 m Richtung Sedrun kam wegen der Verzögerungen während des Ausbruchs der MFS nicht in Betracht (Bild 1).

Die Ende 2006 aus dem Teilabschnitt Bodio angekommene TBM wurde plangemäss von 8,8 m Durchmesser auf 9,5 m

#### 1 Introduction

The Faido part-section (TA) with the multi-function station (MFS) and the 11 km long TBM drive towards Sedrun is located on the time-critical path for the entire Gotthard Base Tunnel.

After overcoming enormous geological difficulties at the Faido multi-function station – in order to avoid geological problems that were first identified during the drive, parts of the MFS (particularly the tunnel fork and the emergency halt West) were relocated 618 m towards the south – the TBM drive in the eastern bore commenced in July 2007 with the western bore excavation starting in October 2007 – both from an access chamber. The roughly 1,200 m long drill+blast section from the transverse chamber for the MFS up to the access chamber was partially excavated with divided face and yielding supporting elements with average rates of advances of less than 2 m/work day. The originally planned extension of the drill+blast operation by 2,000 m in the direction of Sedrun prior to the arrival of the TBM from the south devised to adhere to the deadline could not be contemplated owing to the delays during the excavation of the MFS (Fig. 1).

The TBM that arrived from the Bodio part-section at the end of 2006 was converted as scheduled from 8.8 to 9.5 m

## Avancement des tunneliers dans la section Faido

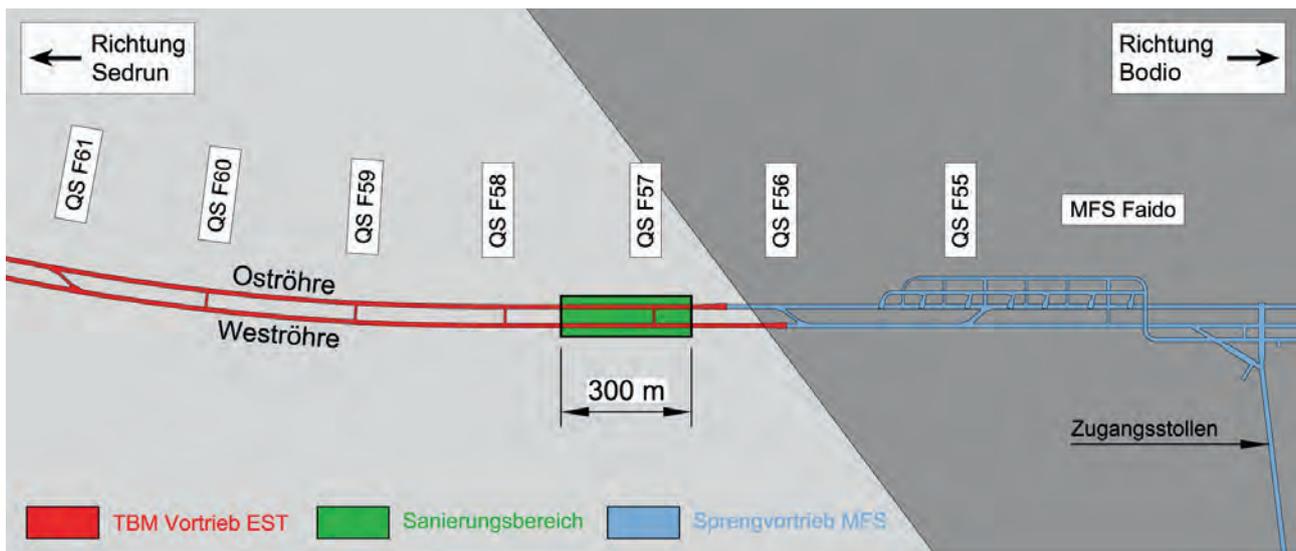
### Expériences de reprofilages dans le tronçon en terrain poussant

Dès le début de l'avancement des tunneliers dans les gneiss lamellés de Lucomagno dans la section Faido, le profil s'est fortement déformé sur une longueur de 300 m. Les convergences radiales entrées en jeu ont atteint jusqu'à 60 cm, endommageant les consolidations des excavations et soulevant le radier jusqu'à 30 cm. On a dû procéder à un assainissement des deux tubes du tunnel, tout en laissant toujours l'un des deux tubes ouvert pour approvisionner les deux tunneliers avançant en aval. Au cours des 18 derniers mois, les travaux d'assainissement ont été couronnés de succès grâce à des mesures complémentaires. Ils ont été réalisés sans aucune répercussion sur le calendrier d'ensemble.

## Avanzamento con fresatrici meccaniche (TBM) Faido

### Esperienze di riprofilamento successivo nel tratto con rocce spingenti

All'inizio dell'avanzamento della TBM negli gneiss lamellati della gneis del Lucomagno, in corrispondenza di Faido, il profilo si è fortemente deformato su una lunghezza di 300 m. Si sono verificate convergenze radiali fino a 60 cm che hanno compromesso la sicurezza dello scavo e hanno sollevato la platea di fondo di 30 cm. Per entrambi i tubi della galleria si è reso necessario un risanamento, lasciando sempre aperto uno dei tubi per garantire l'approvvigionamento dei due avanzamenti. Nello scorso anno e mezzo, sono state effettuate con successo operazioni di risanamento con interventi aggiuntivi senza conseguenze sulle tempistiche generali programmate.



1 Übersicht TA Faido mit Sanierungsbereich  
Overview of Faido TA with redevelopment section

(inkl. Shiften der Kaliberrollen) umgebaut, um ausreichend Raum für Sicherungsmittel und die grösseren Deformationen im TA Faido zu schaffen. Diese wurden aufgrund der Geologie sowie der hohen Überlagerung von bis zu 2300 m erwartet.

Im Hinblick auf die Beurteilung der Gesamtterminalsituation war es sehr wichtig, rasch endgültige Gewissheit über die Verhältnisse bei der Piöra-Mulde zu bekommen. Deshalb wurde unverzüglich mit dem deutlich schnelleren TBM-Vortrieb in den flach liegenden Lucomagno-Gneisen begonnen. Am 28. September 2008, 14 Monate nach dem Anfräsen, erreichte die erste TBM die Piöra-Mulde – und durchfuhr sie zum Glück ohne Probleme (Bild 2).

diameter (including shifting the roller gauges) in order to create sufficient space for supporting agents and the greater deformations in the Faido TA. These were anticipated on account of the geology and the high overburden of up to 2,300 m.

With regard to the appraisal of the overall deadline situation it was extremely important to obtain certainty about conditions prevailing in the Piöra Basin as soon as possible. As a result work immediately was started on the considerably faster TBM drive in the flat-lying Lucomagno gneisses. On September 28th, 2008, 14 months after excavating began the first TBM reached the Piöra Basin – and fortunately passed through it without any problems arising (Fig. 2).

## 2 Geologische Übersicht

Im TA Faido werden das Gotthard-Massiv im Norden und die Penninische Gneiszone im Süden durchfahren. Dazwischen liegt die sogenannte Piora-Mulde, welche hauptsächlich aus triadischen Dolomit-Anhydrit-Gesteinen besteht. Strukturell lässt sich das Gotthard-Massiv als eine mehr oder weniger von Westen nach Osten streichende, steil stehende Wechselfolge von Ortho- und Paragneisen beschreiben, in die variszisch Granite eingedrungen sind.

Die im Süden liegende Penninische Gneiszone kann in die glimmerreichen Lucomagno-Gneise und den generell masigeren und glimmerärmeren Leventina-Gneis unterteilt werden. Entsprechend der Prognose ändern sich die Lagerungsverhältnisse der Lucomagno-Gneise in der Chiéra-Synform. Mit dieser erfolgt ein Umbiegen von der steilen Lagerung im Norden in eine flach gegen Süd gerichtete Lagerung, die sich in südlicher Richtung sukzessive weiter verflacht (Bild 3).

## 3 Vorbereitende Massnahmen

Um gegen allfällige geologische Überraschungen gewappnet zu sein, hat der Bauherr vor Beginn des TBM-Vortriebs eine Expertengruppe eingesetzt, in die auch der Unternehmer mit einbezogen wurde. Zusammen mit diesen Sachverständigen wurde vom Projektingenieur ein Massnahmenplan erarbeitet. Darin sind alle potenziellen Gefahren und Chancen analysiert worden. Je nach Eintretenswahrscheinlichkeit hat man unterschiedlich detaillierte Massnahmen im Sinne vorbehaltener Entschlüsse vorbereitet und mit der Unternehmung abgestimmt. Gewisse Installationen wie z. B. Injektionsgeräte und Kleingeräte für Umgehungsstollen wurden vorsorglich beschafft, um die Reaktionszeit zu verkleinern. Diese kluge Vorausschau hat sicher wesentlich dazu beigetragen, dass die nachfolgend beschriebenen Ereignisse beherrscht werden konnten. Ebenso ausschlaggebend war, dass die Entscheidungswege



2 TBM Ost in der Piora-Mulde  
TBM East in the Piora Basin

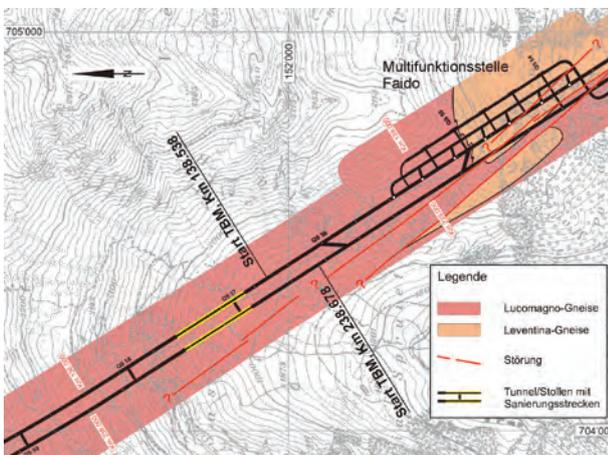
## 2 Geological Overview

In the Faido TA the Gotthard Massif was penetrated in the north and the Penninic Gneiss Zone in the south. The so-called Piora Basin, which mainly comprises triadic dolomite-anhydrite rocks, is located in between. In structural terms the Gotthard Massif can be described as a longitudinal, upright intermittent succession of ortho and para gneisses, intruded by variszic granites.

The Penninic Gneiss Zone located in the south can be divided into Lucomagno gneisses rich in mica and Leventina gneisses, which are generally unstratified containing less mica. The bedding conditions of the Lucomagno gneisses change in the Chiéra Synform in keeping with the forecast. This results in the steep bedding in the north transforming to a flat-lying formation towards the south, which becomes all the more level as it proceeds southwards (Fig. 3).

## 3 Preparatory Measures

In order to be able to counter possible geological surprises the client deployed a group of experts, which also included the contractor, prior to the TBM drive. The project engineer worked out a contingency plan in conjunction with these



3 Geologischer Horizontalschnitt  
Geological horizontal section

auf der Baustelle sehr kurz sind und die Oberbauleitung innerhalb kürzester Zeit über Anträge der örtlichen Bauleitung entscheidet.

### 4 Festgestellte Phänomene

Begonnen wurde der TBM-Vortrieb im TA Faido in der Oströhre am 6. Juli 2007 bei km 138,538 mit einem Durchmesser von 9,5 m mit einem relativ steifen Ausbau, bestehend aus 25 cm Spritzbeton, Stahlbogen (TH-Profile), Anker und Bewehrungsnetzen im Arbeitsbereich L1\*. Schon nach kurzer Zeit stellten sich die ersten Schäden an der Ausbruchsicherung ein, obwohl einige Meter zuvor die Startkaverne mit ähnlichen Sicherungsmitteln verhältnismässig problemlos und mit geringen Deformationen im Sprengvortrieb erstellt werden konnte. Um die Gefahr des Verklemmens des Schildes zu verringern und trotzdem hohe Vortriebsleistungen zu ermöglichen, wurden die Sicherungsmittel optimiert, indem im Arbeitsbereich L1\* die TH-Stahlbögen mit nachgiebigen Verbindungen flexibel eingebaut wurden. In Abhängigkeit der Deformationsentwicklung in den Bereichen L1\* und L2\* wurden die Stahlbögen im Bereich L2\* starr gesetzt. Die grösste Firstsetzung 40 m hinter der Ortsbrust betrug bereits 15 cm. Eine zusätzliche Gefahr stellten Nachbrüche im Firstbereich dar, die später zu Niederbrüchen über dem Schild und zu einem Verklemmen des Bohrkopfes führen könnten (Bild 4).

Für den weiteren Vortrieb wurde ab km 138,331 ein schwerer, nachgiebiger Ausbau gewählt. Die Ausbruchsicherung im Arbeitsbereich L1\* bestand aus verschiebbaren TH-Stahlbögen (inkl. nachgiebigen Verbindungen und Einschieberrahmen) und 10 bis 15 cm Spritzbeton mit Deformationsschlitz. Die wegen der hohen Felstemperaturen (bis über 40 °C mit Luftfeuchtigkeiten bis 80 %) sehr schnell aushärtende Spritzbetonschale verlor rasch ihre Elastizität. Zusätzlich traten die Belastungen sehr zügig hinter dem Ausbruch auf, was zu Rissen und Abplatzungen im Spritzbeton führte. Diese konnten jedoch durch den Einsatz von nachgiebigen 10 bis 20 cm dicken Styrofoam-Einlagen oder spezieller Stauchelemente weitgehend verhindert werden. Speziell die



5 Nachgiebige Ausbruchsicherung mit Styrofoam-Element  
Yielding excavation support with Styrofoam element



4 Schäden an der Spritzbetonschale  
Damage to the shotcrete shell

specialists, in which all potential dangers and chances are analysed. Depending on the probability of occurrence various detailed measures as decisions subject to alteration were prepared and coordinated with the contractor. Certain installations such as grouting equipment and small units for bypass tunnels were procured to be on the safe side to cut down on the reaction period. This wise foresight largely contributed towards ensuring that the events described as follows could be mastered. Equally determining was the fact that the decision-making process on site was extremely short so that the general management was able to decide on proposals tabled by the local site management in next to no time.

### 4 Established Phenomena

The TBM drive in the Faido TA was commenced in the eastern bore on July 6th, 2007 at km 138.538 with a diameter of 9.5 m and a relatively stiff support consisting of 25 cm of shotcrete, steel arches (TH profiles), anchors and reinforcement netting in working section L1\*. Initial damage occurred to the excavation support after only a short time although a few metres prior to this the access chamber was produced with similar supporting agents by drill+blast relatively easily with only slight deformations. In order to reduce the danger of the shield becoming jammed and at the same to facilitate high rates of progress the supporting agents were optimised by flexibly installing the TH steel arches with yielding connections in working section L1\*. Depending on the deformation development in sections L1\* and L2\* the steel arches in section L2\* were installed rigidly. The largest roof settlement 40 m behind the face already amounted to 15 cm. Crumbling in the roof zone represented a further danger, something which subsequently could lead to cave-ins above the shield and to the cutterhead becoming jammed (Fig. 4).

A heavy, yielding support was selected for the further course of the drive as from km 138.331. The excavation support in working section L1\* consisted of adjustable TH steel arches (including yielding connections and slide-in locks) and 10 to



6 *Deformierte Sohle im Vortriebsbereich*  
*Deformed floor on the driving section*

Styrofoam-Elemente konnten mit gutem Erfolg eingesetzt werden und haben sich sehr gut bewährt, denn sie sind einfach zu handhaben und zu montieren. Mit all diesen Massnahmen gelang es, die Verschiebungen stark zu reduzieren, eine genügend hohe Vortriebsgeschwindigkeit zu ermöglichen und gleichzeitig ein Verklemmen des TBM-Schildes zu verhindern (Bild 5).

Am 12. Oktober 2007 nahm die Westmaschine den Vortrieb auf. Im Dezember 2007 bildeten sich im Einspurtunnel (EST) Ost etwa 600 m hinter der Ortsbrust erstmals Risse im Spritzbetongewölbe auf Höhe des benachbarten Vortriebs. Zudem zeichneten sich zusätzliche Deformationen bei den 3-D-Messquerschnitten im Gewölbe ab. Mit dem weiteren Vortrieb der nachlaufenden Weströhre kam es sowohl in der Ost- als auch in der Weströhre zu massiven Schäden an der Ausbruchsicherung über mehrere 100 m. Die maximale Firstsetzung stieg durch den Vortrieb im EST West im Osten bis auf 22 cm an.

Um die Arbeitssicherheit und die Aufrechterhaltung der nördlich liegenden Vortriebe zu gewährleisten, wurden mit einer separaten Einrichtung loser Spritzbeton entfernt und grössere Gewölbereiche mit einem zusätzlichen Kopfschutz aus Bewehrungsnetzen und Ankern gesichert. Durch die Beanspruchung wurde auch die hinter dem Vortrieb in einem Abstand von 100 m eingebaute Ortbetonsohle gehoben und teilweise zerstört. Primär galt es daher, den Gleisbetrieb zur Sicherstellung des Vortriebes im EST Ost weiter zu gewährleisten. Um weitere Hebungen und Zerstörungen von Sohlblöcken zu verhindern, hat man diese massiv mit 6 m langen Injektionsankern mit einer Bruchlast von 83 t rückverankert (Bild 6).

Im EST West war die Lage noch schwieriger, da dort aufgrund der deformierten und zerstörten Ausbruchsicherung der Nachläufer zu verklemmen drohte. Nur dank schnellem Handeln aller Beteiligten konnte am 13. Februar 2008 diese



7 *Nachläufer streift an deformierter Ausbruchsicherung*  
*Back-up makes contact with the deformed excavation support*

15 cm of shotcrete with deformations slots. The shotcrete shell that set very rapidly on account of the high rock temperatures (up to in excess of 40° C with air humidities of as much as 80 %) soon lost its elasticity. In addition loads occurred extremely quickly behind the excavation, which led to cracks and spalling in the shotcrete. However, these were largely compensated for by installing yielding 10 to 20 cm thick Styrofoam insets or special compression elements. The Styrofoam elements in particular were applied with great success and really proved themselves for they are easy to handle as well as assemble. By applying all these measures it was possible to reduce the displacements to a great degree, to facilitate a sufficiently high rate of advance and at the same time prevent the TBM shield from jamming (Fig. 5).

On October 12th, 2007 the west machine began driving. In December 2007 cracks appeared in the shotcrete vault at the level of the neighbouring drive in the single-track tunnel (EST) East some 600 m behind the face. Furthermore additional deformations were revealed through the 3D measurement cross-sections in the vault. While continuing to drive the follow-up western bore massive damage to the excavation support over several hundred m occurred both in the eastern as well as in the western bore. The maximum roof settlement increased up to 22 cm during the drive in the EST West.

In order to safeguard industrial safety and maintain the drives located towards the north, loose shotcrete was removed by a separate appliance and major areas of vault secured by additional overhead protection comprising reinforcement nets and anchors. An in situ concrete floor built in at a distance of 100 m behind the drive lifted and was partially destroyed as a result of the stress. Consequently it was first and foremost essential to sustain track operations to maintain the drive in the EST East. In order to avoid further heaves and destruction of floor blocks these were massively

Gefahr abgewendet werden. In mehreren Arbeitsschritten mussten für das Nachziehen des Nachläufers verschiedene seiner Aufbauten entweder entfernt oder umgesetzt werden, um ein Verkleben zu verhindern. In besonders kritischen Bereichen wurde der Spritzbeton unter räumlich sehr beengten Verhältnissen mittels Schräghammer entfernt und die Stahlbögen wurden herausgetrennt. Aufgrund der grossen Hebungen im Sohlbereich mussten die eingebaute Sicherung unter dem Nachläufer abgebrochen, der Fels nachprofiliert und die Sicherung parallel zum Vortrieb komplett neu erstellt werden, bevor die Sohlblöcke betoniert werden konnten. Unter diesen schwierigen Umständen sank die Vortriebsleistung im EST West an einigen Tagen bis auf minimal 1 m/AT, im Schnitt über den Monat wurden in diesem Abschnitt dennoch 4 m/AT erreicht. Ein Sprengvortrieb hätte in dieser Geologie erfahrungsgemäss eine Leistung von 0,5 bis 1,5 m/AT ergeben (Bild 7).

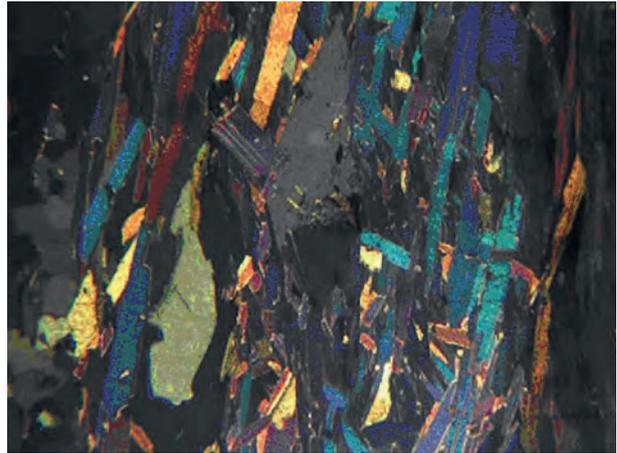
Weil der Nutzraum sowie der Raum für die statisch erforderliche Gewölbedicke nicht mehr gewährleistet werden konnten, war klar, dass dieser rd. 300 m lange Abschnitt in beiden Tunnelröhren später zu sanieren war.

### 5 Ursache

Entsprechend der Prognose sollten bis zur Chiéra-Synform flach liegende Lucomagno-Gneise anstehen. Diese Granat führenden, mittel- bis grobkörnigen Zweiglimmergneise sind lokal biotitreich und weisen biotitschiefrige Niveaus auf. Die Schieferungsflächen sind im Allgemeinen wellig. Die Gneise sind wenig bis kaum geklüftet. Die aus Proben aus dem Lucomagno-Gneis erstellten Dünnschliffe haben gezeigt, dass nicht der gesamte Glimmergehalt für die Grösse der Deformationen entscheidend ist, sondern dass der Anteil an Hellglimmer (Muskovit) wichtiger ist, da sich dieser besser einregelt und deutlichere Schieferungsflächen bildet, was zu einer Reduktion der Scherfestigkeit auf diesen Flächen führt.

Im Dünnschliff in Bild 8 ist beispielhaft ein Granat führender, glimmerreicher Zweiglimmergneis mit ausgeprägter – im Bild vertikal verlaufender – Schieferung dargestellt. Deutlich erkennbar ist die Einregelung der Glimmerplättchen in die Schieferungsflächen. Die grösseren, farbigen, meist bläulichen Plättchen sind Muskovite, die kleineren, die zum Teil quer liegen, die Biotite. Die im Labor an Felsproben durchgeführten Bestimmungen der Gesteinsfestigkeiten ergaben gegenüber der Prognose keine signifikanten Abweichungen, trotzdem hat sich das Gebirge anders verhalten. Die Auswirkungen dieses Phänomens konnten bisher in der Schweiz nirgends – auch nicht beim nahe gelegenen Sondiersystem Piora – beobachtet werden und waren deshalb nicht prognostizierbar, hängen aber offenbar stark von der Überlagerung ab.

In der ganzen Sanierungsstrecke ist das Gebirge trocken. Rund 50 m westlich der Weströhre verläuft die in der MFS gequerte, NNW-SSO-streichende, steil Richtung NO einfal-



8 Dünnschliffaufnahme – Probe km 138,320  
Micro-section image – sample km 138.320

back-anchored with 6 m long grouting anchors with an 83 t breaking load (Fig. 6).

In the EST West the situation was even more difficult on account of the deformed and destroyed excavation support as the back-up system threatened to jam. However, this danger was averted on February 13th, 2008 thanks to rapid action on the part of all those involved. In a number of phases it was necessary to remove or relocate some of the installations on the back-up in order to avoid it getting stuck so that it could be advanced. In especially critical areas the shotcrete was removed by demolition picks and steel arches ripped out. On account of the major lifts in the floor area the support installed beneath the back-up had to be removed, the rock reprofiled and the support parallel to the drive completely renewed prior to the floor blocks being concreted. Owing to these tricky conditions the rate of advance in the EST West diminished to a minimum of 1 m/work day on some days, nonetheless 4 m/work day was attained throughout the month in this section. Experience reveals that a drill+blast operation in geology of this nature would have resulted in progress of 0.5 to 1.5 m/work day (Fig. 7).

As the useable space as well as the space for the statically required vault thickness could no longer be assured, it was evident that this roughly 300 m long section in both tunnel bores would have to be redeveloped at a later stage.

### 5 Cause

In keeping with the prognosis, flat-lying Lucomagno gneisses should have been present up to the Chiéra Synform. These granite-bearing, medium to coarse-grained two-mica gneisses are locally rich in biotite and possess biotite schistosity. Generally speaking the cleavage planes are uneven. The gneisses are if at all jointed to only a small degree. The micro-sections produced from Lucomagno gneiss samples revealed that it is not the total mica content that is responsible for the

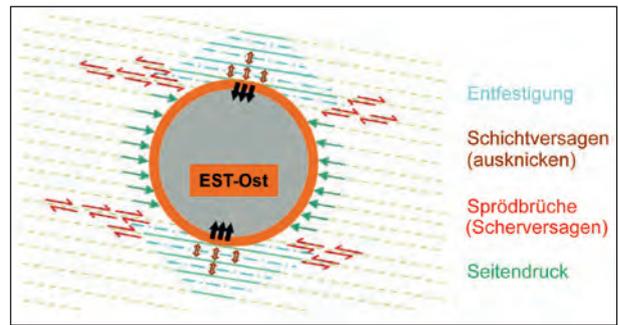
lende Hauptstörung „MFS“, welche beim Bau der MFS zu den grossen Problemen geführt hat.

Es fällt auf, dass sich die Schäden der Ausbruchsicherung auf die Firste und auf die Sohle beschränken und dass sie immer senkrecht zur Schieferung auftreten. In Bild 9 sind die verschiedenen Versagensmechanismen und die daraus resultierende Beanspruchung der Ausbruchsicherung dargestellt. Durch die Spannungsumlagerung in den flach gelagerten Lucomagno-Gneisen kann es einerseits zu Auflockerungserscheinungen und zum Ausknicken einzelner Gesteinspakete kommen. Andererseits ergibt sich auf den Trennflächen eine Scherbeanspruchung, welche schliesslich zu Sprödbrüchen senkrecht zu den Schieferungsflächen führt, sodass Blöcke ins Profil hineingedrückt werden. Die aufgetretenen Abplatzungen und Risse, welche ausschliesslich im Firstbereich aufgetreten sind, deuten auf eine Überlastung der Spritzbetonschale durch Biegung und Scherbeanspruchung hin. Die 3-D-Messpunkte zeigen eine höhere Querverschiebung auf der Seite Richtung der zweiten Röhre, was auf eine Überbeanspruchung des Pfeilers zwischen der Ost- und Weströhre schliessen lässt.

Der Achsabstand zwischen den beiden Tunnelröhren beträgt 40 m, somit verbleibt bei einem Ausbruchdurchmesser von 9,5 m eine Pfeilerdicke von 30,5 m. Gemäss Projekt sollte dieser Abstand eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Röhren ausschliessen, weil im TA Faido mit derart ungünstigen Gebirgsverhältnissen nur über sehr kurze Strecken von max. 30 m gerechnet wurde. Die Beobachtungen vor Ort sowie die neuen Erkenntnisse aus der numerischen Rückrechnung zeigen für den beschriebenen längeren Abschnitt jedoch eine gegenseitige Beeinflussung. Aus den Berechnungen resultiert durch den Ostvortrieb im Bereich der Weströhre bereits vor der Durchfahrt der West-TBM eine Spannungserhöhung um knapp 40 % gegenüber dem Primärspannungszustand. Diese Zunahme führte in Kombination mit der geringen Gebirgsfestigkeit zu den grossen Deformationen und Schäden im EST West. Es kam zu grossräumigen Umlagerungsprozessen, welche auch im EST Ost die oben beschriebenen Versagensmechanismen neuerlich in Gang setzten. Die Rückrechnung zeigte nach dem Ausbruch im EST Ost eine Stabilisierung. Erst beim Auffahren der TBM West ergibt sich jedoch eine erneute Verschiebungszunahme im EST Ost. Die Gesamtverschiebungen im Westen übertreffen jene im Osten.

## 6 Sanierungsmassnahmen

Alle Feststellungen und alle Messdaten aus den Vortrieben wurden in einem Vortriebssteuerungsplan wöchentlich nachgeführt. Dieser dient zusammen mit den Scanner- und Nivellementmessungen, einer Zustandsaufnahme der deformierten und gerissenen Ausbruchsicherung sowie den geo-mechanischen Berechnungen als Basis für die späteren Sanierungsmassnahmen (Bild 10).

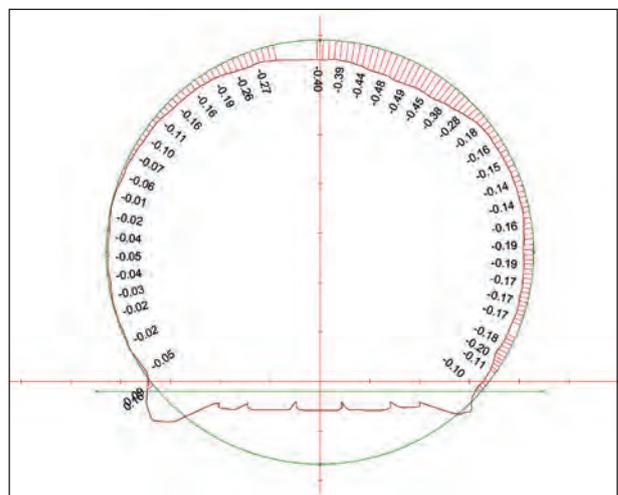


9 Schematische Darstellung der Versagensmechanismen  
Schematic presentation of the failure mechanisms

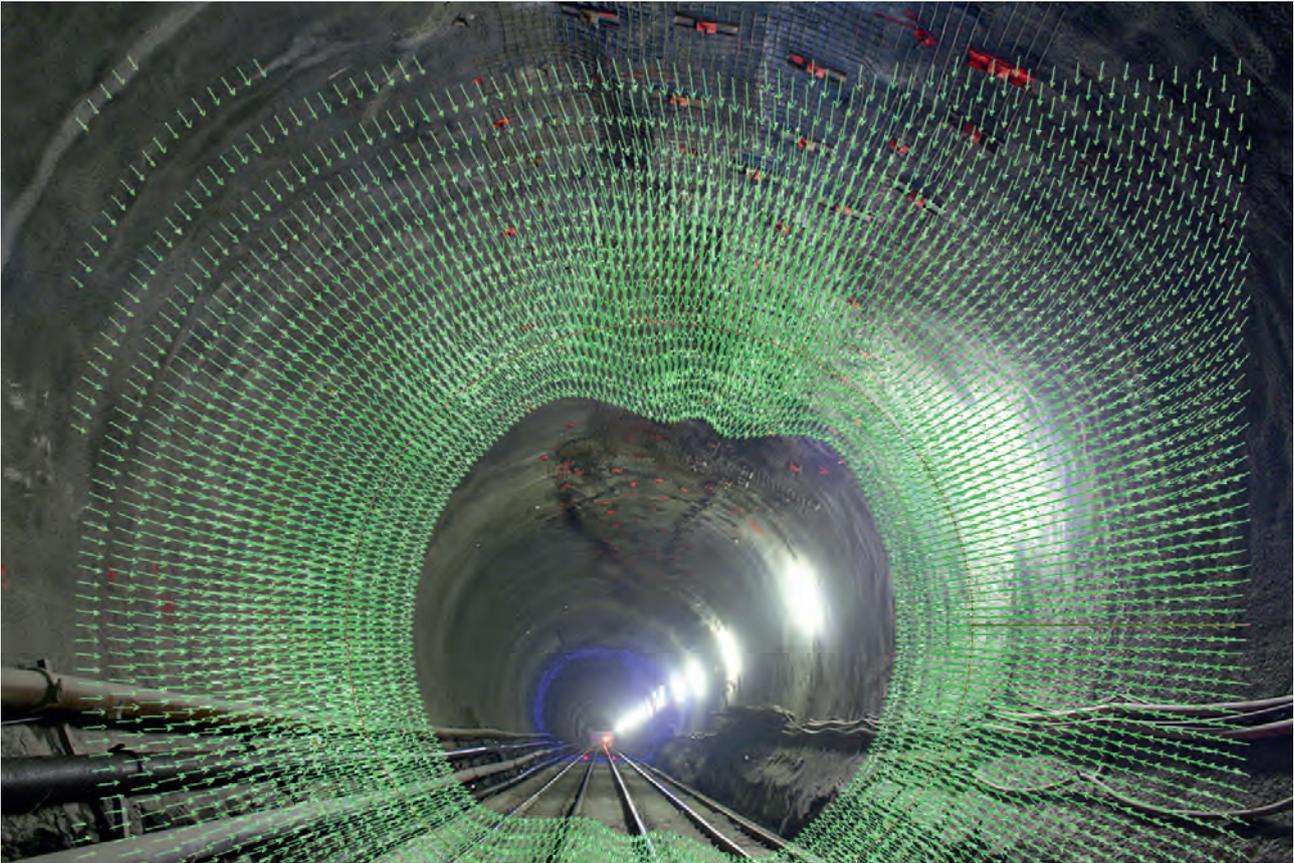
size of the deformations but that the proportion of muscovite is of greater importance as it aligns itself better and forms more obvious cleavage planes, something which leads to a reduction of the shearing strength of these planes.

The micro-section in Fig. 8 shows an example of a granite-bearing, two-mica gneiss rich in mica with pronounced cleavage – running vertically in the Fig. The alignment of the mica platelets in the cleavage planes is most evident. The larger, coloured, mostly bluish platelets are Muscovites, the smaller ones, in some cases located crosswise the biotites. The assessments of the rock strengths undertaken in the lab provided no significant deviations compared with the prognosis nonetheless the rock behaved differently. The effects of this phenomenon have so far not been observed anywhere else in Switzerland – not even at the nearby Piora exploratory system – and consequently were not to be predicted. Clearly though they depend to a great extent on the overburden.

The rock along the entire redevelopment section is dry. The main “MFS” fault, which led to such major difficulties during the production of the MFS, runs roughly 50 m to the west of



10 Typische Profilaufnahme im Sanierungsbereich  
Typical profile recording in the redevelopment section



11 Gerechnete Deformationen (aus FLAC) und effektive Schäden im Tunnel  
Calculated deformations (from FLAC) and effective damage in the tunnel

In der Ausführungsphase wurden aufgrund des unerwarteten druckhaften Verhaltens mit einem Kontinuumsmodell (FLAC2D) Rückrechnungen zur Verifizierung des Gebirgs- und Deformationsverhaltens durchgeführt. Es wurde ein Stoffgesetz verwendet, welches eine reduzierte Scherfestigkeit in Richtung der Trennflächen (ubiquitous joint model) berücksichtigt. Es ist ein linear-elastisches, ideal-plastisches Stoffgesetz mit einem Versagenskriterium nach Mohr-Coulomb (Bild 11).

Aus den verschiedenen Berechnungsfällen, welche den effektiven Bauablauf simulieren, resultieren Gebirgskennlinien. Eine Gegenüberstellung der gemessenen Deformationen mit den gerechneten zeigte, ob die angenommenen Gebirgskennwerte und das Gebirgsverhalten übereinstimmen. Aus dem Kennlinienverfahren wurde daraufhin der Gebirgsdruck für jeden Messquerschnitt festgelegt und daraus der erforderliche Ausbau für die Sanierung bestimmt. Die Profilaufnahmen zeigten im Sanierungsbereich Unterprofil von bis zu 50 cm. Zudem hat sich an einzelnen Stellen die Sohle bis zu 30 cm gehoben.

Aufgrund der aufgetretenen Schäden bzw. des vorhandenen Unterprofils (UP) wurde ein Raster für die Einteilung der zu

the western bore, crossing the MFS, extending NNW-SSE, dipping steeply towards the north-east.

It is evident that the damage affecting the excavation support is confined to the roof and the floor and that it always occurs perpendicularly to the cleavage. Fig. 9 displays the various failure mechanisms and the resultant stress on the excavation support. As a result of the stress redistribution in the flat-lying Lucomagno gneisses loosening phenomena can on the one hand occur as well as to the buckling of individual blocks of rock. On the other hand a shearing strain results on the joints, which ultimately leads to brittle fractures perpendicular to the cleavage planes so that the blocks are pressed into the profile. The spalling and cracks, which only occur in the roof zone, indicate that the shotcrete shell was overloaded owing to bending and shearing strain. The 3D measurement points indicate a higher lateral displacement towards the second bore, which leads to the conclusion that the pillar between the eastern and western bores was excessively overloaded.

The centre distance between the two tunnel bores amounts to 40 m, thus leaving a pillar thickness of 30.5 m given 9.5 m excavated diameter. In keeping with the project this distance should preclude the two bores influencing each other

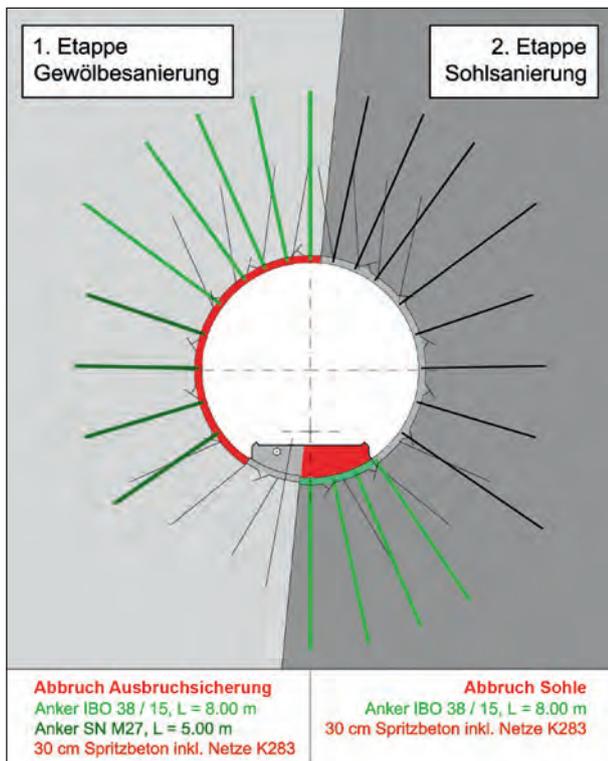
Tabelle 1: Umfang der Sanierungsarbeiten

Was/wo	Ost-röhre geplant	Ost-röhre effektiv	West-röhre geplant	West-röhre effektiv
Rückverankerung Sohlblöcke [Blöcke]	2	16	39	39
Teilsanierung Gewölbe [m <sup>2</sup> ]	90	–	200	–
Totalsanierung Gewölbe [m]	230	222	204	180
Partielle Sanierung Sohle [Blöcke]	1	–	4	3
Totalsanierung Sohle [Blöcke]	17	21	13	15

sanierenden Strecke für das Gewölbe mit 3 und für die Sohle mit 2 Stufen festgelegt.

**Gewölbe:**

- Stufe A: UP < 5 cm = lokales Entfernen von Spritzbeton (Teilsanierung A)
- Stufe B: Lokales UP > 5 cm = lokaler Bogenausbau (Teilsanierung B)
- Stufe C: Verbreitetes UP > 5 cm = Totalsanierung



12 Typischer Sanierungsquerschnitt  
Typical redevelopment cross-section

Table 1: Extent of the Redevelopment Work

What/where	eastern bore planned	eastern bore actual	western bore planned	western bore actual
Back-anchoring Floor blocks [block]	2	16	39	39
Part-redevelopment vault [m <sup>2</sup> ]	90	–	200	–
Total redevelopment vault [m]	230	222	240	180
Partial redevelopment floor [blocks]	1	–	4	3
Total redevelopment [blocks]	17	21	13	15

because in the Faido TA such unfavourable rock conditions were only reckoned with over very short sections of maximum 30 m. Observations on the spot as well as the new recognitions from the numerical recalculation however indicate they do influence each other as far as the described longer section is concerned. The calculations show that an increase in stress of almost 40 % as compared with the primary stress state results from the eastern drive in the vicinity of the western bore prior to the passage of the TBM West. This increase led to the great deformations and damage in the EST West in conjunction with the low rock strength. Extensive redistribution processes resulted, which again triggered the above mentioned failure mechanisms in the EST East as well. The recalculation indicated stabilisation after the excavation in the EST East. An increase in displacement in the EST East first occurs again after driving the EST West. The total displacements in the western bore exceed those in the eastern one.

**6 Redevelopment Measures**

All conclusions and measurement data from the drives were added to a plan controlling the excavation procedure on a weekly basis. This serves in conjunction with the scanner and levelling measurements to provide a picture of the deformed and cracked excavation support as well as the geomechanical calculations as the basis for the subsequent redevelopment measures (Fig. 10).

During the execution phase recalculations were undertaken to verify the rock and deformation behaviour by means of a continuum model (FLAC2D) on account of the unexpected squeezing behaviour. A material equation was applied, which took reduced shearing strength in the direction of the joints (ubiquitous joint model) into consideration. It represents a linear elastic, ideal plastic material equation with a failure criterion according to Mohr-Coulomb (Fig. 11).



13 Gewölbeabbruch  
Vault demolition

**Sohle:**

- Stufe A: Abstand Oberkante Sohle zur Schienenoberkante > Sollmass von 51 cm, Block intakt, Leitungen intakt = Abfräsen Ortbetonoberfläche (Teilsanierung)
- Stufe B: Abstand Oberkante Sohle zur Schienenoberkante < Sollmass von 51 cm oder Block gerissen oder Leitungen defekt = Totalsanierung Sohle

Die vorgesehene Verteilung der einzelnen Sanierungsstufen in der Ost- bzw. Weströhre ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

Bei der Totalsanierung wurden die deformierte Ausbruchsicherung Schritt für Schritt in maximalen Längen von 2 m abgebrochen und das Profil bis zu 30 cm über das ursprüngliche Ausbruchmass erweitert, um genügend Raum für das Innengewölbe zu schaffen, welches im Extremfall bis zu 60 cm dick sein muss. Die neue Ausbruchsicherung des Sanierungsbereichs besteht aus bis zu 30 cm Spritzbeton, bis zu 8 m langen Injektionsankern und 2 Netzlagen.

Sofern der Sohlbeton nicht ebenfalls zu ersetzen war, wurden die bestehenden Sohlblöcke auf Höhe der Betonierfuge zum Gewölbe radial geschnitten und die neue Sicherung mit einem verbreiterten Gewölbefuss an die bestehende Sohle kraftschlüssig angeschlossen. Andernfalls wurden der unbewehrte Ortbeton komplett abgebrochen, der Fels nachprofiliert und ein neues Sohlgewölbe aus Spritzbeton, Netzen und Anker eingezogen, auf welches dann in einem separaten Arbeitsgang die neu bewehrte Sohle mit der Hauptdrainage- und der Schmutzwasserleitung betoniert wurde (Bild 12).

Mit einer Messkampagne ist laufend geprüft worden, wie sich die Sanierungsarbeiten auf die noch nicht sanierten, benachbarten Abschnitte und insbesondere auch auf die Nachbarröhre auswirken. Es kamen vor allem 3-D-Messquerschnitte mit je 5 Spiegeln sowie Extensometer, Ankerkraftmessdosens und Nivellementmessungen zum Einsatz.

Rock characteristic curves are obtained from the different analytical cases, which simulate the effective construction cycle. A comparison of the measured deformations with the calculated ones showed whether the assumed rock characteristic curves and the rock behaviour concur. Subsequently the rock pressure for each measurement cross-section was established through the characteristic curve process and in turn the support required for redevelopment. The profile images revealed an underprofile of up to 50 cm in the redevelopment section. Furthermore the floor had risen at individual points by up to 30 cm.

On account of the occurring damage and the existing underprofile (UP) a raster was determined for dividing the section to be redeveloped into 3 stages for the vault and 2 for the floor.

**Vault:**

- Stage A: UP < 5 cm: local distance from shotcrete (part-redevelopment A)
- Stage B: Local UP > 5 cm: local arch support (part-redevelopment B)
- Stage C: Widespread UP >5 cm: total redevelopment

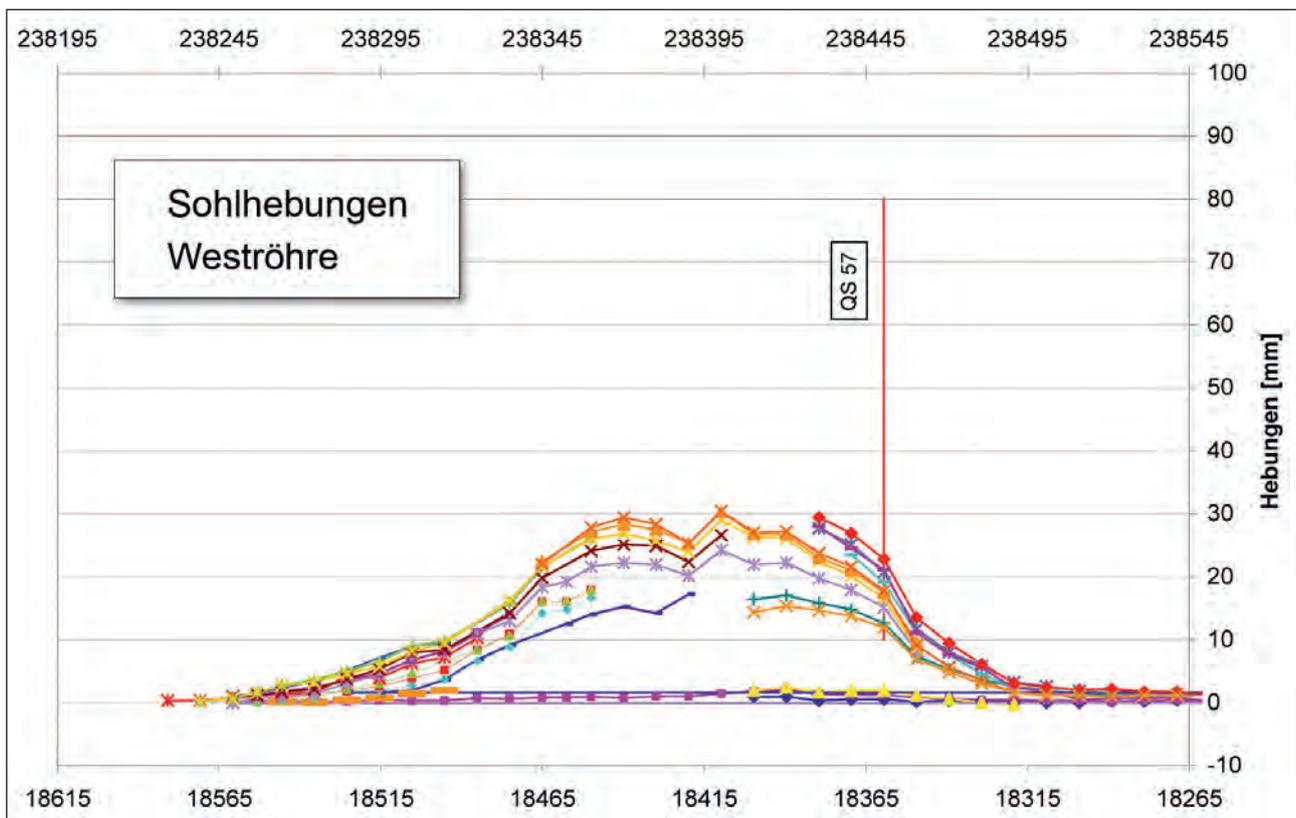
**Floor:**

- Stage A: Gap upper edge of floor to upper edge of rail > nominal size of 51 cm, block intact, lines intact = cutting in situ concrete Surface (part-redevelopment)
- Stage B: Gap upper edge of floor to upper edge of rail < nominal size of 51 cm or block cracked or lines defective = total redevelopment floor

The foreseen distribution of the individual redevelopment stages in the eastern and western bores can be seen in Table 1.



14 Sohlsanierung  
Floor redevelopment



15 Sohlhebungen Weströhre infolge Sanierung Oströhre  
Floor lifts in western bore owing to redevelopment of eastern one

## 7 Erfahrungen

Aus baugewerblichen Gründen wurde zuerst die Oströhre saniert, weil hier die Sohlhebungen kritische Ausmaße erreicht hatten, sodass die Gefahr bestand, dass ein sicherer Gleisbetrieb zu den Vortrieben unmöglich wird. Zuerst wurde auf der gesamten Sanierungsstrecke das Gewölbe von Süd nach Nord saniert. Die dabei erreichte Leistung von durchschnittlich 2,9 m/AT übertraf die erwarteten 2,0 m/AT (Bild 13).

In der darauf folgenden Sohlsanierung in 3 m langen Etappen mithilfe eines 40-t-Tunnelbaggers mit schwerem Abbauhammer wurden Leistungen von 6 m/AT erzielt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Sohlensicherung aus bis zu 45 cm Spritzbeton, fünf bis sechs 8 m langen Selbstbohrankern sowie Bewehrungsnetzen bestand (Bild 14).

Im Zuge der Sanierungsarbeiten zeigte sich schon bald, dass der gesamte Bereich sehr sensibel auf jegliche Eingriffe reagiert. Die Arbeiten erzeugten erneut Kräfteumlagerungen und Bewegungen, sodass die eingebaute neue Sicherung im Gewölbe teilweise wider Erwarten nochmals beschädigt wurde. Dies verlangte auf einer Länge von 160 m eine zusätzliche Ankerung mit drei 8 m langen Injektionsbohrankern mit einer Bruchlast von 53 t vor der Ausführung der Sohlensanierung, was nur möglich war, weil von Anfang an für

In the case of the total redevelopment the deformed excavation support was removed step by step in maximum 2 m lengths and the profile extended by up to 30 cm in excess of the original excavated size in order to create sufficient space for the inner shell, which is required to be as much as 60 cm thick in extreme cases. The new excavation support of the redeveloped section consists of up to 30 cm thick shotcrete, up to 8 m long grouting anchors and 2 layers of netting.

Providing that the floor concrete did not have to be replaced as well, the existing floor blocks were cut radially at the level of the concreting joint to the vault and the new support connected with the existing floor by means of an extended vault base. Otherwise the unreinforced in situ concrete was completely removed, the rock reprofiled and a new base invert comprising shotcrete, netting and anchors installed, upon which the new reinforced floor with the main drainage system and the waste water pipe was concreted in a separate working phase (Fig. 12).

A measurement campaign has been continuously undertaken to establish exactly how the redevelopment measures effect the neighbouring sections still to be tackled and particularly the other bore. 3D measurement cross-sections each with 5 mirrors as well as extensometers, anchor strength measuring devices and levelling measurements were mainly applied.

die Sanierung ein Reserveraum eingeplant worden war. Somit konnten die Radialverschiebungen im Sanierungsbereich bei rd. 6 cm stabilisiert werden. Im Sanierungsbereich Ost entstanden während der Sanierungsarbeiten im Gewölbe zusätzliche Sohlhebungen von etwa 30 cm. Kontrollmessungen an Höhenmessbolzen und Messankern zeigen, dass die sanierte Sohle sich nicht mehr hebt.

Der Einfluss der Sanierung auf die Weströhre war ebenfalls deutlich mess- und sichtbar, was auch am höheren Zerstörungsgrad der Ausbruchsicherung bemerkbar ist (Bild 15).

Aufgrund dieser Erfahrungen wurden die Sanierungsmaßnahmen in der Weströhre angepasst. Ein sofortiger Ringschluss schied zwar aus, weil er bautechnisch kaum akzeptable Nachteile hat, ist aber als Rückfallebene immer noch denkbar. Es wurde festgestellt, dass das Versagen der Spritzbetonschale in der Oströhre im First vorwiegend auf lokale Biegebeanspruchung zurückzuführen war. Dieser Gefährdung wird mit einer verstärkten systematischen, bis zu 8 m langen Ankerung im Westen begegnet. Auch Sohlblöcke, deren Kote anfänglich noch unterhalb der Toleranzgrenze lag, mussten wegen massiver Hebungen während der Gewölbesanierung abgebrochen und neu erstellt werden. Deshalb werden die Sohlblöcke im Westen massiv rückverankert. Die zur Teilsanierung vorgesehenen Abschnitte des Typs B (lokaler Bogenausbau) mussten im Osten wegen zusätzlicher Deformationen und dadurch hervorgerufenen Unterprofils meist doch noch voll saniert werden.

Weil sich die Teilsanierung B zudem als nicht wesentlich schneller erwies als eine Totalsanierung, werden in der Weströhre die ursprünglich als Teilsanierung klassierten Bereiche nun einer Totalsanierung unterzogen. Zudem muss noch stärker auf die kraftschlüssige Verbindung der Gewölbesicherung mit der Sohle geachtet werden. Um neuen Schäden an der instand gesetzten Oströhre durch die Sanierungsarbeiten in der Weströhre vorzubeugen, wurde mit Blick auf das Gesamtterminprogramm und zur Vermeidung von Risiken beschlossen, die Sanierung der kritischen Bereiche in der Weströhre erst dann zu beginnen, wenn die Innenschale der Oströhre im Sanierungsbereich fertig gestellt ist und der Beton des letzten Blockes ein Alter von 5 Tagen aufweist. Ob sich all diese Umstellungen und Massnahmen in der Praxis bewähren werden, liess sich zur Drucklegung dieses Beitrags noch nicht beurteilen.

Der Unternehmer wurde mit der Sanierung der beiden Abschnitte vor ganz neue Herausforderungen gestellt. Das Sanierungskonzept war so auszulegen, dass die beiden Tunnelvortriebe bei täglichen Vortriebsleistungen bis zu 20 m sowie die Querschlagbaustellen ohne wesentliche Behinderungen arbeiten konnten. Dies erforderte nebst mehreren zusätzlichen baulegistischen Querschlägen für das Umfahren der Sanierungsbaustelle zweckmässiges Gerät. Für den Abbruch des Gewölbes wurde ein Tunnelbagger Liebherr 944 mit massivem Spitzhammer eingesetzt. Zuvor waren

## 7 Findings

The eastern bore was first redeveloped for construction logistical reasons as the floor lifts here had reached a critical level so that there was the danger that it would be impossible to ensure that trackbound traffic to the drives was safe. First of all the vault was redeveloped from south to north along the entire section due for renewal. The average 2.9 m/work day rate of progress attained here exceeded the expected 2.0 m/work day (Fig. 13).

During the subsequent redevelopment of the floor in 3 m long stages with the help of a 40-t tunnel excavator with heavy pick rates of 6 m/work day were achieved. It should be taken into account here that the floor support consisted of up to 45 cm of shotcrete, five to six 8 m long self-drilling anchors as well as reinforcement nettings (Fig. 14).

In the course of the redevelopment work it was soon revealed that the entire zone reacted with great sensitivity to any intervention. The work produced new redistributions of forces and movements so that the new support that had been installed in the vault was partially damaged again contrary to expectations. This called for additional anchorage with three 8 m long injection drilling anchors with a 53 t breaking load over a distance of 160 m prior to redeveloping the floor, something which was only possible as the redevelopment of reserve space was planned from the very outset. In this way the radial displacements in the redevelopment zone were stabilised at approx. 6 cm. During the renovation work in the vault in the redevelopment section East additional floor lifts of around 30 cm occurred. Control measurements with height micrometers and measurement anchors show that the redeveloped floor no longer lifts.

The influence of redevelopment on the western bore was also clearly measurable and visible, something attributable to the higher degree of destruction of the excavation support (Fig. 15).

Based on these findings the redevelopment work in the western bore was adjusted accordingly. Immediate ring closure was admittedly excluded as it possesses scarcely acceptable disadvantages in constructional engineering terms, but is still conceivable as a fallback level. It was established that the failure of the shotcrete shell in the roof in the eastern bore was largely attributable to local bending stress. This danger has been countered by means of a reinforced systematic, up to 8 m long anchorage in the western bore. Floor blocks whose level once completed was initially below the tolerance limit had to be removed and produced afresh during the redevelopment of the vault. As a consequence the floor blocks in the western bore are solidly back-anchored. The sections of Type B (local arch support) foreseen for part-redevelopment had to be completely redeveloped for the most part on account of additional deformations and resultant under-profile.

aber alle Versorgungsleitungen für die nördlichen 3 Vortriebe im Sanierungsbereich (Wasser- und Druckluftleitungen, Stromversorgung etc.) in die andere Tunnelröhre umgelegt worden. Zur Beherrschung der Logistik wurde auch zusätzliches Rollmaterial eingesetzt, welches die verlängerten Zufahrtszeiten kompensierte.

Da der Durchgangsverkehr zu den Vortrieben ausschliesslich in der Nachbarröhre verlief, war die Sanierungsbaustelle davon nicht betroffen. Die Arbeiten wurden in einem 4/3-Betrieb so ausgeführt, dass die Mannschaft immer im gesicherten Teil tätig war. Die Arbeitsstelle wurde mittels Gleisbetrieb erschlossen. Das Personal ist in Faido via Zuganstollen zugestiegen, die Ab- und Antransporte von Material erfolgten mittels Stollenbahn ab dem 19 km entfernten Installationsplatz Bodio.

Die Arbeiten in der Oströhre befanden sich im Frischluftstrom, diejenigen in der Weströhre im Abluftstrom der TBM-Vortriebe, weshalb eine zusätzliche Kühlung der warmen Abluft nötig war.

Es ist dem Unternehmer dank guter Organisation bisher gelungen, die Versorgung der beiden Vortriebe Richtung Sedrun zu gewährleisten, sodass weiterhin gute Vortriebsleistungen erzielt werden konnten.

### 8 Fazit

Die grossen Deformationen zu Beginn des TBM-Vortriebs Faido waren unerwartet und liegen im Bereich des geologischen Restrisikos. Sie konnten dank guter Vorbereitung ohne Vortriebsunterbrechung gemeistert werden, weshalb sich die Auswirkungen auf den zeitkritischen Vortrieb auf ein Minimum beschränkten.

Die jetzt notwendigen Sanierungsmassnahmen sind anspruchsvoll und dauern voraussichtlich rd. 1½ Jahre, d. h., sie werden aus heutiger Sicht kurz vor dem Durchschlag Faido/Sedrun fertiggestellt sein. Die Sanierung erweist sich als schwierig, weil das Verhalten des Felsens immer wieder neue Überraschungen zeigt. Es müssen sehr schnell wichtige Entscheidungen getroffen werden, was nur gelingt, wenn das Zusammenspiel Unternehmer – Bauleitung – Projekt-Ingenieur – Bauherr gut funktioniert und der Unternehmer flexibel ist und sofort reagiert. Es zeigt sich, dass auch bei der Sanierung die gegenseitige Beeinflussung der beiden Röhren wesentlich ist und genau beobachtet werden muss. So kann die Sanierung der Weströhre erst begonnen werden, wenn das Innengewölbe der Oströhre erstellt ist. Diese Einschränkung löst bei den Nachfolgearbeiten baubetriebliche und organisatorische Sondermassnahmen aus, um die anspruchsvollen Ziele des Gesamtprogramms einhalten zu können.

Die geplante Sanierungsleistung im Gewölbe der Oströhre von 2 m/AT konnte – auch dank eines finanziellen Anreiz-



16 Fertig sanierte Oströhre  
Completely redeveloped eastern bore

As part-redevelopment B furthermore did not turn out to be any faster than total redevelopment the sections originally classified as part-redevelopment in the western bore, are now being subjected to total redevelopment. In addition more attention must be paid to the gravity activated connection of the vault support with the floor. In order to avoid new damage in the redeveloped eastern bore resulting from the redevelopment work in the western one, it was decided with regard to the overall schedule as well as to avoid risks that redevelopment of the critical sections in the western bore should first of all begin once the inner shell of the eastern bore in the redevelopment section is finished and the concrete of the final block is 5 days old. When this report went to print it still could not be assessed whether all these modifications and measures have proved themselves in practice.

The contractor was faced with completely new challenges when the two sections had to be redeveloped. The redevelopment concept was to be arranged in such a manner that the two tunnel drives could forge ahead given daily rates of advance of up to 20 m and that no serious hindrances impeded work on the cross-passages. Apart from various additional construction logistical cross-passages for relocating the redevelopment site this called for efficient equipment. A Liebherr 944 tunnel excavator with compact pick was employed for demolishing the vault. However prior to this all supply lines for the northern 3 drives in the redevelopment section (water and compressed air lines, power supply etc.) were relocated in the other tunnel bore. Additional rolling stock was also used, which compensated for the longer access times, to master the logistics.

As through traffic leading to the drives only ran in the neighbouring bore, the redevelopment construction site remained unaffected by this. The work was executed in a 4/3 operation in such a way that the crew was always engaged in the secured section. The working place was accessed by track-bound traffic. The workforce boarded in Faido via the access tunnel, material was supplied and removed via the tunnel railway from the Bodio installation yard 19 km away.

Work in the eastern bore was undertaken in a fresh air current, whereas in the western bore operations forged ahead in

systems, welches eine Win-Win-Situation geschaffen hat – auf durchschnittlich 2,9 m/AT gesteigert werden (Bild 16).

Dank guter Organisation der Unternehmung war der Einfluss auf den während der ganzen Sanierungsarbeit weitergeführten Vortrieb kaum spürbar, obwohl zwei Vortriebsbaustellen über mehrere Monate nur über eine Tunnelröhre versorgt werden mussten.

Das Auffahren der heute zu sanierenden Zone im konventionellen Sprengvortrieb anstelle des TBM-Vortriebs hätte sich damals wegen der rd. fünfmal geringeren Leistung mit einer Verspätung von etwa 130 Arbeitstagen oder 4 Monaten auf das Gesamtterminprogramm ausgewirkt (ohne Berücksichtigung der Umstellungszeit).

An dieser Stelle sei allen herzlich gedankt, die sich den Schwierigkeiten gestellt haben und mit ihrer guten Arbeit auf allen Stufen zum Erfolg dieses heiklen Vorhabens beigetragen haben.

### Literatur

- [1] Gollegger, J.; Priller, A.; Rausch, M. (2009): „Einsatz von offenen Tunnelbohrmaschinen bei druckhaftem Gebirge im Gotthard-Basistunnel“, Geomechanik-Kolloquium Salzburg
- [2] Flury, S.; Priller, A. (2009): „Erfolgreiche Durchörterung der Piora-Mulde im Teilabschnitt Faido“, Tunnel 4/2009
- [3] Boissonnas, Y. (2009): „Tunnelbau in druckhaftem Gebirge“, Vortrag am Kolloquium an der ETH Zürich
- [4] Flury, S. (2009): „Gotthard-Basistunnel, Abschnitt Faido – Umgang mit Chancen und Gefahren im anspruchsvollsten Abschnitt des Gotthard-Basistunnels“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2009
- [5] Ehrbar, H. (2008): „Gotthard Base Tunnel, Switzerland, Experiences with different tunnelling methods“, Seminario Internacional „South American Tunnelling“
- [6] Ziegler, H.-J. (2008): „Gotthard-Basistunnel – Geologische Erkenntnisse“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2008
- [7] Böckli, O. (2008): „Teilabschnitt Faido – Bisherige Erfahrungen mit dem TBM-Vortrieb“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2008
- [8] Kissling, E.; Rehbock-Sander, M. (2007): „Gotthard-Basistunnel – Bergschläge und Mikrobeben in der MFS Faido“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2007

the exhaust air produced by the TBM drives so that additional air-conditioning was needed to cool the hot exhaust air.

Thanks to good organisation the contractor has so far succeeded in ensuring that the two drives towards Sedrun are kept supplied so that good rates of progress could continue to be achieved.

### 8 Conclusion

The major deformations at the start of the Faido TBM drive were unexpected and are embraced by the geological residual risk. Thanks to good preparation they were mastered without a day being lost for excavating so that the effects on the time-critical drive were restricted to a minimum.

The redevelopment measures that are now required are complex and will probably last for 1½ years, i.e. seen from this point of time they will most likely be completed shortly before the Faido/Sedrun breakthrough. Redevelopment has turned out to be tricky because the behaviour of the rock constantly provides new surprises. Important decisions have to be made very quickly, something that can only be achieved when collaboration between the contractor – construction management – project engineer – and client functions well and the contractor is flexible and capable of reacting immediately. It has been revealed that the mutual influence exerted by the two bores on one another is considerable and must be observed carefully – also during the redevelopment phase. As a result the western bore can first be redeveloped once the eastern one's inner vault is produced. This restriction calls for special measures in terms of construction management and organisation during the follow-up operations so that the sophisticated targets of the overall programme can be adhered to.

The planned redevelopment rate of progress in the vault of the eastern bore amounting to 2 m/work day – also thanks to a financial stimulation system, which produced a win-win situation – was increased to an average of 2.9 m/work day (Fig. 16).

Thanks to good organisation on the part of the contractor any influence on driving, which continued throughout the entire redevelopment phase, was scarcely perceptible although 2 construction sites had to be supplied via only one tunnel bore for several months on end.

Driving the zone requiring redevelopment using conventional drill+blast instead of the TBM excavation would at the time had the effect of causing a delay of some 130 days or 4 months to the overall schedule (without taking the conversion period into account) owing to the roughly 5 times lower rate of progress.

At this point hearty thanks to all those, who faced the difficulties and who contributed towards the success of this tricky project through their outstanding work during all its phases.

Andreas Schaab, Dipl.-Bauing., Hochtief Consult Materials, Frankfurt am Main/D

# Beton, Baustoff des Tunnelbaus

## Betontechnologie der Teilabschnitte Bodio/Faido am Gotthard-Basistunnel

Die Vortriebs- und Ausbauarbeiten der beiden südlichsten Baulose des Gotthard-Basistunnels werden zeitlich parallel ausgeführt. Dies hat zusammen mit langen Transportdistanzen und hohen Temperaturen Auswirkungen auf Logistik und Betontechnologie. Neuland wird mit der erstmaligen grosstechnischen Verwendung von glimmerreichen Brechsanden bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile betreten. Die erarbeiteten Lösungen und gemachten Erfahrungen werden erläutert.

# Concrete, the Material for building Tunnels

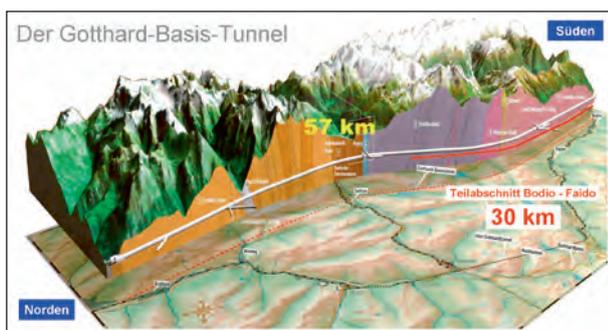
## Concrete Technology of the Gotthard Base Tunnel's Bodio/Faido Part-Sections

The driving and supporting work for the two southernmost part-sections (TA) of the Gotthard Base Tunnel is being undertaken simultaneously. This has an effect on the logistics and concrete technology in conjunction with long transportation distances and high temperatures. New ground is being broken with the first application on a grand scale of crushed sands rich in mica for producing high-grade structural elements. The devised solutions and the ensuing findings explained.

### 1 Einleitung

Die Teilabschnitte Bodio und Faido (Bild 1) sind die südlichsten Abschnitte des 57 km langen Gotthard-Basistunnels. Der 15 km lange Teilabschnitt Bodio und der 14 km lange Teilabschnitt Faido werden als Loskombination vom Consorzio TAT (Implenia [CH], Alpine [A], Hochtief [D], Impregilo [I], CSC [CH]) erstellt.

Die beiden Haupttröhren von Bodio nach Faido wurden mit 2 Tunnelbohrmaschinen aufgeföhrt, während zeitgleich in Faido die Multifunktionsstelle im Sprengvortrieb erstellt wurde. Nach Ankunft der Tunnelbohrmaschinen in Faido wurden diese umgerüstet, revidiert und befanden sich Ende 2009 noch ca. 3 km vor der Losgrenze Sedrun. Die beiden letzten Hauptdurchschläge des Gotthard-Basistunnels werden im Herbst 2010 erwartet.



1 Der Gotthard-Basistunnel  
The Gotthard Base Tunnel

### 1 Introduction

The Bodio and Faido part-sections (Fig. 1) are the 2 southernmost of the 57 km long Gotthard Base Tunnel. The 15 km long Bodio part-section and the 14 km long Faido part-section are being produced in combination by the Consorzio TAT (Implenia [CH], Alpine [A], Hochtief [D], Impregilo [I], CSC [CH]).

The 2 main bores from Bodio to Faido were driven by 2 tunnel boring machines whereas the multi function station (MFS) at Faido was built by drill+blast at the same time. After the tunnel boring machines reached Faido they were overhauled and inspected and at the end of 2009 were still located some 3 km away from the Sedrun section boundary. The 2 final main breakthroughs for the Gotthard Base Tunnel are expected in autumn 2010.

One of the most substantial challenges for these 2 contract sections is the high degree of the execution of driving and supporting operations parallel to one another. This has an effect on the logistics and concrete technology in conjunction with long transportation distances and high temperatures. In addition a further technological challenge has to be mastered with the application of crushed sands that are rich in mica being used on a large scale for the production of high-grade concrete for qualitatively high-standard structural elements.

### 2 The Client's Specifications

The planning of the Gotthard Base Tunnel calls for 100 years' service life without any major renovation measures.

## Béton, le matériau du construction de tunnels

### La technologie du béton des sections Bodio/Faido dans le tunnel de base du Saint-Gotthard

Les travaux d'excavation et de construction des deux lots Sud du tunnel de base du Saint-Gotthard sont réalisés simultanément. Conjuguée aux grandes distances de transport et aux fortes températures, cette méthode a des retombées sur la logistique et sur la technologie du béton. Avec la première utilisation industrielle de sables concassés riches en mica pour la fabrication d'éléments de construction de très haute qualité, on avance en terrain inconnu. Les solutions élaborées et les expériences faites sont commentées.

## Calcestruzzo, il materiale per la costruzione delle gallerie

### Tecnologia del calcestruzzo nelle tratte Bodio/Faido della galleria di base del San Gottardo

I lavori di avanzamento e di costruzione delle due tratte sud della galleria di base del Gottardo vengono eseguiti simultaneamente. Le lunghe distanze di trasporto e le elevate temperature, henno ripercussioni sulla logistica e sulla tecnologia del calcestruzzo. È stata esplorata una nuova applicazione che ha previsto per la prima volta l'utilizzo sabbia frantumata ricca di mica nella produzione di elementi costruttivi qualitativamente elevati. Vengono qui spiegate le soluzioni adottate e le esperienze acquisite.

Eine der wesentlichsten Herausforderungen dieser beiden Losabschnitte ist der hohe Grad an Parallelisierung der Vortriebs- und Ausbauarbeiten. Dies hat zusammen mit langen Transportdistanzen und hohen Temperaturen Auswirkungen auf Logistik und Betontechnologie. Zusätzlich muss mit der erstmaligen grosstechnischen Verwendung von glimmerreichen Brechsanden bei der Betonherstellung für qualitativ hochwertige Bauteile eine weitere technologische Herausforderung bewältigt werden.

## 2 Vorgaben durch den Bauherrn

Die Planung des Gotthard-Basistunnels fordert eine 100-jährige Nutzungsdauer ohne grössere Sanierungsmassnahmen. An den wichtigsten Baustoff des Tunnelbaus – den Beton – werden deshalb entsprechend hohe Anforderungen gestellt. Eine dieser Anforderungen ist die Schonung der natürlichen Ressourcen des Alpenraumes. Deshalb soll das Tunnelausbruchmaterial weitestgehend wiederverwertet werden. Auf der Alpensüdseite besteht dies überwiegend aus glimmerreichen Gneisen, deren Anteil an Schichtsilikaten wie Biotit

Consequently high demands are placed on the most important material for building the tunnel – concrete. One of these demands is to protect the natural resources of the Alpine region. This why the tunnel spoil is to be reutilised as far as possible. On the south side of the Alps this mainly constitutes gneisses that are rich in mica, whose share of sheet silicates such as biotite or muscovite is generally very high but fluctuates according to the geology. In order to produce high-grade concrete so far no sands or rock grains with such a high degree of sheet silicates have been used either at national or international level. As a result the client the AlpTransit Gotthard AG had extensive preparatory and concrete tests undertaken in advance within the scope of a feasibility study. These were carried out by Swiss research institutes, consulting engineers and material specialists from manufacturers of cement and concrete admixtures. The results of their examinations led to quality specifications for the aggregates (Table 1) as well as to minimum fresh and solid concrete properties that have to be adhered to. The client decided on executing a prequalification procedure to assure the required material quality. Only so-called system providers were

*Tabelle 1: Qualitätsvorgaben für Betonzuschlagstoffe*

Granulometrie	Sand	Siebanalysen	Referenzsieveblinie
		Splitt	Siebanalysen
Kornform	Splitt		EN 933-3
Alkali-Aggregat-Reaktion	Splitt		AFNOR P18-588
Petrografie	Sand	Auszählen 0,25/0,5	35 Stück-%
Gesteinhärte	Rohmaterial	Brechbarkeitsindex	AFNOR P 18-579
	Splitt	Los-Angeles-Index	EN 1097-2

*Table 1: Quality parameters for concrete aggregates*

Granulometry	Sand	Screen analyses	Reference grading curve
		Chippings	Screen analyses
Grain form	Chippings		EN 933-3
Alkali Aggregate Reaction	Chippings		AFNOR P18-588
Petrography	Sand	Count 0.25/0.5	35 parts-%
Rock hardness	Raw material	Crushability index	AFNOR P 18-579
	Chippings	Los Angeles index	EN 1097-2

# Beton, Baustoff des Tunnelbaus •

## Betontechnologie der Teilabschnitte Bodio/Faido am Gotthard-Basistunnel

Tabelle 2: Anforderungen an die beiden Ortbetonsorten

Ortbeton		OB 1	OB 2
Festigkeitsklasse	[-]	B 45/35	B 45/35
Frühfestigkeit nach 12 Std. (18 Std.)	[N/mm <sup>2</sup> ]	≥5	≥5
Wasserleitfähigkeit (SIA 162)	[g/m <sup>2</sup> h]	≤12	≤8
Chemischer Widerstand	[-]	-	XA 2
Mindestzementgehalt	[kg/m <sup>3</sup> ]	325	330
w/z-Wert	[-]	≤0,50	≤0,50
Verarbeitungszeit (pumpbar bei 25–30 °C)	[h]	6	6

oder Muskovit entsprechend der Geologie schwankend und im Allgemeinen auf sehr hohem Niveau ist. Zur Herstellung von qualitativ hochwertigem Beton wurden bisher sowohl national als auch international keine Sande oder Gesteinskörnungen mit einem derart hohen Anteil an Schichtsilikaten verwendet. Deshalb hat der Bauherr, die Altransit Gotthard AG, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie umfangreiche Aufbereitungs- und Betonversuche im Vorfeld der Baumassnahme durchführen lassen. Diese wurden von Schweizer Forschungsinstituten, Ingenieurbüros und Baustoffspezialisten der Hersteller von Zement und Betonzusatzmitteln durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse führten zu einem zu Qualitätsvorgaben für die Zuschlagstoffe (Tabelle 1) und zum anderen für die mindestens einzuhaltenden Frisch- und Festbetoneigenschaften. Zur Sicherstellung der geforderten Baustoffqualität entschloss sich der Bauherr, ein Präqualifikationsverfahren durchzuführen. An diesem durften sich ausschliesslich sogenannte Systemanbieter beteiligen. Diese setzten sich jeweils aus einem Zement- und einem Zusatzmittelhersteller zusammen. In umfangreichen Labor- und Feldversuchen wurden mittels auserwählten Zuschlagstoffen Betonrezepturen entwickelt und deren Frisch- und Festbetoneigenschaften nachgewiesen. Bereits in dieser Phase wurde mit Gesteinskörnungen aus den entsprechenden Losabschnitten gearbeitet. Der Tunnelbauunternehmer darf dann in der Ausführung ausschliesslich zugelassene Betonrezepturen der Systemanbieter anwenden. Die Frisch- und Festbetonanforderungen der beiden wichtigsten Betonsorten OB 1 (nicht sulfatbeständig) und OB 2 (sulfatbeständig) sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

### 3 Anforderungen aus dem Baubetrieb

Der maschinelle Tunnelbau erfordert per se eine optimal funktionierende Logistik zur Gewährleistung hoher Vortriebsleistungen. Diese wird üblicherweise nur durch die Tunnelvortriebsmaschine und die vorherrschende Geologie limitiert. Mit zunehmender Tunnellänge kommt der Leistungsfähigkeit von Logistik und Gleisnetz eine immer grössere Bedeutung zu, weil diese die Produktivität erheblich beeinträchtigen kann. Die Ver- und Entsorgung aller Teilbaustellen erfolgt, wie bei langen Streckentunneln üblich, gleis-

Table 2: Requirements on the 2 types of in situ concrete

In situ concrete		OB 1	OB 2
Strength class	[-]	B 45/35	B 45/35
Early setting strength after 12 h (18 h)	[N/mm <sup>2</sup> ]	≥5	≥5
Water conductivity (SIA 162)	[g/m <sup>2</sup> h]	≤12	≤8
Chemical resistance	[-]	-	XA 2
Minimum cement content	[kg/m <sup>3</sup> ]	325	330
W/C value	[-]	≤0.50	≤0.50
Processing time (pumpable at 25–30 °C)	[h]	6	6

allowed to participate. These constituted in each case one manufacturer of cement and another of admixtures. In extensive lab and field tests concrete recipes were developed on the basis of selected aggregates and their fresh and solid properties proved. Rock aggregates from the corresponding contract sections were already being used at this stage. The tunnel contractor was then only allowed to make use of concrete recipes from the system providers during the execution phase. The fresh and solid concrete requirements for the 2 most important types of concrete OB 1 (non sulphate resistant) and OB 2 (sulphate resistant) are reproduced in Table 2.

### 3 Requirements posed by Construction Management

In essence mechanised tunnels require optimally functionally logistics to assure high rates of advance. Normally this is only restricted by the tunnel boring machine and the prevailing geology. As the tunnel length grows, an increasing importance is attached to the effective capacity of the logistics and track network because these can considerably influence productivity. Supply and disposal for all part-sections is undertaken by track using tunnel railways as is normally the case for long tunnels, set up on 2 sets of rails per tunnel bore. Optimisation of construction times especially for long tunnels makes a partial parallelisation of driving and supporting operations necessary in keeping with the schedule. This makes logistics more difficult and reduces the performance of certain part-processes. Nonetheless cycle times are calculated and called for in order to achieve the ambitious production rates of the kind customary for a normal tunnel length without parallelisation of driving and supporting. Thus for example for the inner vault in spite of such barriers to progress, standard performances of at least 1 work cycle per day are called for. In this connection the risks of delays resulting from breakdowns of trains, pumps or other components are taken as little into consideration as are extended cycle times caused by greater volumes of concrete or higher proportions of steel for the vault to secure stability given geologically initiated fault zones – alternatively the delays caused by such risks have to be absorbed and compensated for through corresponding operational measures.

gebunden durch Stollenbahnen auf jeweils 2 Schienensträngen je Tunnelröhre. Die Optimierung der Bauzeiten insbesondere bei langen Tunneln macht eine teilweise Parallelisierung von Vortriebs- und Ausbauarbeiten planmässig notwendig. Dies erschwert die Logistik und reduziert die Leistung einzelner Teilprozesse. Trotzdem werden zum Erreichen der ambitionierten Produktionsleistungen Taktzeiten kalkuliert und abverlangt, wie diese bei normaler Tunnellänge ohne Parallelisierung von Vortrieb und Ausbau üblich sind. So werden beispielsweise beim Innengewölbe, trotz dieser Hemmnisse, die üblichen Leistungen von mindestens einem Arbeitstakt pro Tag erwartet. Dabei werden die Risiken für Verzögerungen wie Ausfälle von Zügen, Pumpen oder anderer Anlagenteile genauso wenig berücksichtigt wie verlängerte Taktzeiten durch grössere Betonvolumen oder höheren Stahlanteil der Gewölbe zur Sicherstellung der Standsicherheit bei geologisch bedingten Störzonen – respektive sind die Verzögerungen resultierend aus diesen Risiken durch entsprechende baubetriebliche Massnahmen abzufangen und zu kompensieren.

#### 4 Anforderungen aus Logistik und Beschleunigungsmassnahmen

Durch die, gegenüber der Prognose, deutlich ungünstigere Geologie der Südabschnitte kam es zu spürbareren Bauzeitverzögerungen, die durch Beschleunigungsmassnahmen teilweise kompensiert werden sollen. Dies führt zu einer weiteren Verdichtung und Parallelisierung der Ausbauarbeiten und erhöht das logistische Konfliktpotenzial, speziell an den neuralgischen Engstellen des Gleisnetzes, erheblich. Die Ursachen dafür sind notwendige Sperrungen eines Gleisbereichs für Arbeitsstellen, z. B. für den weiteren Innenausbau des Gewölbes, für Wartung von Gleisen und Versorgungseinrichtungen für Wasser und Elektrizität. Zusätzliche Teilbaustellen zur Beschleunigung führen zu einer Erhöhung der Transportleistung bei gleichzeitiger Einschränkung der Netzverfügbarkeit. Die Lösung liegt in einer immer engeren Vertaktung der einzelnen Teilprozesse. Dies führt zu deutlich geringeren Zeitpuffern zwischen den Arbeitstakten. Abweichungen von dem geplanten Soll haben dann unmittelbar Auswirkungen auf andere Teilbaustellen und führen schnell zu Verzögerungen und Produktionsänderungen.

Dies hat auch Auswirkungen auf die Betontechnologie. Es muss sichergestellt werden, dass die Frischbetoneigenschaften eine ausreichend hohe Toleranz gegenüber Produktionsänderungen gewährleisten, ohne dabei eine hohe Gleichmässigkeit in der Frühfestigkeitsentwicklung einzubüssen. Dazu sind fein abgestimmte Rezepturen notwendig, die je nach Situation vom Produktionsverantwortlichen vor Ort bestellt werden können.

Der Betontransport erfolgt gleisgebunden in speziellen Transportwagen (Bild 2). Mit einer Zugfahrt werden bis zu 60 m<sup>3</sup> Beton an bis zu 30 km entfernte Einbaustellen transportiert. Während des Transports darf es weder zum Entmi-

#### 4 Requirements posed by Logistics and Acceleration Measures

As a result of the geology of the southern sections, which was considerably more unfavourable than forecast, perceptible delays in construction time ensued, which were partially compensated by acceleration measures. This led to compressing and parallelisation of the supporting measures and substantially increased the potential for logistic conflicts especially at the neuralgic bottlenecks of the track network. The reasons for this can be attributed to necessary closures of a track section for work sites, e.g. for further support work on the vault, for the maintenance of tracks and supply installations for water and electricity. Additional temporary work sites to speed things up lead to the transportation rate being increased while network availability is at the same time restricted. The solution is to be found in an ever closer intermeshing of the individual part-processes. This leads to considerably narrower time buffers between working cycles. Deviations from the scheduled target then have direct effects on other part-work sites and quickly lead to delays and alterations to production.

This also affects the concrete technology. It must be assured that the fresh concrete properties possess a sufficiently high tolerance vis-à-vis alterations to production without causing high homogeneity to be lost in the early strength development. Towards this end finely attuned recipes are necessary, which can be commissioned by those responsible for production on the spot depending on the circumstances.

Transportation of concrete is executed trackbound in special cars (Fig. 2). Up to 60 m<sup>3</sup> of concrete is carried to installation points up to 30 km away. During transportation there must be no demixing or flow loss of the concrete. The placing properties as well as the early strength development are of decisive importance for maintaining the prescribed cycle. In order to be able to control these diametric fresh and solid concrete requirements, consistent control of all production



2 Betonzug beim Beladen unter der Betonanlage  
Concrete train being loaded under the concrete plant

schen, noch zum Rücksteifen des Betons kommen. Zur Einhaltung des vorgegebenen Taktes sind sowohl die Einbaueigenschaften als auch die Frühfestigkeitsentwicklung des Betons von entscheidender Bedeutung. Um diese diametralen Frisch- und Festbetonanforderungen zu steuern, ist eine konsequente Kontrolle sämtlicher Produktionsparameter und Ausgangsmaterialien genauso unerlässlich wie regelmässige Qualitätsprüfungen am Einbauort.

Um unvorhergesehene Verzögerungen, die über das geplante Sicherheitszeitfenster hinausgehen, möglichst schadenfrei zu überstehen, sind besondere Massnahmen vorzusehen. Dazu zählen primär Konzepte zur Reduzierung von kalten Arbeitsfugen bei begonnenen Betonarbeiten. Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass bei Überschreitung der Verarbeitungszeit des Frischbetons dieser, ohne vorher im Transportgefäss zu erstarren, noch zur Entsorgungsstelle transportiert werden kann (Bild 3). Die Umsetzung dieser nur im Ernstfall vorgesehenen Arbeitsprozesse bedarf einer guten Planung und Dokumentation, aber noch wichtiger, einem Bewusstsein aller handelnden Personen, wann und welche Massnahmen wie umzusetzen sind.

### 5 Erfahrungen zu Beginn des Baubetriebs

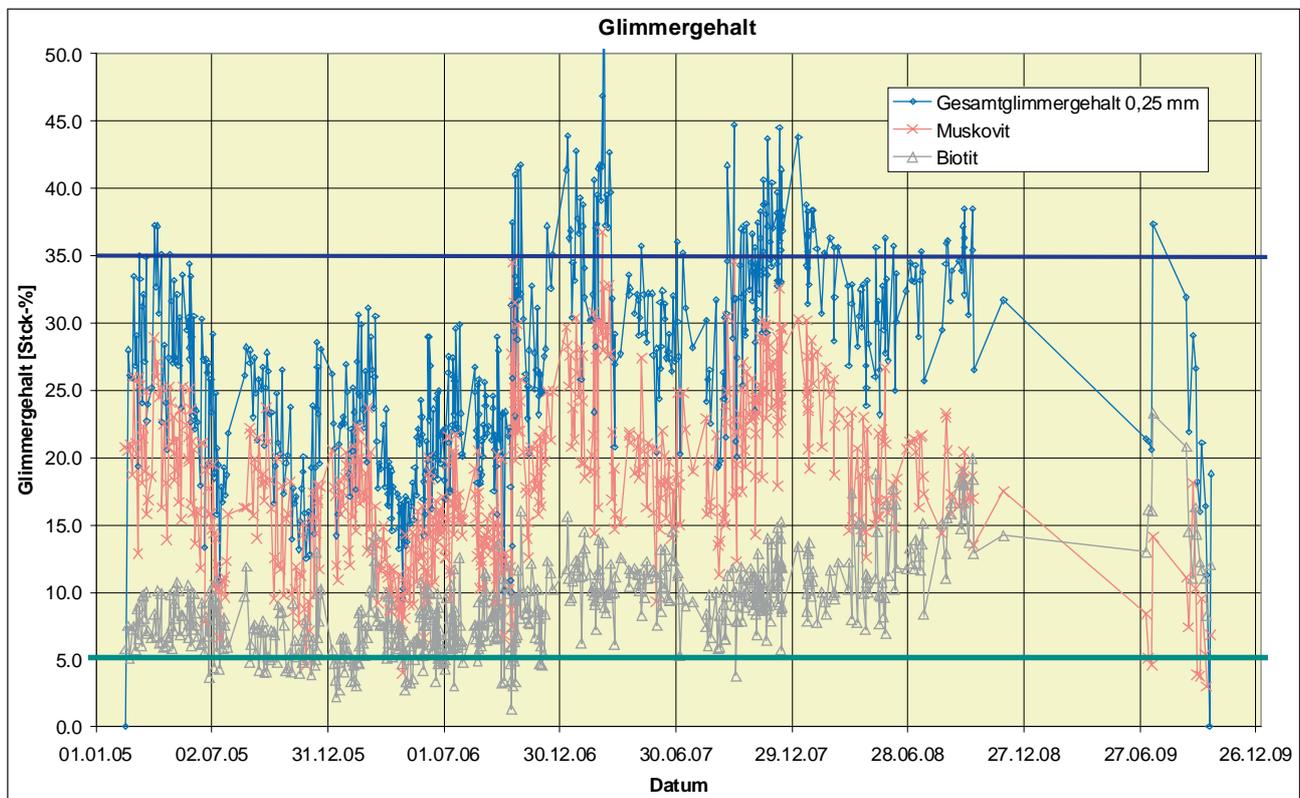
Die im Rahmen der Präqualifikation geprüften Betonrezepturen basierten für den sulfatbeständigen OB 2 auf einem Portlandsilikaustaubzement, einem Fließmittel auf Basis von



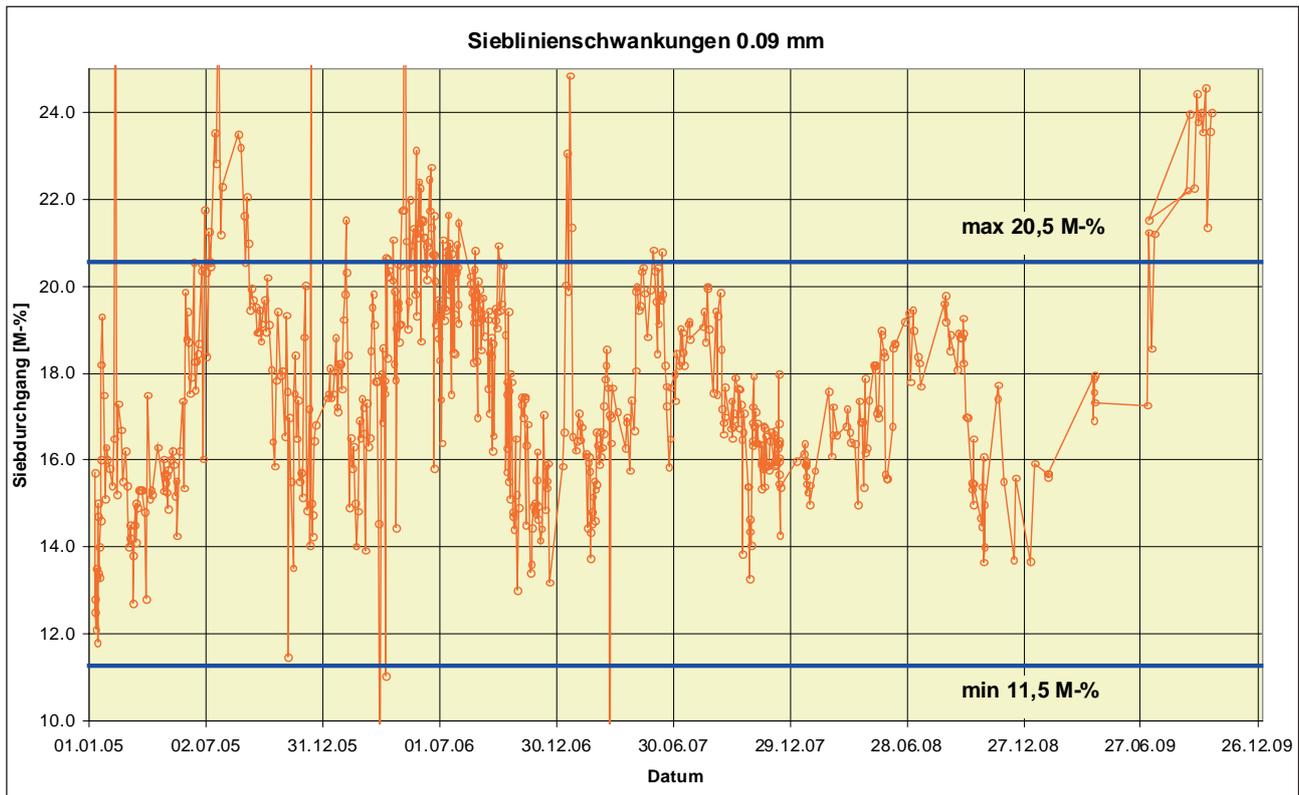
3 Havariekonzept zur Verhinderung zubetonierter Betonzüge  
Retrieval concept to prevent concreted over concrete trains

parameters and basic materials is absolutely essential as well as regular quality checks at the installation point.

Special measures are necessary to survive unforeseen delays, which extend beyond the scheduled safety frame. These primarily include concepts for reducing cold working joints for concreting work that has been embarked on. In addition it must be ascertained that if the processing time of the fresh concrete is exceeded that it can be transported to the point of disposal without previously setting in the transport vessel (Fig. 3). The implementation of these working processes, which are only foreseen in an extreme case, calls for good planning and documentation, but even more important



4 Variationen des Gesamtglimmergehaltes und der Glimmerarten im Zeitraum 2005 bis 2009  
Variations of the total mica content and types of mica during the period 2005 till 2009



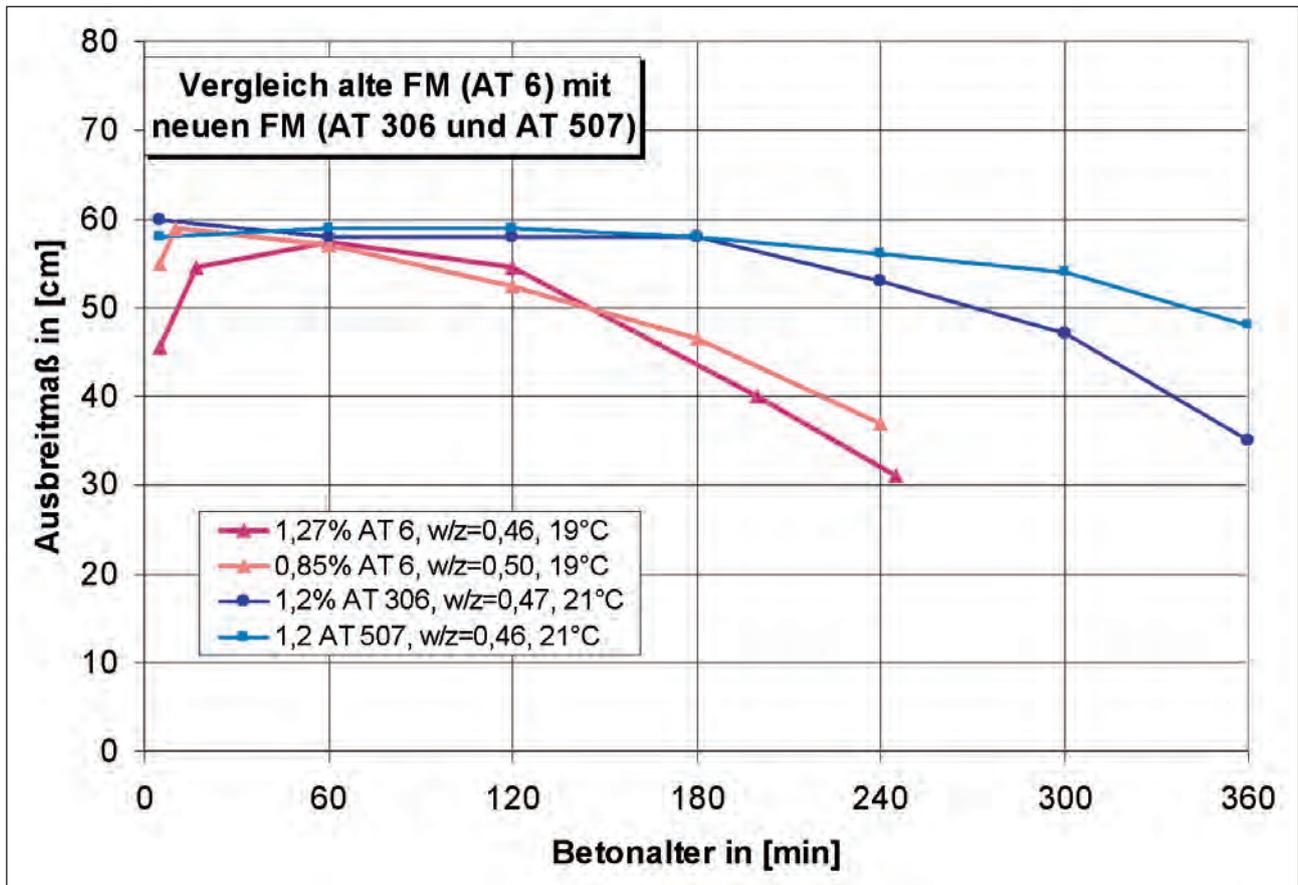
5 Variationen des Siebdurchganges 0,09 mm mit Grenzwerten im Zeitraum 2005 bis 2009  
 Variations of the 0.09 mm screen passage with limit values during the period 2005 till 2009

Polycarboxylatethern der ersten Generation, einem Verzögerer und einer Pumpherleichterung sowie den zu 100 % gebrochenen Gesteinskörnungen, die aus dem Tunnelausbruchmaterial hergestellt wurden. Aufgrund des gleich zu Vortriebsbeginn hohen Gehalts an Schichtsilikaten wurde diese geprüfte Rezeptur sofort einer harten Realprüfung unterzogen. Dabei wurde beobachtet, dass der Beton trotz aller Anpassungen von Zusatzmittelgehalt und Sieblinienzusammensetzung grosse Konsistenzschwankungen am Einbauort hatte. Diese beeinflussten teilweise auch die Vortriebsgeschwindigkeit. Durch das vorzeitige Ansteifen des Sohlenbetons wurden die Verarbeitungsbedingungen deutlich erschwert und die benötigte Einbauzeit verlängert. Zur Vermeidung von kalten Arbeitsfugen während der Betonage konnte nur der Gehalt an Abbindeverzögerer erhöht werden, die Einbaubindungen infolge Rücksteifens wurden dadurch nicht verbessert. Durch den erhöhten Gehalt an Verzögerer und die verlängerte Einbauzeit wurden die erforderlichen Arbeitstakte der Sohle teilweise nicht eingehalten. Schon zu diesem frühen Zeitpunkt in der Projektausführung wurde erkannt, dass die in der Präqualifikation geprüften Betonssysteme unter den realen Ausführungsbedingungen weder den notwendigen Arbeitsfortschritt, noch die geforderten Bauteilqualitäten erfüllen können. Deshalb wurde durch intensive Laborprüfungen nach Lösungen gesucht.

awareness on the part of all persons concerned just when and how such measures have to be taken.

### 5 Findings at the Start of Executing Construction

The concrete recipes tested within the scope of the prequalification process were based for the sulphate resistant OB 2 on a Portland silicate dust cement, a polycarboxylatether-based plasticiser belonging to the first generation, a retarder and a pump aid as well as the 100 % crushed aggregate stemming from the tunnel excavated material. On account of the high sheet silicate content when driving first commenced this tested recipe underwent a tough field test. In this connection it was observed that the cement suffered from major consistency fluctuations at the point of installation in spite of all the adjustments made to additive content and grading curve composition. Through the premature setting of the invert concrete, processing conditions were considerably exacerbated and the necessary installation time prolonged. In order to avoid cold working joints during concreting it was only possible to increase the setting retarder content; the bonding during placing as a result of flow loss was not improved. Through the increased amount of retarder and the extended placing time the required working cycles for the invert were not adhered to in some cases. It was recognised even at this



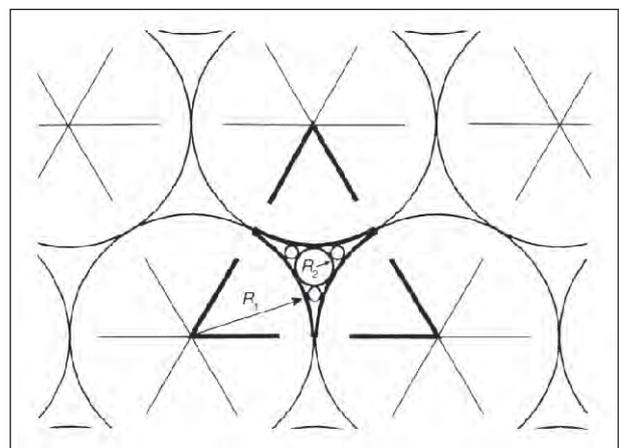
6 Vergleich der Konsistenzentwicklung von Beton mit unterschiedlichen Fließmitteln  
Comparison of the consistency development of concrete with different plasticisers

### 6 Erste Rezepturoptimierungen

Anhand von systematischen Laborversuchen konnten 2 Haupteinflüsse für die extrem ungleichmässigen Eigenschaften des Frischbetons erkannt werden. Diese sind der Gehalt und die Art von Schichtsilikaten im Feinsand (Bild 4) und die wechselnden granulometrischen Schwankungen der Sieblinie (Bild 5).

Durch einen hohen Gehalt an Schichtsilikaten im Feinsand verlor der Beton innerhalb kürzester Zeit seine plastischen Verarbeitungseigenschaften. Insbesondere das Schichtsilikat Biotit wirkt sich hier ungünstig aus. Die Laborversuche zeigten, dass wesentliche Verbesserungen durch neu entwickelte Fließmittel zu erzielen sind. Durch den rasanten Fortschritt bei der Weiterentwicklung der Fließmitteltechnologie im letzten Jahrzehnt bieten sich auf diesem Gebiet ganz neue Möglichkeiten. Fließmittel können heute in weiten Grenzen auf gezielte Eigenschaften und Zemente abgestimmt werden. Die zusätzliche Einbeziehung verschiedener Feinsandproben aus der Produktion in die Fließmittelentwicklung ermöglichte eine Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften der Feinsande. Die Frischbetoneigenschaften konnten dadurch deutlich verbessert und vergleichmässigt werden (Bild 6).

early point in time of implementation that the concrete systems tested during the prequalification phase were incapable of fulfilling either the necessary working progress or the demanded structural qualities under real conditions. As a consequence solutions were sought by dint of intensive lab tests.



7 Dichteste Packung eines Korngemisches – Wirkung von feinsten Füllstoffen  
Tightest packing of a grain mix – effect of finest fillers

# Concrete, the Material for building Tunnels •

## Concrete Technology of the Gotthard Base Tunnel's Bodio/Faido Part-Sections

Tabelle 3: Frisch- und Festbetoneigenschaften

2005 bis 2009		Ortbeton OB 2	Spritzbeton SB 2
Prüfungen	[Stück]	1162	583
Mittelwert	[Mpa]	60	43,3
min.	[Mpa]	45	26,7
max.	[Mpa]	77	68,1
Standard- abweichung	[Mpa]	5,3	5,8
w/z			
Prüfungen	[Stück]	1177	643
Mittelwert		0,45	0,48
min.		0,38	0,43
max.		0,53	0,52
Standard- abweichung		0,03	0,01

Dieser positive Einfluss der geänderten Fließmitteltechnologie war sehr ausgeprägt nur bei der Verwendung des Portlandsilikastaubzementes CEM II AS 52,5 R zu erkennen. Dieser ist Basis für die sulfatbeständigen Ort- und Spritzbetonrezepturen OB 2 und SB 2. Die Rezepturen für den nicht sulfatbeständigen Ortbeton OB 1 für das Innengewölbe oder die Ortbetonsohle sollten ursprünglich mit einem Portlandkalksteinzement CEM II A LL 42,5 N ausgeführt werden. Trotz umfangreicher Optimierungsversuche mit diesem Zement wurde die notwendige Produktionsstabilität dieser Rezepturen nicht erreicht. Der deutlich positivere Effekt des Portlandsilikastaubzementes wird auf das Füllen der Zwickelhohlräume im Sand durch den feinen Silikastaub zurückgeführt (Bild 7). Der Wasseranspruch der Gesamt Rezeptur bei produktionsbedingten Schwankungen der Sieblinie des Sandes wird dadurch gedämpft und die rheologische Gleichmässigkeit wird erhöht [1]. Ein ähnlicher Effekt wurde 1999 auch in Untersuchungen der EMPA zur Verwendung von Schichtsilikaten im Sand festgestellt [2].

Durch die konsequente Umsetzung der Ergebnisse der produktionsbegleitenden Laborversuche konnten spürbare Verbesserungen erzielt werden. Die Frisch- und Festbetoneigenschaften wurden deutlich vergleichmässigt, die geforderten Festbetoneigenschaften konnten teilweise mit erheblichem Sicherheitsabstand gewährleistet werden (Tabelle 3).

Trotz all dieser Optimierung bei der Zementauswahl und den Zusatzmitteln wurden immer wieder Probleme – insbesondere beim Verarbeiten – festgestellt.

- Ein spontanes Rücksteifen während des Transports zur Einbaustelle erschwerte den Betoneinbau.
- Nachverflüssigungen zeigen sich üblicherweise kurz nach dem Mischen. Hier kam es jedoch erst im Zeitraum zwischen der ersten und dritten Stunde nach dem Mischen, d. h. während des Transports zur Einbaustelle, zu einer spürbaren Nachverflüssigung.

Table 3: Fresh and solid concrete properties

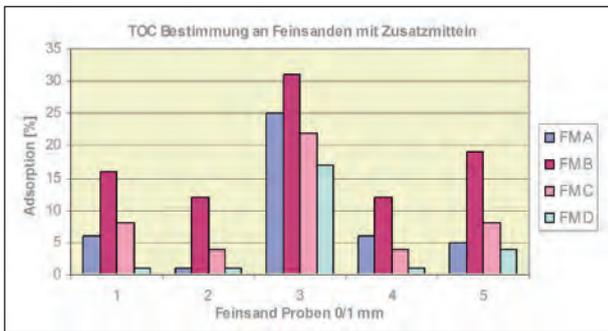
2005 till 2009		In situ concrete OB 2	Shotcrete SB 2
Tests	[No.]	1162	583
Average value	[Mpa]	60	43.3
min.	[Mpa]	45	26.7
max.	[Mpa]	77	68.1
Standard fluctuation	[Mpa]	5.3	5.8
W/C			
Tests	[No.]	1177	643
Average value		0.45	0.48
min.		0.38	0.43
max.		0.53	0.52
Standard fluctuation		0.03	0.01

### 6 Initial Recipe Optimisations

On the basis of systematic lab tests 2 main influences for the extremely uneven properties of the fresh concrete were recognised. These are the content and the nature of sheet silicates in the fine sand (Fig. 4) and the changing granulometric fluctuations of the grading curve (Fig. 5).

As a result of a high sheet silicate content in the fine sand the concrete lost its plastic processing properties within the shortest possible time with the sheet silicate biotite in particular exerting an unfavourable effect. The lab tests showed that substantial improvements can be arrived at by means of newly developed plasticisers. Thanks to the rapid progress attained in further developing plasticiser technology in the past 10 years new possibilities have opened up on this sector. Nowadays plasticisers can be geared to particular properties and cements extending over a wide range. The additional inclusion of various fine sand samples from production in plasticiser development enabled the special properties of the fine sands to be taken into consideration. As a result the fresh concrete properties could be substantially improved and homogenised (Fig. 6).

This positive influence of changed plasticiser technology was very evident only when Portland silica dust cement CEM II AS 52.5 R was applied. This represents the basis for the sulphate resistant in situ concrete and shotcrete recipes OB 2 and SB 2. The recipes for the non sulphate resistant in situ concrete OB 1 for the inner vault or the in situ concrete invert were originally to be executed using a Portland lime cement CEM II A LL 42.5 N. In spite of extensive optimisation tests with this cement it was not possible to attain the required production stability for these recipes. The considerably more positive effect of the Portland silicate dust cement is attributed to the filling of the cavities in the sand with fine silica dust (Fig. 7). As a result the water requirement for the total recipe given production-related fluctuations of the sand's grading curve is curbed as a result and the rheological uniformity is enhanced



**8 Bestimmung des Adsorptionsgrades von verschiedenen Fließmitteln an unterschiedlichen Sandproben nach 1 Stunde**

*Determining the degree of absorption of different plasticisers for various sand samples after 1 h*

Da diese Phänomene unregelmässig und in keinem erklär-  
baren Zusammenhang auftraten, wurde eine detaillierte  
Untersuchung von verschiedenen möglichen Ursachen ein-  
geleitet.

**7 Untersuchungen zum verfrühten Rücksteifen**

Die Entwicklung der Fließmittel erfolgte in erster Linie mit  
dem Ziel, die notwendigen Verarbeitungseigenschaften des  
Frischbetons mit der Frühfestigkeitsentwicklung in Balance  
zu bringen. Wegen der im Feinsand vorhandenen Schicht-  
silikate wurde die Wirkung der Zusatzmittel nicht nur auf den  
Zement abgestimmt, sondern auch auf den Feinsand. Dies  
führte zur der zuvor beschriebenen ersten Lösung.

Im Laufe des Baufortschritts waren kontinuierliche Fließ-  
mittelanpassungen und Neuentwicklungen zur Verlängerung  
des Verarbeitungsfensters notwendig. Durch deren Parallel-  
anwendung wurden unterschiedliche Reaktionen bei Verände-  
rungen des Anteils und der Zusammensetzung der Schicht-  
silikate im Feinsand festgestellt, die nur teilweise im Labor  
nachvollzogen werden konnten. Deshalb wurde durch die  
EMPA an diversen Sandproben die Adsorption der Fließmittel  
ausschliesslich am Feinsand untersucht (Bild 8). Anhand dieser  
Untersuchung konnte erstmals der Einfluss des Feinsandes auf  
die Reaktion der Fließmittel gezeigt werden. Zum einen ist ein  
eindeutiges Ranking der geprüften Fließmittel erkennbar,  
zum anderen wird die grosse Variation in der Adsorption in-  
nerhalb der Sandproben verdeutlicht. Die Adsorption von  
Fließmittel am Feinsand nach einer Stunde variierte bei einer  
Sandprobe zwischen 17 % und 31 %. Diese adsorbierte  
Fließmittelmenge stand nicht mehr zur Konsistenzhaltung zur  
Verfügung und führte zu einem deutlich früheren Ansteifen  
als bei üblichen, akzeptablen Adsorptionsraten unterhalb von  
10 %. Die Ergebnisse der Adsorptionsmessungen korrelierten  
sehr gut mit den Beobachtungen auf der Baustelle.

Insgesamt verdeutlichte die Untersuchung die Problematik  
der Betonherstellung unter diesen wechselnden und unste-  
ten Randbedingungen. Zur Reduktion der Verarbeitungs-

[1]. A similar effect was established in 1999 during EMPA  
investigations into the use of sheet silicates in sand [2].

Thanks to the consistent application of the lab tests accom-  
panying production perceptible improvements were  
attained. The fresh and solid concrete properties were sub-  
stantially homogenised, the required solid concrete proper-  
ties were also secured in some cases with considerable  
reserves available (Table 3).

In spite of all optimisation during the choice of cement and  
the additives problems were constantly established – particu-  
larly during processing.

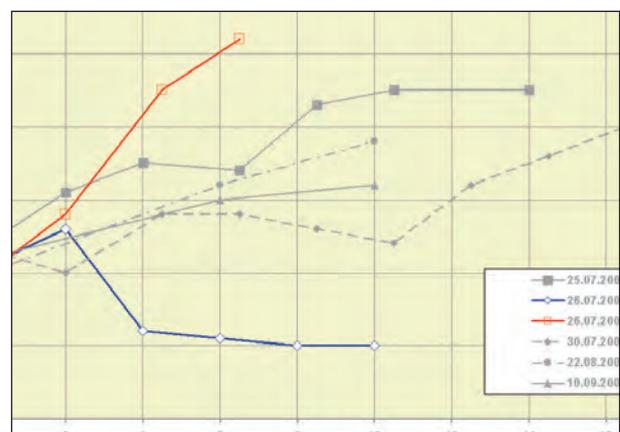
- A spontaneous flow loss during transportation to the instal-  
lation point made placing the concrete more difficult.
- Post-plastification usually reveals itself shortly after mix-  
ing. However here perceptible post-plastification actually  
occurred between the first and third hour after mixing, i.e.  
during transportation to the installation point.

As these phenomena occurred irregularly and with no expli-  
cable inter-relationship, a detailed investigation of the vari-  
ous possible causes was instigated.

**7 Investigations into premature Flow Loss**

The development of the plasticisers first and foremost took  
place with the objective of balancing out the necessary  
processing properties of the fresh concrete with the early  
strength development. On account of the sheet silicates  
prevalent in the fine sand the effect of the additives was not  
solely geared to the cement but also to the fine sand. This led  
to the first solution as described above.

As construction progressed continuous adjustments to the  
plasticisers and new developments were needed to extend the  
processing frame. Different reactions given changes of the



**9 Vergleich der Konsistenzentwicklung von verschiedenen Spritzbetonchargen**

*Comparison of the consistency development for various batches of shotcrete*

probleme wurden auf Basis der Untersuchungen Lösungen durch Optimierung der Fließmittelarchitektur gefunden, die eine möglichst robuste Produktion unter diesen Randbedingungen erlauben.

### 8 Untersuchungen zur späten Nachverflüssigung

Es kam während der Bauzeit immer wieder zu ausgeprägten Nachverflüssigungen des Betons, insbesondere beim Sicherungsspritzbeton. Dort wurden Konsistenzzunahmen zwischen Produktion und Einbaustelle von über 15 cm gemessen. Diese Probleme traten meist nur sporadisch und innerhalb recht kurzer Zeiträume auf. Wie aus Bild 9 zu erkennen ist, wurde am gleichen Tag an 2 Proben die Konsistenz über einen langen Zeitraum bestimmt. Die eine Probe führte zu einem raschen Ansteifen, während die andere Probe zu einer stetigen Konsistenzzunahme innerhalb 8 Stunden führte. Anfänglich lag der Fokus bei der Ursachenermittlung auf dem Zement bzw. Zusatzmittel. Dies führte aber nicht zur Lösung. Durch erweiterte Untersuchung am Mörtel wurden erste Hinweise gefunden, die auf eine Reaktion mit dem Feinsand hindeuteten. Durch chemische Untersuchung der Sandproben wurde dies bestätigt, da bis zu 738 ppm lösliche Sulfate festgestellt wurden. Anhand von Dünnschliffen aus Spritzbetonproben konnte die Ursache ermittelt werden. An einigen Proben wurde im Feinsandbereich verwitterter Pyrit festgestellt. Aus dieser Eisenschwefelverbindung war der Schwefelanteil grösstenteils herausgelöst.

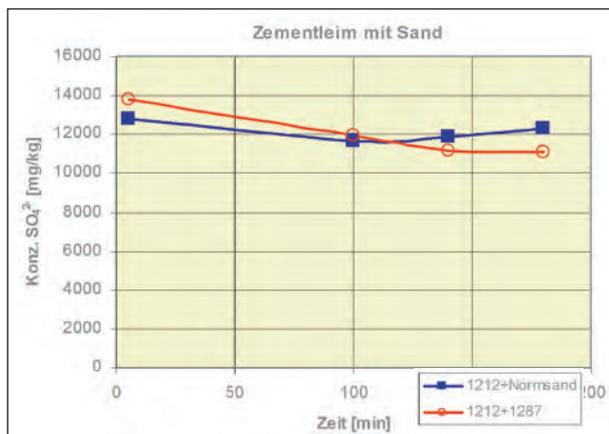
Am deutlichsten wurden Nachverflüssigungen immer am Sicherungsspritzbeton festgestellt. Dieser enthält im Vergleich zum Ortbeton einen etwas höheren Anteil an Sand. Aber damit alleine ist dies nicht zu erklären. Weiteren Einfluss auf die Nachverflüssigungen haben die Betonzusatzmittel, die je nach Löslichkeit des Sulfats unterschiedlich intensiv reagieren können. Um dies näher zu beleuchten, wurden Mörtel mit einer Originalsandprobe und einer Normensandprobe unter ansonsten gleichen Bedingungen mit Zusatz-

proportion and the composition of the sheet silicates in the fine sand were only determined through their parallel application, which could only be partially reproduced in the lab. As a consequence the EMPA tested the absorption of the plasticisers exclusively on the fine sand on various sand samples (Fig. 8). On the basis of this investigation it was possible for the first time to establish the influence of the fine sand on the reaction of the plasticisers. On the one hand a clear ranking of the tested plasticisers is discernible on the other the large variation in absorption within the sand samples becomes evident. The absorption of plasticisers in fine sand varied after an hour between 17 and 31 % for a sand sample. This absorbed amount of plasticiser was no longer available for upholding the consistency and led to a definitive earlier flow loss than in the case of normal and acceptable absorption rates below 10 %. The outcome of the absorption measurements correlated extremely well with the observations on the construction site.

All in all the investigation clarified the problems of producing concrete under these changing and irregular general conditions. Solutions were found to reduce the processing problems on the basis of the tests by optimising the plasticiser structure, which permitted as robust production as possible under these general conditions.

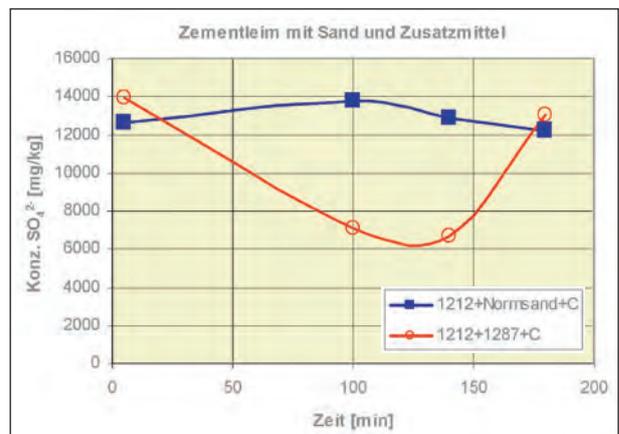
### 8 Investigations on late Post-Plastification

During the construction period pronounced post-plastification of the concrete constantly occurred, especially in the case of supporting shotcrete. Increases in consistency amounting to more than 15 cm were measured between production and installation point. Such problems only occurred sporadically at the most and within very short periods of time. As is shown in Fig. 9 on the same day 2 samples were used to determine the consistency over a long period of time. The one sample led to a rapid flow loss whereas the other sample brought about a constant increase in consistency within 8 hours. Originally determining the cause was



10 Sulfatkonzentration im Mörtel mit verschiedenen Sanden ohne Zusatzmittel

Sulphate concentration in the mortar with various sands without additives



11 Sulfatkonzentration im Mörtel mit verschiedenen Sanden mit Zusatzmittel

Sulphate concentration in the mortar with various sands with additives

mitteln angemischt. An diesen Mörteln wurde die Sulfatkonzentration zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen. Als Referenz wurde dieser Test noch einmal ohne Betonzusatzmittel wiederholt. Die Ergebnisse ohne Zusatzmittel zeigten für beide Sande eine leicht abnehmende Sulfatkonzentration über die Zeit (Bild 10) auf gleichem Niveau. Beim Vergleichstest mit Zusatzmitteln waren hingegen deutliche Unterschiede erkennbar (Bild 11). Der Versuch mit dem Feinsand zeigte zunächst bis zu ca. 2 Stunden eine deutliche Abnahme der Sulfatkonzentration und danach wieder eine Zunahme der Konzentration auf das ursprüngliche Niveau. Der gleiche Versuch mit Normsand wies einen nahezu konstanten Kurvenverlauf ohne nennenswerte Veränderungen der Sulfatkonzentrationen auf. Aus diesen Versuchen kann der klare Einfluss des Sandes auf eine Nachverflüssigungsproblematik erkannt werden, weil es nur beim Feinsand 0/1 mm zu einer deutlichen Veränderung der Sulfatkonzentration kam. Für die Nachverflüssigung ist insbesondere die Zunahme der Sulfatkonzentration zu einem relativ späten Zeitpunkt verantwortlich. Die Änderung in der Sulfatkonzentration trat aber nur zusammen mit den Betonzusatzmitteln auf. Dies veranschaulicht deren Einfluss auf diese Reaktion. Abgerundet wurden die Optimierungen noch durch Mörtelversuche mit Normsand, dem unterschiedliche Mengen an feinem oxidiertem Pyrit zugesetzt wurden. Dabei zeigte sich, dass bereits kleinste Mengen zu Nachverflüssigungen führen. Da es aufgrund der langen Bauzeit nicht ausgeschlossen werden kann, dass zukünftig ähnliche Bedingungen immer wieder vorherrschen, wurde nun versucht, die Zusatzmittel erneut zu modifizieren, um später zumindest die Auswirkungen von Nachverflüssigern deutlich zu reduzieren [3]. Durch die Optimierung des Fließmittels kann der Einfluss des in Lösung gehenden Sulfates aus dem Pyrit auf die Konsistenzzunahme etwas gedämpft, aber nicht verhindert werden.

## 9 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die bisher gemachten Erfahrungen zeigten, dass insbesondere die wechselnden mineralogischen Eigenschaften des Brechsandes zu sehr unterschiedlichem Verhalten des Betons führen. Einerseits war festzustellen, dass der Beton teilweise extrem kohäsiv und kaum verarbeitbar war, andererseits wurden erhebliche Nachverflüssigungen beobachtet. Ursache für diese unterschiedlichen Reaktionen sind Interaktionen zwischen Betonzusatzmitteln und dem Feinsand. So zeigte sich, dass bestimmte Typen von Polycarboxylatethern auf Glimmer unterschiedlich reagieren. Die mineralogische Zusammensetzung des Feinsandes variiert auch innerhalb kurzer Zeiträume recht stark. Es mussten deshalb Lösungen erarbeitet werden, die einen grossen Bandbereich abdecken, ohne dass es zu Verarbeitungsproblemen kommt. Ein weiteres, bisher nicht bekanntes Problem sind die im Feinsand enthaltenen, oxidierten Pyritminerale, die Auslöser für die teilweise stark ausgeprägten Nachverflüssigungen sind. Auch hier kann-

geared to the cement and the additive. However this did not result in a solution. By examining the mortar more extensively the first indications were discovered revealing a reaction with the fine sand. This was confirmed by examining the samples of sand by chemical means as soluble sulphates of up to 738 ppm were established. On the basis of thin sections from shotcrete samples it was possible to come up with the cause. Weathered pyrite was established in the fine sand range of a number of the samples. The proportion of sulphur was largely released from this iron sulphide composition.

Post-plastification was always most evident in conjunction with supporting shotcrete. Compared to in situ concrete this contains a somewhat higher degree of sand. However this is not the sole explanation. The concrete additives, which can react with varying amounts of intensity depending on the sulphate's solubility, also exert an influence on post-plastification. In order to clarify this more exactly mortars with an original sand sample and a standard sand sample were mixed with additives under otherwise the same conditions. The sulphate concentration was measured at different time points on these mortars. This test was repeated without concrete additives for reference purposes. The results without additives revealed for both sands a slightly diminishing sulphate concentration over the time period (Fig. 10) at the same level. However, distinct differences were identifiable in the comparative test with additives (Fig. 11). The test with the fine sand first showed a clear drop in the sulphate concentration for roughly the first 2 hours and then an increase in the concentration until it reached the original level. The same test with standard sand came up with a practically constant curve progression without any changes in the sulphate concentrations worth mentioning. These tests reveal the clear influence of the sand on a post-plastification problem complex as a clear change in the sulphate concentration only resulted in the case of the fine sand 0/1 mm. The increase in the sulphate concentration at a relatively late time-point is responsible for post-plastification. However the change in the sulphate concentration only occurred in conjunction with the concrete additives. This explains their influence on this reaction. The optimisations were rounded off by mortar tests with standard sand, which had different amounts of fine sands added. It was revealed that even the smallest amount led to post-plastification. As it cannot be precluded on account of the lengthy construction period that similar conditions will prevail again, it was now attempted to modify the additives once more so that in future the effects of post-plastification are substantially reduced [3]. Through optimising the plasticisers the influence of the sulphate entering the solution from the pyrite can be somewhat hampered although not prevented.

## 9 Summary of the Investigation Results

The findings obtained so far indicated that the changing mineralogical properties of the crushed sands in particular lead to extremely different behaviour of the concrete. On the one hand it was established that the concrete was in part very cohesive and scarcely processible, on the other consid-

ten Modifikationen der Fließmittel dazu beitragen, den Herstellprozess ausreichend zu stabilisieren.

## 10 Auswirkungen der Betontechnik auf das Logistikkonzept

Das ursprüngliche Konzept des Bauherrn sah für den Losabschnitt Faido eine untertägige Betonanlage in einer eigens dafür auszubrechenden Kaverne vor. Die Versorgung dieser Anlage mit Zuschlagstoffen sollte von Bodio aus ausschliesslich über die Oströhre durch spezielle Schutterzüge erfolgen, die Versorgung mit Zement und Betonzusatzmittel mittels Lkw über den Zugangstollen. Zum Betrieb dieser untertägigen Anlage wären weitere Anlagenteile wie eine Kippstelle für die Zuschlagstoffe und eine Wasch- und Recyclinganlage zur Reinigung der Betonzüge und Entsorgung von Restbeton erforderlich gewesen.

Die geologisch bedingten Umplanungen der Multifunktionsstelle führten zu erheblichen Verzögerungen, sodass ein zeitgerechter Ausbruch der Anlagenkaverne nur schwer zu realisieren war. Es drängte sich deshalb die Frage auf, ob durch geeignete Massnahmen von Logistik und Betontechnologie eine uneingeschränkte Versorgung aller Baustellen des Loses Faido durch die Betonanlage in Bodio gewährleistet werden könnte. Durch Labor- und Baustellenversuche wurden auf Basis der bisher gemachten Erfahrungen und Entwicklungen die notwendigen Grundlagen erarbeitet. Prozessbedingt und aufgrund der Transportdistanz von ca. 30 km beträgt die Zeitdauer von der Betonproduktion bis zum Einbauende für 60 m<sup>3</sup> Beton maximal 6,5 Stunden, und dies bei Betontemperaturen von bis zu 30 °C. Die erarbeitete Lösung basierte im Wesentlichen auf der gezielten Neuentwicklung geeigneter Fließmittel, die nicht nur die mineralogischen Eigenschaften des Feinsandes berücksichtigt, sondern die Balance zwischen ausreichenden Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons und der Frühfestigkeitsentwicklung des Betons austariert.

Die Versuchsergebnisse waren Basis eines Gesamtkonzepts mit definierten Rückfallebenen, die der ursprünglichen Lösung im Rahmen einer Risikostudie gegenübergestellt wurden; dabei wurden alle Baustellenteilbereiche wie Produktion, Logistik Maschinenteknik, Wartung und Betontechnologie einbezogen. Dazu sind nicht nur die wesentlichen Risikoprofile beider Produktionsstandorte erarbeitet worden, sondern auch Interventionsmassnahmen zur Reduzierung von Risiken oder deren Auswirkungen. In der Gesamtbewertung zeigten sich aufgrund der einfacheren Versorgung über Tage leichte Vorteile für den Produktionsstandort in Bodio. Ein wesentliches Risiko liegt jedoch in unbefriedigenden Frischbetoneigenschaften am Einbauort infolge der langen Transportzeit. Zur Reduktion von Risiko und Auswirkungen sollen zukünftig vor jede Betonpumpe zusätzlich grosse Agitatoren (Bild 12) quasi als Durchlaufmischer installiert werden. Diese homogenisieren nicht nur den Beton, sondern erlauben ausserdem die Zugabe von

erlebar post-plastifikation was beobachtet wurde. Interaktionen zwischen Betonadditiven und dem feinen Sand stellen die Ursache für diese variierenden Reaktionen dar. Es wurde gezeigt, dass bestimmte Typen von Polycarboxylatethern unterschiedlich auf Mica reagieren. Die mineralogische Zusammensetzung des feinen Sandes variiert ebenfalls innerhalb kurzer Zeiträume. Folglich müssen Lösungen gefunden werden, die einen weiten Bereich abdecken, ohne zu Verarbeitungsproblemen zu führen. Ein weiteres Problem, das bisher noch nicht erkannt wurde, sind oxidierte Pyritminerale im feinen Sand, die eine stark ausgeprägte Postplastifikation auslösen. Auch hier sind Modifikationen der Weichmacher beizutragen, um die Produktion zu stabilisieren.

## 10 Effect of Concrete Technology on the Logistics Concept

Das ursprüngliche Konzept sah eine unterirdische Betonanlage in einer speziell ausgehauenen Kaverne vor. Diese Anlage sollte über die Oströhre von Bodio aus mit Zuschlagstoffen versorgt werden, während Zement und Betonadditive über LKWs über den Zugangstollen geliefert wurden. Für den Betrieb dieser unterirdischen Anlage wären weitere Anlagenkomponenten wie ein Kipptisch für die Zuschlagstoffe sowie eine Waschanlage und eine Recyclinganlage für die Reinigung der Betonzüge und die Entsorgung von Restbeton erforderlich gewesen.

Die geologischen Änderungen der Multifunktionsstation (MFS) aus geologischen Gründen führten zu erheblichen Verzögerungen, sodass die Realisierung der Kaverne für die Anlage nur schwer zu realisieren war. Es drängte sich deshalb die Frage auf, ob durch geeignete Massnahmen von Logistik und Betontechnologie eine uneingeschränkte Versorgung aller Baustellen des Loses Faido durch die Betonanlage in Bodio gewährleistet werden könnte. Durch Labor- und Baustellenversuche wurden auf Basis der bisher gemachten Erfahrungen und Entwicklungen die notwendigen Grundlagen erarbeitet. Prozessbedingt und aufgrund der Transportdistanz von ca. 30 km beträgt die Zeitdauer von der Betonproduktion bis zum Einbauende für 60 m<sup>3</sup> Beton maximal 6,5 Stunden, und dies bei Betontemperaturen von bis zu 30 °C. Die erarbeitete Lösung basierte im Wesentlichen auf der gezielten Neuentwicklung geeigneter Fließmittel, die nicht nur die mineralogischen Eigenschaften des Feinsandes berücksichtigt, sondern die Balance zwischen ausreichenden Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons und der Frühfestigkeitsentwicklung des Betons austariert.



12 Nachmischeinheit vor der Betonpumpe im Tunnel  
Continuous mixing unit in front of the concrete pump in the tunnel

Tabelle 4: Projektdaten Gotthard-Basistunnel Süd,  
Los 554 Bodio/Los 452 Faido

<b>Bauherr Projektierung/ örtliche Bauleitung</b>	AlpTransit Gotthard AG Luzern Ingenieurgemeinschaft Gotthard- Basistunnel Süd Lombardi SA, Ingegneri Consulenti, Minusi (CH) Amberg Engineering AG Regensdorf (CH) Pöry AG, Zürich (CH)
<b>Ausführung</b>	Consorzio TAT Implenia Bau AG, Aarau (CH) Hochtief Construction AG, Essen (D) Alpine Bau GmbH, Salzburg (A) CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano (CH) Impregilo S.p.A., Milano (I)
<b>Bauzeit Rohbau</b>	2001 bis 2015
<b>Ursprüngliche Baukosten</b>	1579 Mio. CHF
<b>Aktuelle Vertragssumme</b>	2235 Mio. CHF
<b>Tunnellänge beider Losabschnitte</b>	2 x 30 km
<b>Max. Überdeckung</b>	2500 m
<b>Ausbruchdurch- messer TA Bodio</b>	8,83 m/8,93 m (geschifft)
<b>Ausbruchdurch- messer TA Faido</b>	9,43 m/9,53 m (geschifft)
<b>Steigung</b>	6,67 %
<b>Nachunternehmer Beton</b>	Holcim (Schweiz) AG, Zürich (CH)
<b>Lieferant Betonzusatzmittel</b>	Sika Schweiz AG; Zürich (CH)
<b>Gesamtbetonmenge (Ende 2009)</b>	1 060 000 m <sup>3</sup>
<b>Gesamtbetonmenge (Prognose)</b>	1 470 000 m <sup>3</sup>
<b>Spritzbetonmenge (Ende 2009)</b>	360 000 m <sup>3</sup>
<b>Spritzbetonmenge (Prognose)</b>	390 000 m <sup>3</sup>
<b>Besondere Merkmale</b>	Innenausbau parallel zum Vortrieb Gesamter Personeneinsatz und Materialumschlag im Gleisbetrieb Gesteinskörnungen aus aufbereitetem Ausbruch, überwiegend stark glimmerhaltige Gneise Betonversorgung im Wesentlichen nur über eine übertage Anlage am Südportal

Table 4: Project data for the Gotthard Base Tunnel South,  
Bodio contract section 554/Faido contract section 452

<b>Client Design/local Construction Management</b>	AlpTransit Gotthard AG Lucerne JV Gotthard Base Tunnel South Lombardi SA, Consulting Engineers, Minusi (CH) Amberg Engineering AG Regensdorf (CH) Pöry AG, Zurich (CH)
<b>Execution</b>	TAT Consortium Implenia Bau AG, Aarau (CH) Hochtief Construction AG Essen (D) Alpine Bau GmbH, Salzburg (A) CSC Impresa Construction SA, Lugano (CH) Impregilo S.p.A., Milan (I)
<b>Construction time roughwork</b>	2001 till 2015
<b>Original construction costs</b>	1,579 Mio. CHF
<b>Current construction Costs</b>	2,235 Mio. CHF
<b>Tunnel length of both contract sections</b>	2 x 30 km
<b>Max. overburden</b>	2,500 m
<b>Excavated diameter TA Bodio</b>	8.83 m/8.93 m (geschifft)
<b>Excavated diameter TA Faido</b>	9.43 m/9.53 m (geschifft)
<b>Gradient</b>	6.67 %
<b>Sub-contractor Cement</b>	Holcim (Switzerland) AG, Zurich (CH)
<b>Supplier Concrete additives</b>	Sika Switzerland AG, Zurich (CH)
<b>Total amount of concrete (end of 2009)</b>	1,060,000 m <sup>3</sup>
<b>Total amount of concrete (forecast)</b>	1,470,000 m <sup>3</sup>
<b>Amount of shotcrete (end of 2009)</b>	360,000 m <sup>3</sup>
<b>Amount of shotcrete (forecast)</b>	390,000 m <sup>3</sup>
<b>Special features</b>	Internal lining parallel to drive Entire manpower deployment and material handling by trackbound operations Aggregates from prepared excavated material, mainly gneisses containing a large proportion of mica Concrete mainly supplied from a surface plant at the south portal

Betonzusatzmittel zur Korrektur der Frischbetoneigenschaften. Mittlerweile wurden mehr als 2/3 der Ortbetonsohlen im Los Faido erstellt, ohne dass eine Frischbetonkorrektur vor Ort notwendig wurde. Dies bestätigt eindrücklich, dass das

to a maximum of 6.5 hours for 60 m<sup>3</sup> of concrete at a concrete temperature of up to 30° C. The solution that was evolved was largely based on the targeted new development of suitable plasticisers, which not only took the mineralogical prop-

neuartige Konzept bisher erfolgreich umgesetzt werden konnte. Es bot dem Bauherrn eine kostenneutrale Alternative zum Ausbruch der Kaverne für die untertägige Betonversorgungszentrale in Faido, ohne Zeitverluste hinnehmen zu müssen.

## 11 Zusammenfassung

Der Bau des Gotthard-Basistunnels stellt in vielerlei Hinsicht für alle Beteiligten eine grosse Herausforderung dar. Dies trifft auch auf die Betontechnik der beiden Südlose in Bodio und Faido zu. Durch die erstmalige grosstechnische Verwendung von glimmerreichem Brechsand wurde betontechnologisches Neuland betreten. Insbesondere der hohe und variierende Anteil an Schichtsilikaten führte dazu, dass die ursprünglich vor der Bauausführung entwickelten und geprüften Betonrezepturen die gestellten Anforderungen nicht erfüllten. Durch umfangreiche Versuche mussten baubegleitend neue Lösungen entwickelt und umgesetzt werden. Diese Entwicklungen ermöglichen nicht nur den Wegfall der vorgesehenen untertägigen Betonversorgungszentrale in Faido, sondern boten auch noch zusätzliche Beschleunigungsmassnahmen zur Optimierung der Bauzeit. Dabei muss man auch die hohe Produktionsleistung berücksichtigen. Die Verarbeitung von glimmerreichen Brechsanden zur Herstellung von qualitativ hochwertigem Beton führte zur Schonung der natürlichen Ressourcen. Durch die mögliche und letztendlich notwendige Einbeziehung von stark glimmerreichem Rohmaterial aus Steinbrüchen der Umgebung zur Überbrückung von Versorgungslücken konnte der Bauherr auch hier seine ökonomische und ökologische Verantwortung über die vertraglichen Grenzen hinaus wahrnehmen.

## Literatur

- [1] Puntke, W.: Mix Design Considerations for Granulometric Optimization of the Matrix of High Performance Concrete, *Radical Concrete Technology*; Spon 1996; pp. 129–140
- [2] Untersuchungsbericht 166'184: Auswirkungen von freien Schichtsilikaten im Zuschlag auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton, EMPA Dübendorf; Interner Bericht vom 4. 9. 1998
- [3] Yamada, K.; Ogawa, S.; Hanehara, S.: Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-Type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase, *Cement and Concrete research* 31 (2001) pp. 375–383

erties of the fine sand into consideration but also provided the balance between adequate processing properties of the fresh concrete and the early strength development.

The results of the tests formed the basis for an overall concept with defined flow loss levels, which were compared with the original solution within the scope of a risk study; towards this end all sectors of the construction site such as production, logistics, engineering, maintenance and concrete technology were included. In this connection not only the essential risk profiles for both production locations were taken into consideration but intervention measures designed to reduce risks or their effects as well. In the total assessment on account of the more straightforward supply procedure on the surface there were slight advantages evident for the production site located at Bodio. A substantial risk however is borne by the unsatisfactory fresh concrete properties at the installation point on account of the lengthy time needed for transportation. Large agitators are to be set up additionally in future (Fig. 12) more or less as continuous mixers in front of each concrete pump to cut down on risks and effects. These not only homogenise the concrete but also permit the addition of concrete additives to correct the fresh concrete properties. In the meantime more than 2/3rd of the in situ concrete inverts in the Faido contract section have been produced without the need for correcting the fresh concrete on the spot. This impressively confirms that the novel concept was so far able to be implemented successfully. It provided the client with an alternative to excavating the chamber for the underground concrete supply centre at Faido at no more cost without having to put up with time losses.

## 11 Summary

The construction of the Gotthard Base Tunnel represents a major challenge in many respects for all those involved. This also applies to the concrete technology for the 2 southern contract sections in Bodio and Faido. Through the large-scale application of crushed sand rich in mica for the first time new ground was broken in terms of concrete technology. The high and varying proportion of sheet silicates in particular meant that the concrete recipes developed and tried out prior to the execution of construction failed to comply with the posed requirements. By means of extensive tests new solutions that accompanied construction had to be developed and applied. These developments first of all meant that there was no need for the originally planned underground concrete supply centre at Faido as well as affording additional acceleration measures for optimising the construction time. In this connection the high production rate must also be taken into consideration. The processing of crushed sands rich in mica to produce qualitatively high-grade concrete enabled natural resources to be saved. Through the possible and ultimately necessary inclusion of raw material with a large proportion of mica from quarries in the region to overcome gaps in supply the client was also able to demonstrate his economic and ecological responsibility over and above the contractual limits.

Peter Huber, Dipl.-El.-Ing. ETH/NDS BWI ETH, Gesamtprojektleiter Transtec Gotthard (TTG), Alpine-Bau GmbH, Hergiswil/CH

## Gotthard-Basistunnel

### Bahntechnik – die Herausforderung Generalunternehmer

Die Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard wurde mit der Planung, dem Einbau und der Inbetriebnahme der Bahntechnik im Tunnel beauftragt. Damit übertrug der Bauherr dem Unternehmer eine „Generalunternehmeraufgabe“ mit einer globalen Vergabesumme von 1,57 Mrd. CHF, mit Optionen von 1,69 Mrd. CHF.

## Gotthard Base Tunnel

### Rail Technology – the General Contractor's Challenge

The Transtec Gotthard JV was commissioned with the planning, installation and commissioning the rail technology in the tunnel. By doing so the client passed on a “general contractor task” to the contractor with a global contract sum worth CHF 1.57 bill. with options amounting to CHF 1.69 bill.

#### 1 Ausgangslage

Das Los beinhaltet im Einzelnen die Erstellung der Fahrbahn, die Stromversorgung mit 50 Hz, die Kabelanlagen, die Fahrstromversorgung mit 16,7 Hz, die Tunnelleittechnik, Datenkommunikation, Telekommunikation (Festnetz und Funk) sowie die Sicherungsanlagen. Diese Anlagen ermöglichen den Eisenbahnbetrieb in den beiden Tunnelröhren und schliessen die neuen Gleise an das bestehende Netz an. Die Installationen werden auf höchstem technischem Niveau projektiert; Bau und Technik werden sich zu einem einmaligen Gesamtwerk ergänzen. Mit den Arbeiten wird noch während des Tunnelausbruchs in der betonierten Röhre begonnen. Der Leistungsumfang ist in grossen Teilen funktional ausgeschrieben worden; erwartet wird eine ganzheitliche und integrale Leistung.

Transtec Gotthard ist eine Arbeitsgemeinschaft – eine einfache Gesellschaft i. S. von Art. 530 ff. OR – von den in ihren Bereichen führenden Unternehmen Alpiq, Alcatel-Lucent/Thales, Alpine-Bau und Balfour Beatty Rail. Die Gesellschafter sind als gleichberechtigte Partner zu jeweils 25 % beteiligt. Hinter den 4 Gesellschaftern stehen finanzstarke Mutterhäuser, die in diesem Projekt über die gesamte Dauer für hohe Sicherheit und Kontinuität in der Leistungserbringung garantieren. Die 4 Partner sind international vernetzt, mit Erfahrung im Eurotunnel, am Lötschberg und im Rohbau des Gotthard-Basistunnels (Bild 1).

Mit dem gewählten Geschäftsmodell stellt Transtec Gotthard sicher, dass die heterogene Fachkompetenz Bahntechnik direkt von den Gesellschaftern eingebracht werden kann. Sie führen die einzelnen „Gewerke“ als Subunternehmer auf der

#### 1 Starting Situation

The contract section constitutes the production of the track, the 50 Hz power supply, the cable installations, the 16.7 Hz overhead wire supply, the tunnel control technology, data communication, telecommunications (permanent network and radio) as well as the safety equipment. These installations facilitate rail services in the 2 tunnel bores and link the new tracks up to the existing network. The installations have been designed according to the latest technical standards; construction and technology will merge to form a unique total entity. Work has started in the concreted tubes whilst driving is still progressing. The extent of services has been largely been drafted functionally; a holistic and integral performance is expected.



1 Zusammensetzung der Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard  
Composition of the Transtec Gotthard JV

## Le tunnel de base du Saint-Gotthard

### Technique ferroviaire – un défi pour l’entrepreneur général

Le consortium Transtec Gotthard a été chargé de la planification, de l’installation et de la mise en service de l’infrastructure ferroviaire dans le tunnel. Le maître d’ouvrage a ainsi trans-féré à l’entreprise un « mandat d’entreprise générale », avec un montant global d’adjudication de 1,57 milliard de CHF, et 1,69 milliards de CHF d’options.

## Gallerie di base del San Gottardo

### Tecnica ferroviaria – uno sfida per l’impresa generale

Al Consorzio Transtec Gotthard sono state affidate la progettazione, la costruzione e la messa in esercizio della tecnica ferroviaria all’interno della galleria. Con questo incarico la committenza ha stipulato con l’impresa un « Contratto per impresa generale » che prevede un appalto per complessivi 1,57 miliardi di CHF, con opzioni di 1,69 miliardi di CHF.

Grundlage von Werkverträgen aus. Übergeordnete Leistungen wie Projektleitung, Logistik und temporäre Installationen befinden sich in der gemeinsamen Verantwortung der Gesellschafter. Damit wird sichergestellt, dass die über 1000 technischen Nahtstellen ohne Friktion, zeitgerecht und den Anforderungen entsprechend zusammengeführt werden (Bild 2).

Ziel ist es, aus einem Rohbautunnel einen ausgerüsteten Bahntunnel für den fahrplanmässigen Betrieb spätestens im Jahre 2017 (Fahrplanwechsel) bereitzustellen (Bild 3).

## 2 Umfeld/Nahtstellen

Die Herausforderung ist komplex, sind doch im gesamten Prozess verschiedenste Fachinstanzen, Behörden, Betreiber und Experten wie auch politische Gremien beteiligt. Dabei gilt es, die vertraglichen Rahmenbedingungen zu erfüllen und gleichzeitig auch Brücken zu den aussenstehenden Bereichen zu schlagen. Der Vorteil ist offensichtlich: Die Bahntechnik kann dem Bauherrn durch die eigenverantwortliche Bewältigung der inneren Abwicklung organisatorisch und qualitätsmässig Zeit und Kosten einsparen und somit die Stabilität einer gesicherten Fertigstellung garantieren. Unabdingbare Voraussetzung ist die proaktive Mitwirkung des Bauherrn. „Alles aus einer Hand“ verhindert auch das

Transtec Gotthard is a joint venture – a no frills company in accordance with Art. 530 ff. OR – consisting of the firms Alpiq, Alcatel-Lucent/Thales, Alpine-Bau and Balfour Beatty Rail all leaders in their fields. They are all equal partners with each holding 25 %. Financially strong backers are behind the 4 partners, which guarantee high security and continuity for providing services during the entire duration of the project. The 4 partners are internationally networked with experience in the Channel Tunnel, the Lötschberg and the roughwork for the Gotthard Base Tunnel (Fig. 1).

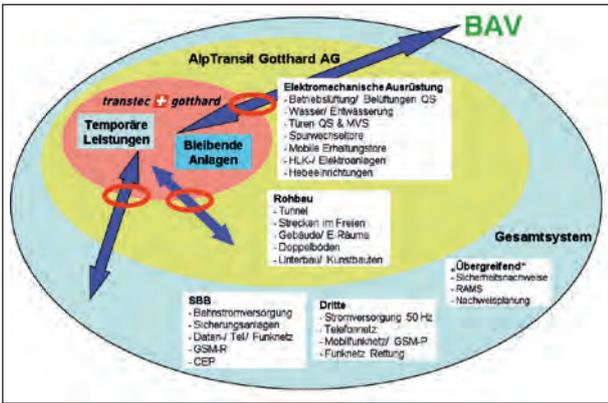
Through the chosen business model Transtec Gotthard is ensuring that the heterogeneous specialist competence for rail technology is provided directly by the partners. They undertake the individual “disciplines” as sub-contractors on the basis of works contracts. Superordinated services such as project management, logistics and temporary installations are the joint responsibility of the partners. In this way it is ensured that the more than 1,000 technical interfaces are linked up without friction, in keeping with the schedule and the requirements (Fig. 2).



2 Organisation Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard  
Organisation of the Transtec Gotthard JV



3 Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard  
Transtec Gotthard JV contract



4 Projektumfeld  
Project environmental analysis

Entstehen von nachträglichen Mängeln als Folge von Abgrenzungsfragen zwischen den vielen Partnern und damit auch Folgeschäden und Unterbrechungen in der Betriebsphase. Immerhin hat der Unternehmer eine Garantiezeit von 8 Jahren zugesichert. Es ist dabei wesentlich, dass das Verhältnis Bauherr und Unternehmer auf gegenseitigem Vertrauen aufgebaut ist, sind doch 9 Jahre Zusammenarbeit für ein Projekt nicht alltäglich. Mit der Einmaligkeit und Novität dieser Umsetzung des Bauwerkes ist es erforderlich, dass der Lernprozess gemeinsam und iterativ gemacht werden kann (Bild 4).

Wesentlich sind die vielen Schnittstellen. Bei Transtec Gotthard heissen sie Nahtstellen. Dafür ist Transtec Gotthard verantwortlich. Wir schulden der AlpTransit Gotthard AG ein ganzes, funktionierendes Werk und nicht Einzelteile. Transtec Gotthard führt und koordiniert zurzeit über 1000 Nahtstellen bezüglich Verantwortlichkeit und Abwicklung. Die darge-

The aim is to create a furnished rail tunnel from a roughwork tunnel for scheduled services in 2017 (change of timetable) (Fig. 3).

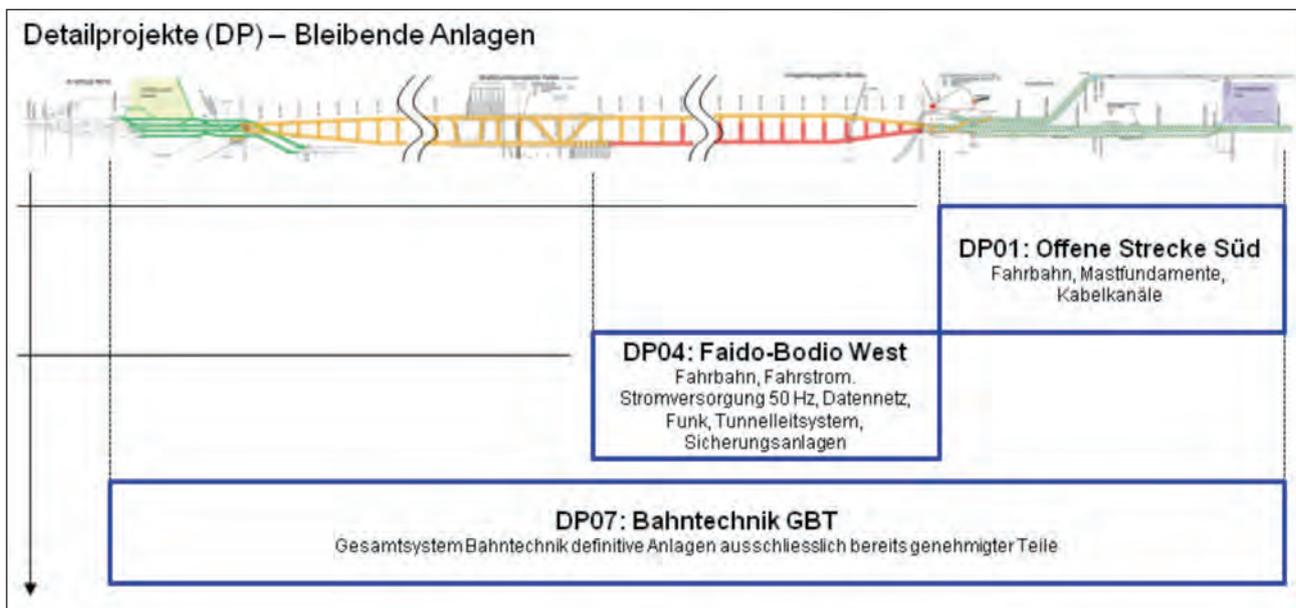
2 Framework/Interfaces

The challenge is complex after all numerous instances, authorities, operators and experts as well as political bodies are involved in the entire process. In this connection it is essential to fulfil the contractual general conditions and at the same time bridge the gap to outside parties. The advantage is evident: the rail technology can save the client time and money thanks to the tasks being mastered autonomously through responsible management in terms of organisation and quality thus guaranteeing the stability of completion. The essential prerequisite is the client's active participation. "From a single source" also prevents the occurrence of subsequent defects resulting from issues defining the competence of many partners and in turn follow-up damage and interruptions during the operating phase. After all the contractor has assured an 8-year warranty period. Thus it is essential that the relationship between client and contractor is based on mutual trust for 9 years' collaboration for a project is no ordinary occurrence. With the uniqueness and novelty involved in completing the project it is imperative that the learning process can be accomplished jointly and in an iterative manner (Fig. 4).

Many points of intersection are of great importance. At Transtec Gotthard they are known as interfaces. Responsibility for them lies in the hands of Transtec Gotthard. We owe the AlpTransit Gotthard AG a complete, functioning package and not single parts. At present Transtec Gotthard manages and coordinates more than 1,000 interfaces in terms of responsibility and implementa-

Revidiert: 20.01.2010	Übergreifend & Logistik		Fahrplan		SIV / Kabel		16 F Hz		TÜV Festnetz / TC Punkt / Sicherungseigenen		Rohbau Ausrüstung (ATG)		Rohbau 1 (ATG)		SBB		Diverse		EVA's		Diverse	
	LP 10	LP 11	LP 12	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31
Übergreifend & Logistik	LP 10	LP 11	LP 12	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31
	LP 11	LP 12	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32
	LP 12	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33
	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34
	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35
	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35	LP 36
	LP 16	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35	LP 36	LP 37
	LP 17	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35	LP 36	LP 37	LP 38
	LP 18	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35	LP 36	LP 37	LP 38	LP 39
	LP 19	LP 20	LP 21	LP 22	LP 23	LP 24	LP 25	LP 26	LP 27	LP 28	LP 29	LP 30	LP 31	LP 32	LP 33	LP 34	LP 35	LP 36	LP 37	LP 38	LP 39	LP 40

5 Nahtstellenmatrix  
Interface matrix



6 Detailprojekte der bleibenden Anlagen  
Detailed projects for the permanent facilities

stellte Grafik (Bild 5) zeigt die Nahtstellenmatrix. In dieser Tabelle wird dargestellt, „wer mit wem“ (Rohbau, Rohbauausrüstung, Betreiber, Bahntechnik, Gewerke, Energieunternehmen etc.) eine Nahtstelle besitzt. Dieser übergeordneten Darstellung werden pro Nahtstelle detaillierte Beschreibungen hinterlegt.

### 3 Planung/Projektierung

Die Projektierungsphase, in welcher wir uns aktuell befinden, dauert rd. 2 Jahre. In unserem Fall müssen 6 Teilprojekte zum Teil verschachtelt durch den Unternehmer, die Experten und die Freigabeinstanzen bearbeitet resp. genehmigt werden. Dabei sind je 3 Detail- und Ausführungsprojekte für die temporären Leistungen und bleibenden Anlagen zu erstellen. Die Projekte für die temporären Leistungen und Installationen umfassen in den Vorportalzonen und im Tunnel die folgenden Bereiche: Installationsplätze Biasca, Amsteg, Rynächt und temporäre Installationen wie Baustromversorgung, Ausrüstungslüftung und -kühlung sowie Baukommunikation.

Die 3 Projekte für die bleibenden Anlagen umfassen die Bereiche Offene Strecke Süd, die Versuchszone Faido – Bodio West und alle restlichen bleibenden Anlagen (Bahntechnik GBT, d. h. offene Strecke Nord, diverse Ergänzungen auf der offenen Strecke Süd und den Tunnelbereich ohne Faido – Bodio West, Bild 6).

Ein typischer Ablauf einer Projektierung, hier für den Einbauabschnitt Faido – Bodio Westrohre, ist in Bild 7 dargestellt. Bis zur Genehmigung und Freigabe dieser Detail- und Ausführungsplanung mit sämtlichen Prozessen ist ein

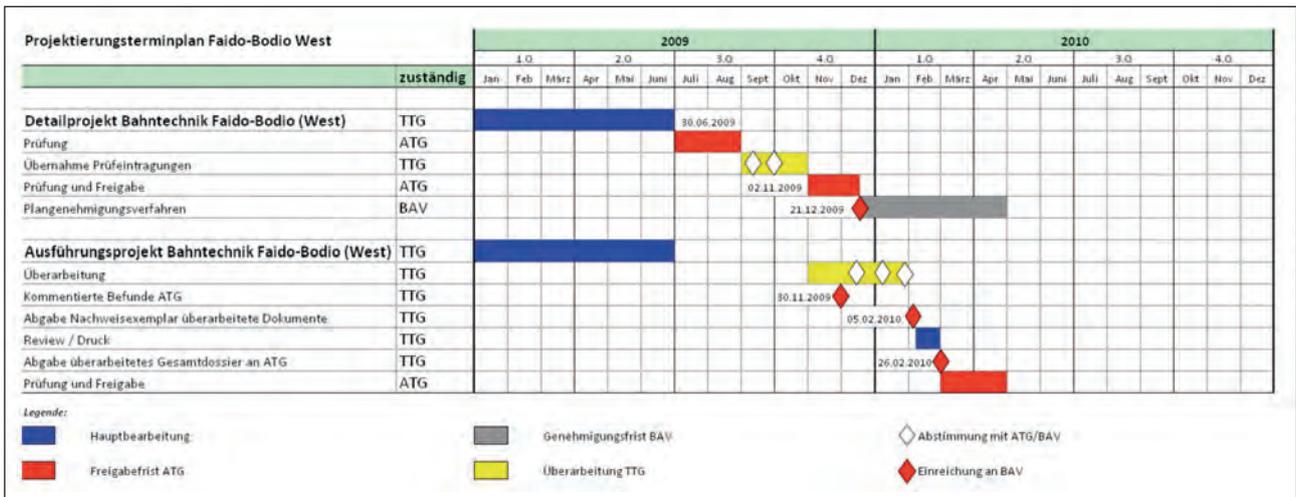
tion. The presented graphic (Fig. 5) shows the interface matrix. This table shows “who with whom” – possesses an interface (roughwork, roughwork furnishing, operators, rail technology, services, energy companies etc.). This superordinated presentation is provided with detailed descriptions for each interface.

### 3 Planning/Design

The design phase, with which we are currently involved, lasts roughly 2 years. In our case 6 part-projects partially intertwined have to be worked on or approved by the contractor, experts and the approval authorities. Towards this end in each case 3 detailed and 3 implementation projects for temporary services and permanent installations have to be produced. The projects for the temporary services and installations consist of the following sections in the pre-portal zones and in the tunnel: installation yards at Biasca, Amsteg, Rynächt and temporary installations such as the construction power supply, equipment ventilation and air-conditioning as well as site communications.

The 3 projects for permanent facilities include the sections – open route South, the Faido – Bodio West test zone and all remaining installations (rail technology GBT, i.e. open route North, various additions to the open route South and the tunnel section with the exception of Faido – Bodio West, Fig. 6).

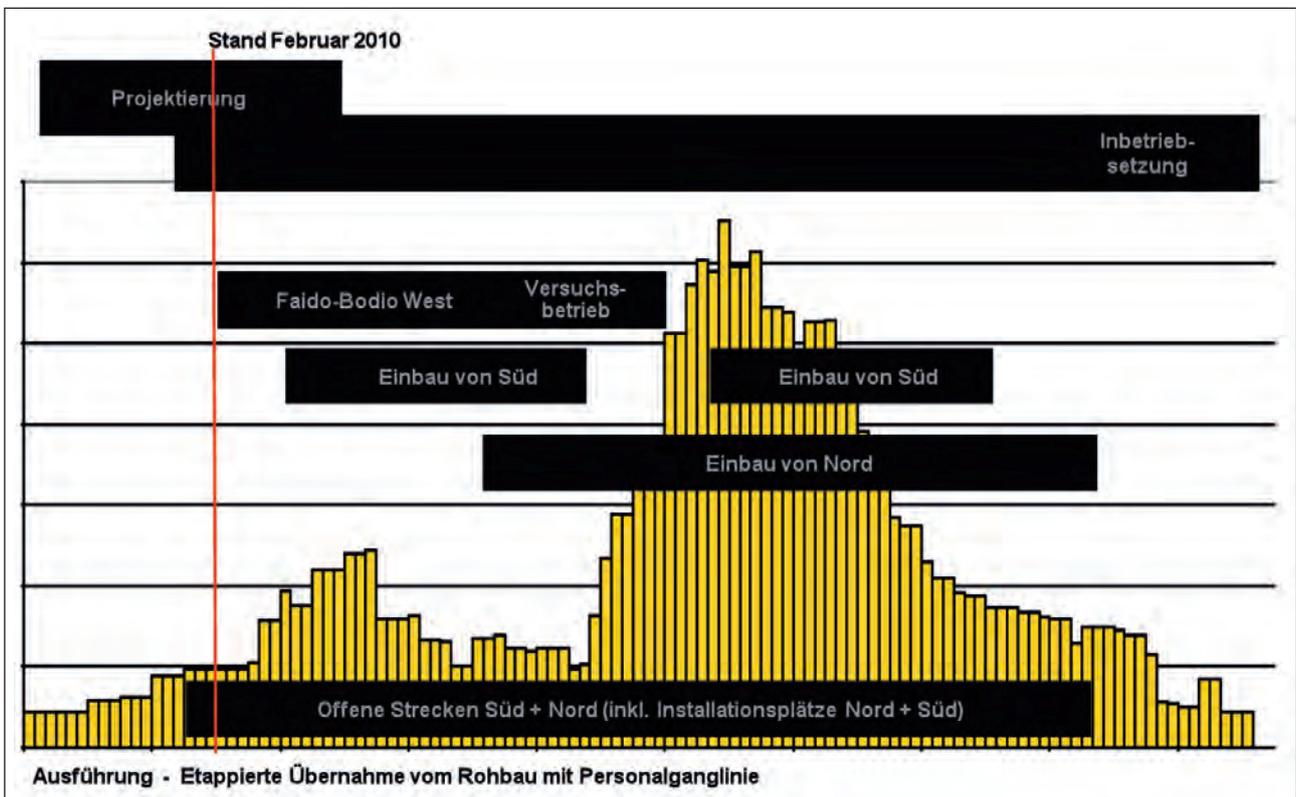
A typical procedure during the design phase, here for the Faido – Bodio western bore installation section, is presented in Fig. 7. A time frame of roughly 16 months is required until the detailed and implementation planning with all the pro-



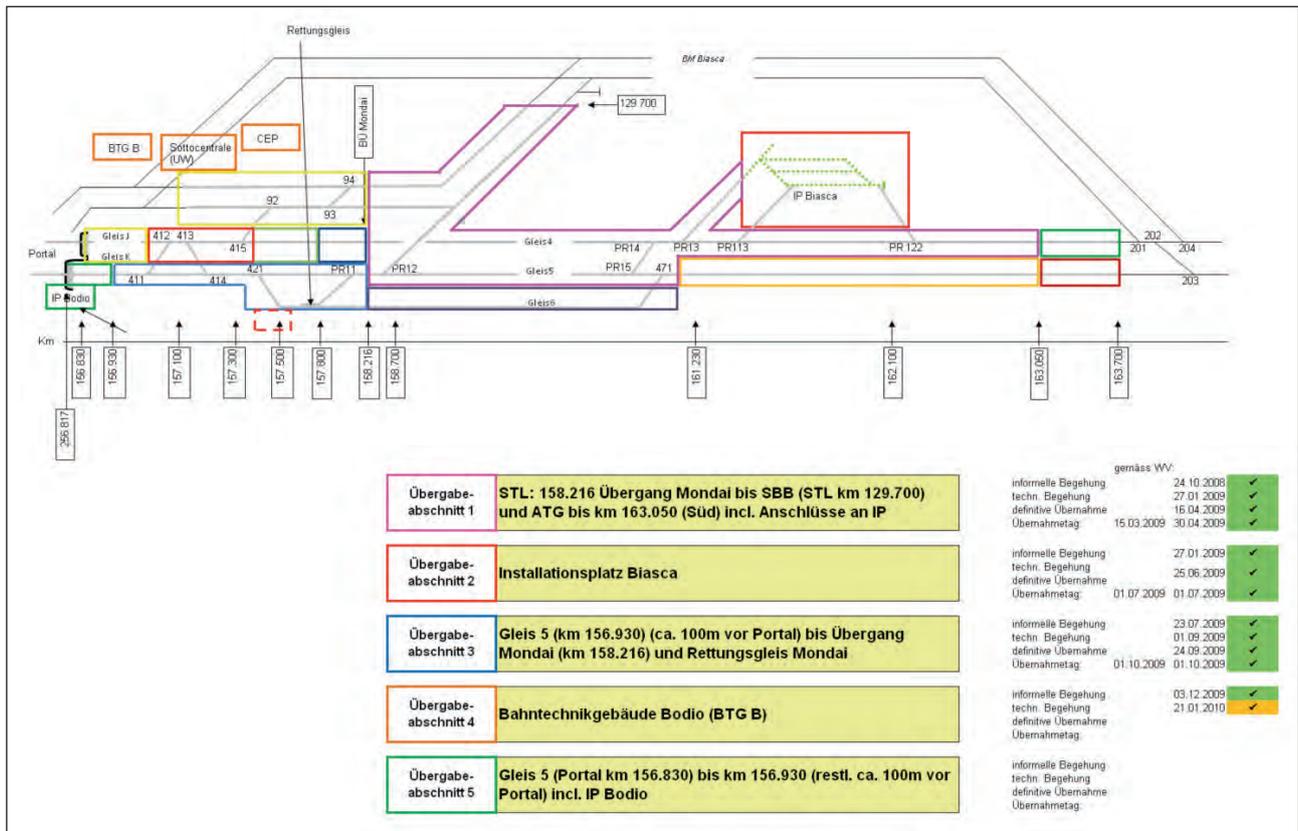
7 Ablauf des Detailprojektes Faido – Bodio West  
Sequence of the Faido – Bodio West detailed project

Zeitfenster von rd. 16 Monaten erforderlich. Es zeigt sich, dass für die Erstellung rd. die Hälfte der Zeit, für die Prüfung und allfällige Überarbeitungen ebenfalls die Hälfte der Zeit benötigt wird. Dieser Zeitbedarf wurde zu Beginn unseres Projektes unterschätzt. Zwischenzeitlich wurden interaktive Projektsteuerungswerkzeuge entwickelt, welche die Effizienz und die Qualität steigern konnten.

cesses involved is approved and given clearance. It is shown that around half the time is required for compilation and the other half for scrutiny and possible revisions. This time requirement was underestimated at the beginning of our project. In the interim, interactive project control tools have been developed in order to enhance efficiency and quality.



8 Ausführung – Personalganglinie  
Presentation of labour force deployment



9 Übernahmeabschnitte auf der offenen Strecke Süd (OSS)  
Sections taken over on open route South (OSS)

#### 4 Ausführung

Die Ausführung, d. h. die Umsetzung, beginnt mit den Übernahmen der diversen Rohbauabschnitte durch Transtec Gotthard. Hier wird mit dem Bauherrn ein gemeinsam abgestimmter Prozess durchschritten, der dazu führen soll, dass die einzelnen Einbauabschnitte, abgestimmt auf die Bahntechnik, übernommen werden können. Als Pilot werden im Einbauabschnitt Bodio – Faido Weströhre sämtliche bahntechnischen Anlagen eingebaut und mit einem Versuchsbetrieb ausgetestet. Damit kann die Risikoexposition für die finale Inbetriebsetzung verkleinert werden (Bild 8).

In Bild 9 ist der aktuelle Planungsstand der Übernahme- resp. Einbauabschnitte dargestellt, die in der ersten Phase des Projektes an Transtec Gotthard übergeben werden. Bei der offenen Strecke Süd des Projektes, d. h. rd. 7 km vor dem Portalbereich, sind 17 zeitlich gestaffelte Teilabschnitte zu übernehmen. Nur so kann der normale Zugverkehr parallel zum Projekt ohne Unterbrechung sichergestellt werden. Zu sehen sind die komplexe Situation und spezifisch die ersten 5 Übernahmeabschnitte.

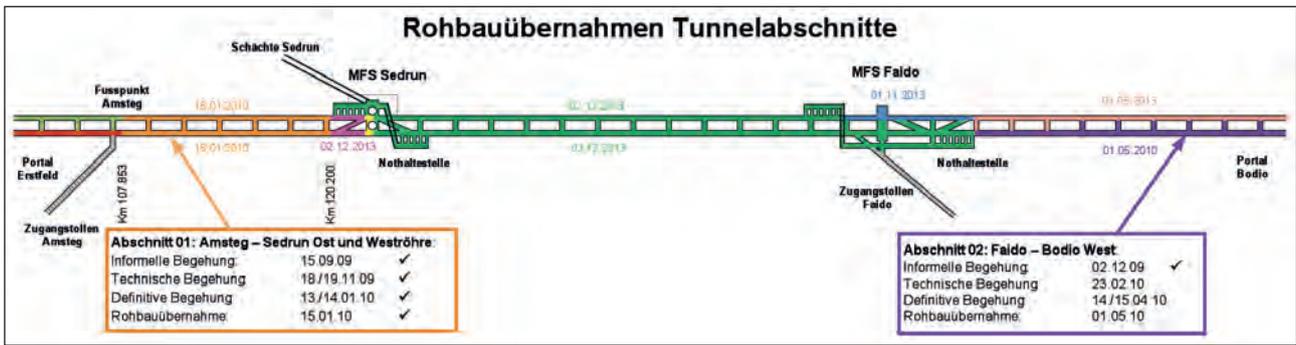
Im Tunnelbereich hat Transtec Gotthard am 15. Januar 2010 den ersten Abschnitt Amsteg – Sedrun, Ost- und Weströhre, übernommen (Bild 10).

#### 4 Implementation

Implementation i.e. execution starts with taking over the various roughwork sections by Transtec Gotthard. In this case a jointly determined process is undergone together with the client, which is devised to ensure that the individual installation sections, earmarked for rail technology, can be taken over. All rail technical facilities are to be installed in the Bodio – Faido western bore section and trial services operated as a pilot scheme. In this way exposure to risks can be diminished for the final start-up of operations (Fig. 8).

Fig. 9 contains the current stage reached for planning the sections taken over for installation, which were entrusted to Transtec Gotthard during the first phase of the project. As far as the project’s open route South, i.e. some 7 km from the portal zone, 17 time-related part-sections have to be taken over for only in this way will it be possible to coordinate normal train services parallel to the project without interruption. The complex situation and the first 5 sections taken over can be specifically seen.

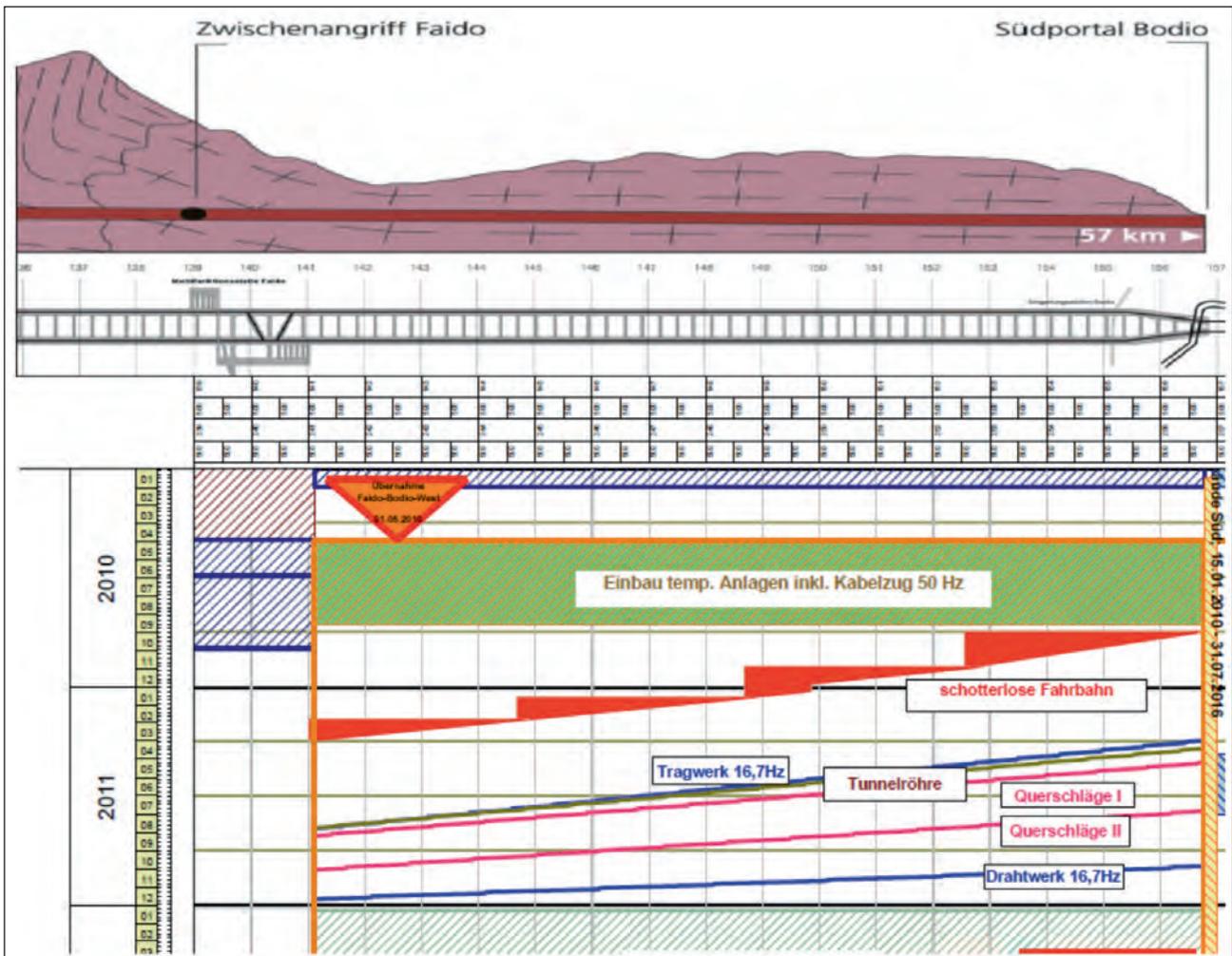
Within the tunnel itself Transtec Gotthard took over the first section – Amsteg – Sedrun, eastern and western bore, on January 15, 2010 (Fig. 10).



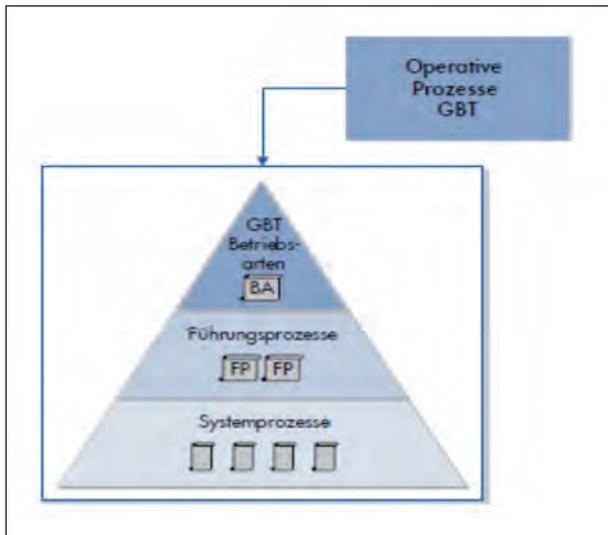
10 Die ersten Übernahmeabschnitte im Tunnel  
The first sections taken over in the tunnel

Im Abschnitt Faido – Bodio West werden ab Herbst 2010 die bahntechnischen Anlagen im Tunnel eingebaut. Wesentlich ist dabei der Einbauablauf. So achtet Transtec Gotthard ganz besonders auf stabile Termine. Die Leistungsabfolgen im Bauprogramm sind entflochten. Abhängigkeiten sind minimiert und Beschleunigungen bei unvorhergesehenen Umständen möglich. Damit entsteht terminliche Stabilität (Bild 11).

As from autumn 2010 the rail technical installations will be incorporated in the Faido – Bodio West section. The installation sequence is essential in this case so Transtec Gotthard is paying particular attention to stable scheduling. The service procedures in the construction programme have been ironed out. Relationships have been minimised and it is possible to speed things up should there be a need owing to unforeseen



11 Einbauablauf der bleibenden Anlagen im Abschnitt Faido – Bodio West  
Installation sequence for the permanent facilities in the Faido – Bodio West section



12 Operative Prozesse Gotthard-Basistunnel  
Operative processes of the Gotthard Base Tunnel

Die Einbauabfolge kann unter [www.transtecgotthard.ch](http://www.transtecgotthard.ch) in einer Filmsequenz eingesehen und nachvollzogen werden.

## 5 Prozesse/Inbetriebsetzung

### 5.1 Operative Prozesse des Gotthard-Basistunnels

Unter operative Prozesse des Gotthard-Basistunnels versteht man die Prozesse, die den eigentlichen Bahnbetrieb betreffen. Darunter fällt insbesondere auch die Handhabung von Störungen und Ereignissen im Tunnel selbst.

### 5.2 Ziele der operativen Prozesse Gotthard-Basistunnel

Das Ziel ist es, eine gesamtheitliche und durchgängige Prozessbeschreibung für den Betrieb des Gotthard-Basistunnels zu schaffen. Dazu gehören das Aufzeigen von Zusammenhängen in den Abläufen und das Erkennen von eventuell vorhandenem Verbesserungspotenzial. Hierfür ist das Einbringen einer starken betrieblichen Sicht bei der Erarbeitung der bahntechnischen Systeme absolut notwendig. Es gilt grundsätzlich: „So wenig Prozesse wie möglich, so viele wie nötig!“ (Bild 12).

Der Zustand des Gesamtsystems Gotthard-Basistunnel teilt sich in 3 Betriebsarten:

#### Normalbetrieb – NB

- Alle Systeme arbeiten ohne betriebsrelevante Störungen.

#### Erhaltungsbetrieb – EHB

- Einfluss auf einen oder auf mehrere Betriebsbereiche mit Auswirkungen auf das Gesamtsystem Gotthard-Basistunnel,

circumstances. In this way stability is created for meeting deadlines (Fig. 11).

The installation sequence can be accessed under [www.transtecgotthard.ch](http://www.transtecgotthard.ch) in a related film.

## 5 Processes/Start-up of Operations

### 5.1 Operative Processes for the Gotthard Base Tunnel

Operative processes for the Gotthard Base Tunnel refer to these processes, which concern rail operations as such. These particularly include handling disturbances and incidents in the tunnel itself.

### 5.2 Objectives of the operative Processes for the Gotthard Base Tunnel

The aim is to create a holistic and continuous process description for operating the Gotthard Base Tunnel. This includes listing interrelationships during sequences and recognising a possible existing potential for improvement. Towards this end a strongly based operational aspect is absolutely essential for working out the rail technical systems. Basically the principle applies: “As few processes as possible, as many as required!” (Fig. 12).

The state of the Gotthard Base Tunnel’s overall system is divided into 3 operational modes:

#### Standard mode – NB

- All systems function without any disturbances affecting operations.

#### Stand-by mode – EHB

- Influence on one or several operational sections affecting the overall system Gotthard Base Tunnel,
- Monitoring (inspections)/maintenance (servicing and repair/renewal),
- Alterations (adapting the facility to new demands),
- Tests.

#### Incident mode – EB (affecting normal execution of rail services)

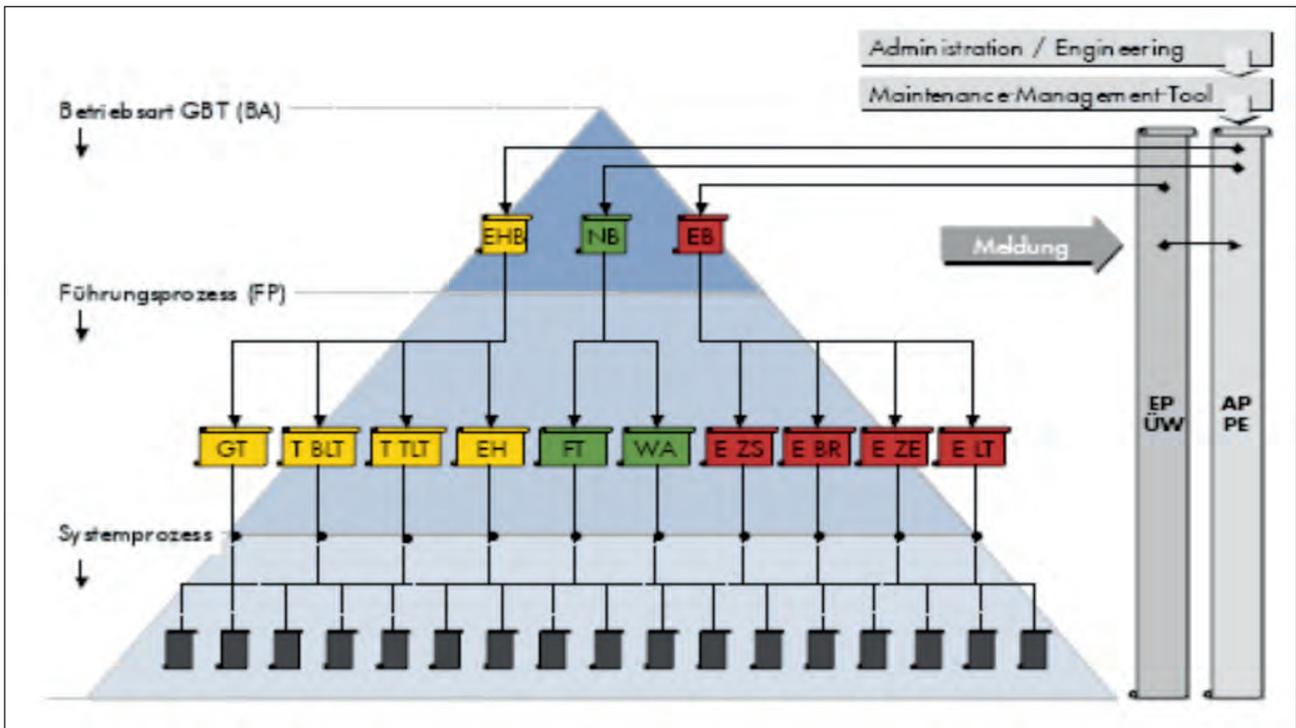
- Resulting from technical or operational incidents,
- Resulting from technical or operational disturbances,
- Outside influences or operating error.

### 5.3 Interaction of operational Modes, Management Process, System Processes

The graphic in Fig. 13 displays schematically the interaction of the GBT overall system and how it is set up.

#### Targets

Compilation of a thorough overall document with the following parts:



13 Prozesshierarchie Gotthard-Basistunnel  
Process hierarchy of the Gotthard Base Tunnel

- Überwachung (Inspektionen)/Unterhalt (Instandhaltung und Instandsetzung/Erneuerung),
- Veränderungen (Anpassen der Anlage an neue Anforderungen),
- Tests.

**Ereignisbetrieb – EB** (Beeinträchtigung der normalen Abwicklung des Bahnbetriebs)

- aufgrund technischer oder betrieblicher Ereignisse,
- aufgrund technischer oder betrieblicher Störungen,
- Dritteinwirkung oder Fehlbedienung.

### 5.3 Zusammenspiel Betriebsarten, Führungsprozess, Systemprozesse

Die Grafik in Bild 13 zeigt das Zusammenspiel und den Aufbau des Gesamtsystems GBT schematisch auf.

#### Ziele

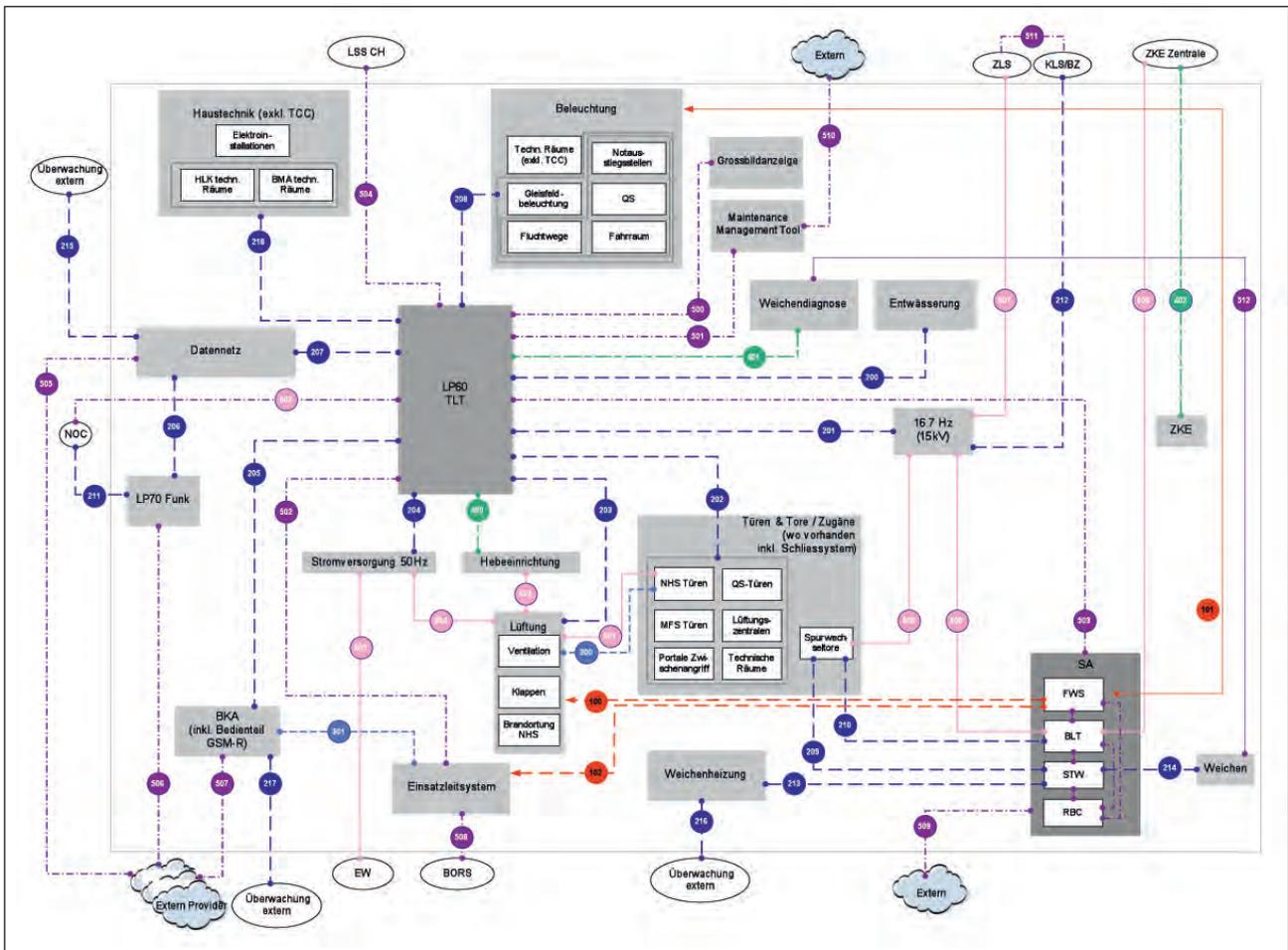
Erstellung einer vollständigen Gesamtdokumentation mit folgenden Teilen:

- Vollständige und eindeutige Begriffsdefinitionen
- Übersicht über alle Systeme Gotthard-Basistunnel mit deren Systembeziehungen und geografischem Standort („Dorfplan“, Bild 14)
- Übersicht und Beschreibung der Prozesshierarchie

- Complete and lucid definitions of terms
- Overview of all Gotthard Base Tunnel systems with their system relationships and geographical location (“village plan”, Fig. 14)
- Overview and description of the process hierarchy
- Diagram showing state with the operational modes and all possible processes, which can trigger a change between operational modes
- Overview of all system relationships in the form of a matrix
- Description of system support of all superordinated processes in process diagrams
- Description of all system interaction processes in process diagrams
- Description of the system relationships (nature, content etc. of information exchanged between the systems)
- Documentation of the IT service management processes according to ITIL.

#### Overview of Gotthard Base Tunnel Systems and System Limits in the “Village Plan” Bodies affected or to be included

- ATG Bahntechnik/Bt) and roughwork furnishing (RBA)
- TTG
- Planners/contractors RBA (operational ventilation, doors and gates etc.)
- SBB
- Third parties (energy suppliers, communications providers)



14 Systemübersicht Gotthard-Basistunnel („Dorfplan“) System overview for Gotthard Base Tunnel (“village plan“)

- Zustandsdiagramm mit den Betriebsarten und allen möglichen Prozessen, welche einen Wechsel zwischen den Betriebsarten auslösen können
- Übersicht über alle Systembeziehungen in Form einer Matrix
- Beschreibung der Systemunterstützung aller übergeordneten Prozesse in Prozessdiagrammen
- Beschreibung aller Systeminteraktionsprozesse in Prozessdiagrammen
- Beschreibung der Systembeziehungen (Art, Inhalt etc. der zwischen den Systemen ausgetauschten Informationen)
- Dokumentation der IT Service-Management-Prozesse nach ITIL.

**Übersicht Systeme Gotthard-Basistunnel und Systemgrenzen im „Dorfplan“ Betroffene respektive einzubeziehende Stellen**

- ATG Bahntechnik (Bt) und Rohbauausrüstung (RBA)
- TTG
- Planer/Unternehmer RBA (Betriebslüftung, Türen und Tore etc.)
- SBB

- Incident services
- Experts as required.

**Extent of Services by TTG and Cooperation with ATG**

TTG conducts the compilation of the processes for the Gotthard Base Tunnel processes with the following duties: managing the management team, coordination, compilation of specifications pertaining to contributions to be supplied by ATG, roughwork (RB), SBB third parties and deployment services, consolidation of these contributions, testing the consistency especially the interaction of the system processes and their incorporation in cross-functional processes. This also includes the compilation of the complete documentation for the GBT processes.

The ATG is responsible for coordinating and supplying contributions from ATG, RB, SBB, third parties and deployment services called for by the TTG. ATG and TTG take decisions regarding processes on a joint basis, which are then given clearance by the ATG.

- Dritte (Energilieferanten, Kommunikationsdienstleister)
- Ereignisdienste
- Experten bei Bedarf.

### Leistungsumfang von TTG und Zusammenarbeit mit ATG

TTG führt die Prozessarbeit für die Prozesse Gotthard-Basistunnel mit folgenden Aufgaben: Leitung des Leitungsteams, Koordination, Erstellung von Vorgaben für durch ATG, Rohbau (RB), SBB, Dritte und Einsatzkräfte zu liefernde Beiträge, Konsolidierung der Beiträge, Prüfung der Konsistenz insbesondere das Zusammenspiel der Systemprozesse und deren Einbettung in die übergreifenden Prozesse. Dazu gehört ebenfalls die Erstellung der Gesamtdokumentation der Prozesse GBT.

Bei der ATG liegt die Verantwortung für die Koordination und Lieferung der von TTG angeforderten Beiträge von ATG, RB, SBB, Dritten und Einsatzkräften. ATG und TTG treffen gemeinsam die Entscheidungen zu den Prozessen, die dann von ATG freigegeben werden.

### Vorgehensmethodik

Es wird eine Vollständigkeitsprüfung der Zusammenhänge in der Systemlandschaft des Gotthard-Basistunnels durchgeführt, wobei der „Dorfplan“ (Bild 14) geprüft und aktualisiert wird. Wichtig hierbei ist, dass alle Systeminteraktionen aufgenommen und pro System die Input- und Output-Meldungen in tabellarischer Form und pro System Input-Output-Beziehungen mit anderen Systemen in einem Ablaufdiagramm beschrieben werden. Dies geschieht immer vor dem Hintergrund des Zeitfaktors und der weiteren Abhängigkeiten sowie der zu beantwortenden Grundfragen: Was wird benötigt, was wird verarbeitet und was wird zur Verfügung gestellt. Hieraus entsteht eine Übersicht über alle Systembeziehungen in Form einer Matrix.

Beispielhaft wird in Bild 15 aufgezeigt, welche „Inputs“ notwendig sind, um die Lüftung einzuschalten, nachdem über das Frühwarnsystem (FWS) ein Heissläufer gemeldet wurde.

Mit Prüfungen wird die Konsistenz der Systeminteraktionen über alle Systeme hinweg belegt. Die Systeminteraktionen werden in die Betriebsarten und übergeordneten Prozesse Gotthard-Basistunnel eingebettet. Mit ergänzenden Beschreibungen der Systeminteraktionen wird festgelegt, welche Systeminteraktionen in welchen Betriebsarten möglich bzw. zulässig sind. Weiter wird definiert, welche übergeordneten Prozesse welche Systeminteraktionen auslösen, respektive in welchen übergeordneten Prozessen Systeminteraktionsprozesse enden.

Zum Abschluss werden mit der Prüfung der Konsistenz und Vollständigkeit der Prozesse Gotthard-Basistunnel im Review-Verfahren die Prozesse Gotthard-Basistunnel freigegeben.

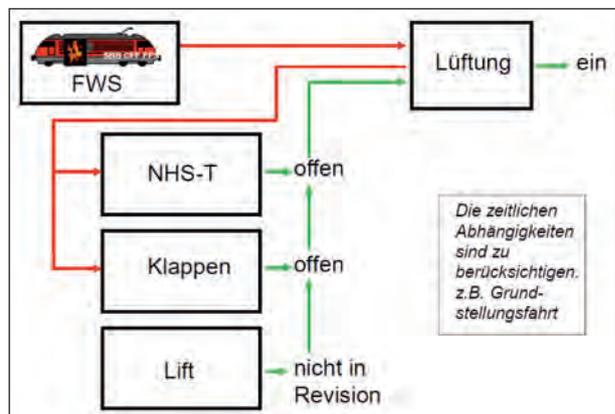
### Method of Approach

An examination to establish the completeness of the interrelationships within the system landscape for the Gotthard Base Tunnel is carried out, with the “village plan” (Fig. 14) being scrutinised and updated. In this connection it is essential that all system interactions are registered and per system the input and output reports are described in tabular form as well as the input-output relationships with other systems described in a sequence of operation diagram per system. This is always undertaken against the background of the time factor and the further relationships as well as the fundamental issues that have to be answered: what is required, what is being processed and what is being made available. This results in the creation of an overview of all system relationships in matrix form.

As an example it is shown in Fig. 15, which inputs are necessary to switch on the ventilation after a hot box is reported via the early warning system (FWS).

The consistency of system interactions is documented throughout all systems by means of tests. The system interactions are embedded in the operational modes and Gotthard Base Tunnel superordinated processes. By means of supplemental descriptions of the system interactions it is established, which system interactions are possible or permissible in which operational modes. Furthermore it is laid down which superordinated processes actually initiate certain system interactions as well as in which superordinated processes system interaction processes end.

To round things off the Gotthard Base Tunnel processes are given the green light with the testing of the consistency and completeness of the Gotthard Base Tunnel processes in review form. In this way timely reaction can ensure that every situation is dealt with as required.



15 Systeminteraktion am Beispiel Lüftung (vereinfacht)  
System interaction taking the example of ventilation (simplified)

Somit wird auf jede Situation bedarfsentsprechend und zeitgerecht reagiert.

### Inbetriebsetzung

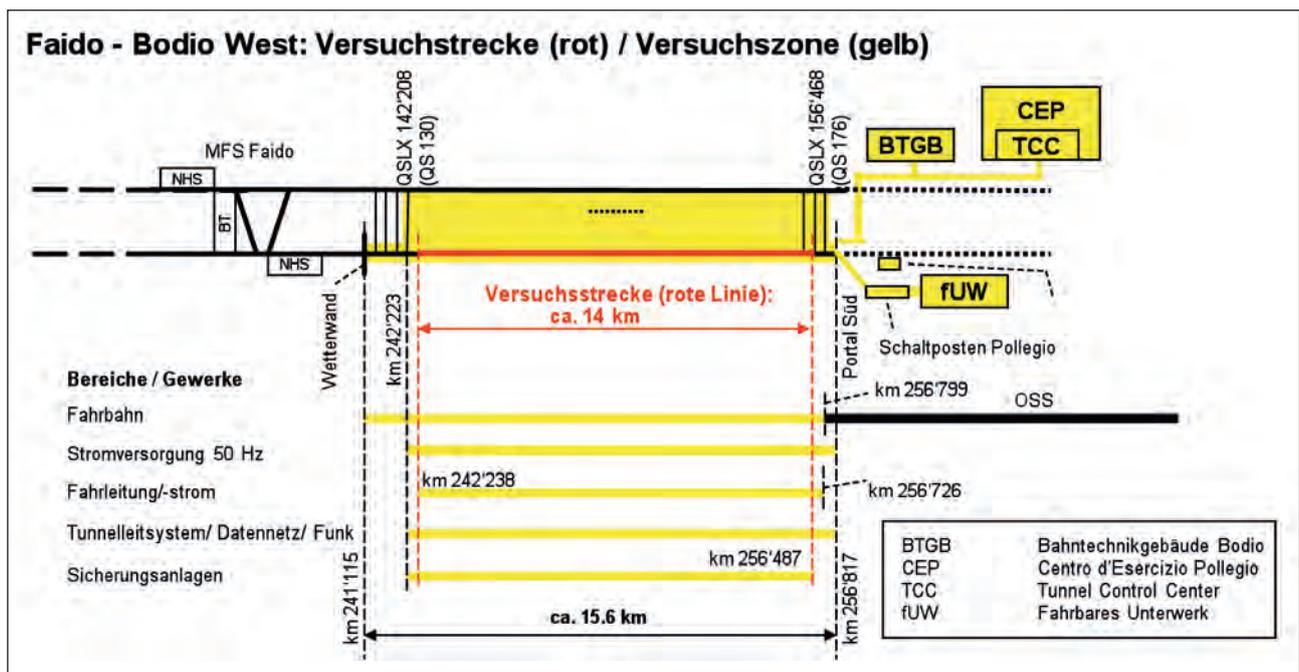
Im Versuchsbetrieb in Faido – Bodio West sollen vor allem die systemtechnischen Zusammenhänge des Werkes Bahntechnik geprüft werden können – dies in Kombination mit spezifischen Testfahrten. Ein weiterer Schwerpunkt bildet das Prüfen des Zusammenspiels der Bahnleittechnik und der Tunnelleittechnik inkl. der untergeordneten örtlichen Leittechnik der verschiedenen elektromechanischen Anlagen. Dabei ist festzuhalten, dass gemäss der vorgegebenen Systemarchitektur der Leittechnik eine grosse Anzahl an Kommunikationsverbindungen zu verwalten sind. Die entsprechenden Erkenntnisse sollen die Inbetriebsetzung der nächsten Einbauabschnitte und des Gesamttunnels positiv beeinflussen. Nach der Durchführung der dem Versuchsbetrieb vorgelagerten Inbetriebnahmen und Teilprüfungen im Einbauabschnitt sind zusammenfassend die TTG-Prüfziele im Versuchsbetrieb grösstenteils der 2. Teilprüfung (Schritt A, Bild 16) zuzuordnen. Nach dem Einschalten der Fahrleitung sollen die verschiedenen Systeme durch Versuchsfahrten mit hoher Fahrgeschwindigkeit unter möglichst realen Bedingungen getestet werden. Unter der fachlichen Leitung der ATG sollen weiter auch die systemtechnischen Zusammenhänge zwischen dem Werk Bahntechnik, den Rohbauausrüstungsgewerken und Dritten geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Ausrüstungsgrenzen der verschiedenen Leistungspakete der einzelnen Gewerke kann von einer Versuchsstrecke (rote Linie) gemäss Bild 16 ausge-

### Commissioning

During trial operations at Faido – Bodio West first and foremost the system technical interrelationships in the rail technology field can be checked – combined with specific test runs. A further major aspect relates to testing the interaction between the rail control technology and the tunnel control technology including the subordinated local control technology for the various electromechanical installations. It must be recalled in this context that a large number of communication links have to be administered in accordance with the predefined system architecture for the control technology. Corresponding recognitions are intended to positively influence the commissioning of the next installation sections and the entire tunnel. After undertaking start-ups and partial tests in the installation section prior to trial operations, the TTG test objectives during the trial operations are largely to be allocated to the 2nd partial test (step A, Fig. 16). Once the overhead line is switched on the various systems are to be tested under as genuine as possible conditions during trial runs carried out at high speed. Under the ATG’s technical direction the system technical interrelationships between the sphere of rail technology, the roughwork disciplines and third parties are to be tried out.

Taking into account the restrictions applying to the various service packages provided by the individual disciplines a test stretch (red line) in accordance with Fig. 16 can be assumed. As a result the electrical test runs can be carried out in the tunnel West (approx. 14 km). Commensurate with the present level of planning the test stretch will be limited to  $v_{max} = 230$  km/h. The requirement for measurement runs



16 Grenzen des Versuchsbetriebs  
Limits of test operations

gangen werden. Somit können die elektrischen Testfahrten im Tunnel West (ca. 14 km) durchgeführt werden. Gemäss heutigem Planungsstand wird die Versuchsstrecke auf  $v_{max} = 230$  km/h beschränkt. Der Bedarf für Messfahrten ( $v_{max} = 80$  km/h) der Funkanlage im Portalbereich soll mit Dieseltraktion abgedeckt werden.

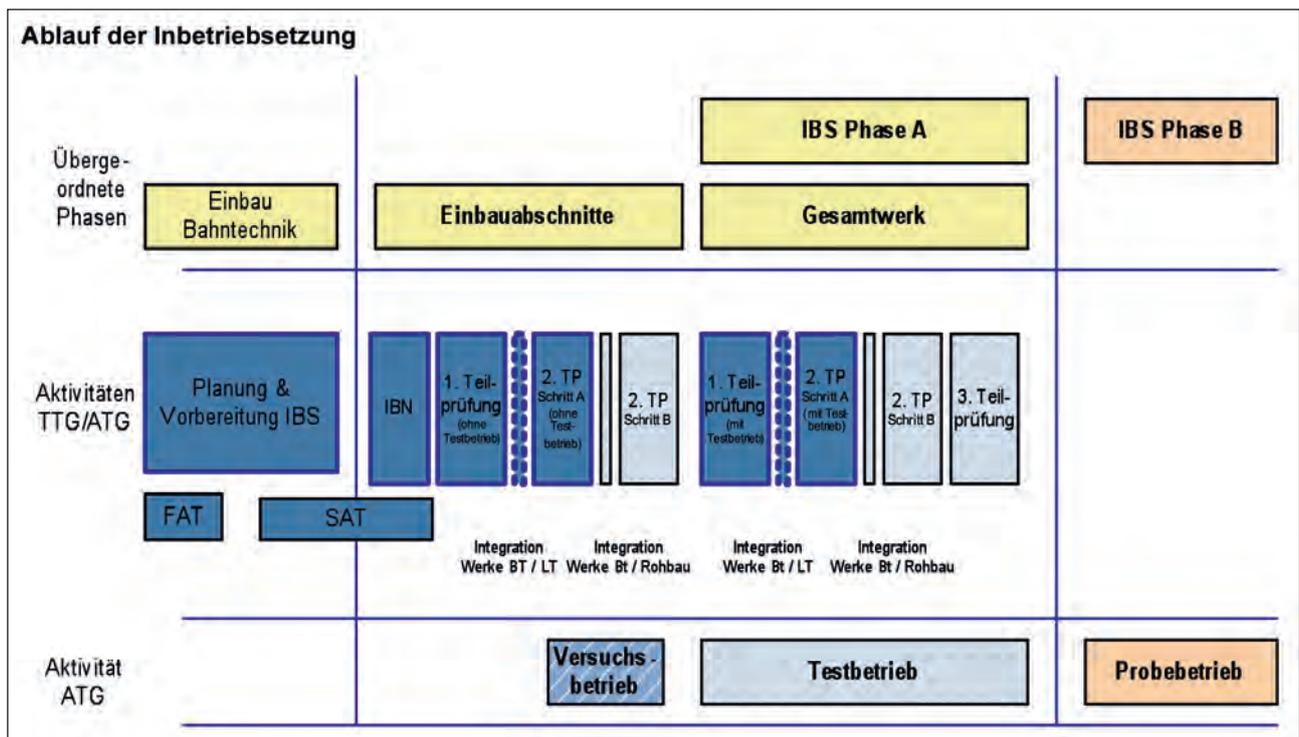
Als separater Pfad kann die Inbetriebsetzung des Gewerks Fahrbahn betrachtet werden. Diese erfolgt vor allen weiteren IBS-Aktivitäten in der Tunnelröhre und in den Querschlägen. Im Bereich der elektromechanischen Anlagen müssen vorweg die sogenannten Grund-Teilwerke in Betrieb genommen werden. Dies beginnt mit der Erdungsanlage. Anschliessend erfolgt die Inbetriebnahme der Stromversorgung 50 Hz, direkt nachfolgend die Inbetriebnahme des Lichtwellenleiter-netzes. Mit der Inbetriebnahme des Datennetzes und der IT-Security wird die Grundlage für die Inbetriebnahme der weiteren Gewerke, welche eine örtliche oder übergeordnete Leittechnik beinhalten, geschaffen. Die IT-Security bildet die Grundlage für das Funktionieren der Leittechnik resp. der Interdatenkommunikation, welche für die Inbetriebnahme der Leittechniksysteme unabdingbar ist. Nach erfolgreicher 1. Teilprüfung der Gewerke erfolgt die sogenannte Integration der Teilwerke zum Werk Bahntechnik unter der Koordination von TTG. Anschliessend wird die 2. Teilprüfung Schritt A (Bild 17) durchgeführt.

Der Einbau der Bahntechnik erfolgt zeitlich gestaffelt in verschiedenen Einbauabschnitten. Um die verfügbare Zeit bestmöglich zu nutzen, d. h. Fehler zum frühestmöglichen

$v_{max} = 80$  km/h for the radio plant in the portal zone is to be covered by diesel traction.

The commissioning of the track section can be considered as a separate path. This will be executed prior to all other IBS activities in the tunnel bore and in the tunnel cross-passages. As far as the electromechanical installations are concerned first of all the so-called basic part sections have to be commissioned. This begins with the earthing circuit. Then the 50 Hz power supply will be commissioned followed directly by the fibre optic cable network. Through commissioning the data network and the IT security system the basis for the introduction of other systems, which contain local and superordinated control technology, will be established. The IT Security forms the basis for the functioning of the control technology and inter data communication, which is essential for commissioning the control technology systems. After the 1st partial test for the various sections is successfully concluded, the so-called integration of the part services with the rail technology section ensues, coordinated by TTG. Subsequently the 2nd partial test step A (Fig. 17) will be carried out.

The installation of the rail technology will be executed in various sections in keeping with a time frame. In order to take advantage of the available time as far as possible, i.e. recognising errors as soon as possible and to optimise the application of resources, as many tests as possible will be carried out in each installation section immediately after installation takes place.



17 Genereller Ablauf der Inbetriebsetzung  
General sequence of commissioning

Zeitpunkt zu erkennen und den Ressourceneinsatz zu optimieren, werden in jedem Einbauabschnitt so viele Prüfungen wie möglich unmittelbar nach dem Ende des Einbaus durchgeführt.

### **Ablauf der Inbetriebsetzung**

Den Prüfungen pro Einbauabschnitt folgen die Prüfungen für das Gesamtwerk. Sämtliche Tests, die nicht zwingend die Verfügbarkeit aller Tunnelabschnitte oder den Abschluss bestimmter Arbeiten voraussetzen, werden im jeweiligen Einbauabschnitt durchgeführt. Inhalt der ersten und zweiten Teilprüfung (Schritt A) im Gesamtwerk sind nur die Prüfungen, die im Einbauabschnitt nicht durchgeführt werden konnten.

### **Commissioning Sequence**

The tests per installation section will be followed by the tests for the complete tunnel. All tests, which do not essentially depend on the availability of all tunnel sections or the conclusion of certain activities, will take place in the corresponding installation section. The content of the first and second partial tests (step A) for the complete tunnel merely constitutes those tests, which could not be executed in the installation section.

*Carmen Deulofeu i Palomas, Civil Engineer,  
Polytechnic University of Catalonia, Directrice  
générale des Travaux neufs, GISA – Gestio  
d'Infrastructures S.A., Barcelone/E*

*Joan Serratosa Belles, Directeur de la division  
Ligne 9, GISA – Gestio d'Infrastructures S.A.,  
Barcelone/E*

*Henning Schwarz, Chef du bureau Auscultation et  
géotechnique, GISA – Gestio d'Infrastructures S.A.,  
Barcelone/E*

## Ligne 9 du métro de Barcelone

### Creusement du tronçon Can Zam – Rio Besòs

La ligne 9 du métro de Barcelone est la plus importante infrastructure de transport en cours de construction dans l'aire métropolitaine de Barcelone. Les caractères spécifiques du site ont conduit à prévoir pour l'essentiel du tracé un tunnel de 10,90 m de diamètre intérieur, divisé horizontalement par une dalle intermédiaire qui sépare deux niveaux indépendants, un pour chacun des sens de circulation. Ce système permet de loger à l'intérieur du tunnel lui-même aussi bien les quais des stations que les voies de garage, les voies d'évitement et les rampes de communication entre voies.

Des procédés originaux ont été développés tout au long des diverses phases du projet et pendant l'exécution des travaux; ces procédés ont été employés ultérieurement pour la construction d'autres infrastructures souterraines gérées par GISA (Gestio d'Infrastructures S.A., Barcelone/Spain). Le présent article résume les méthodes utilisées depuis la phase de conception jusqu'à celle des travaux de génie civil, en particulier sur le tronçon Can Zam – Rio Besòs.

## Line 9 of the Barcelona Metro

### Digging the Can Zam – Rio Besòs section

Line 9 of the Barcelona Metro is the largest transport infrastructure project to be built in the Barcelona metropolitan area over recent years. The specific urban and ground conditions have meant that the majority of the work is designed as a 10.90 m diameter tunnel divided by an intermediate slab into two individual levels, one for each direction of travel. This design allows the inclusion of platform areas, siding and passing areas and communication ramps within the same tunnel.

Specific methodologies were developed during the design and construction of the work which have subsequently been employed in the construction of other underground infrastructures managed by GISA (Gestio d'Infrastructures S.A., Barcelona/Spain). The present article gives a summary of the methods applied from the design stage to the civil works, especially on the Can Zam – Rio Besòs section.

#### 1 Introduction

La ligne 9 du métro de Barcelone est la plus importante infrastructure de transport à construire dans le cadre du Plan directeur des infrastructures [1]. Les communes traversées correspondent aux zones de plus grande densité de population de l'aire métropolitaine de Barcelone, comme on peut le voir sur la Fig. 1.

Du Nord au Sud, la ligne 9 traverse les communes de Santa Coloma de Gramenet, Badalona, Barcelone, Hospitalet de Llobregat et Prat de Llobregat. Sa fonction majeure sera de convertir le schéma purement radial du métro de Barcelone

#### 1 Introduction

Line 9 of the Barcelona Metro is the largest transport infrastructure project to be built as part of the Infrastructure master plan [1]. The towns served correspond to the areas with the highest population density in the Barcelona metropolitan area, as indicated on Fig. 1.

From North to South, Line 9 serves the towns of Santa Coloma de Gramenet, Badalona, Barcelona, Hospitalet de Llobregat and Prat de Llobregat. Its main function is to convert the Barcelona Metro's purely radial layout into a grid network which will be harmonised with public transport in

## Linie 9 der Metro Barcelona Auffahren des Streckenabschnitts Can Zam – Rio Besòs

Die Linie 9 der Metro Barcelona ist der wichtigste im Bau befindliche Teil der Transportinfrastruktur der Metropolregion Barcelona. Aufgrund der besonderen Gegebenheiten vor Ort wurde ein Tunnel als wesentlicher Bestandteil der Trasse vorgesehen. Er besitzt einen Innendurchmesser von 10,90 m und ist durch eine Zwischenplatte horizontal unterteilt, wodurch zwei unabhängige Ebenen voneinander getrennt werden, jeweils eine für jede Verkehrsrichtung. Dieses System bietet selbst im Innern des Tunnels ausreichend Platz für Bahnsteige, Parkgleise, Ausweichgleise sowie für Verbindungsrampen zwischen den Gleisen. Während der verschiedenen Projektphasen sowie bei der Ausführung der Arbeiten wurden eigene Verfahren entwickelt. Diese Verfahren sind anschließend beim Bau anderer unterirdischer Infrastrukturen unter der Leitung von GISA (Gestio d'Infraestructures S.A., Barcelona/Spain) eingesetzt worden. Der vorliegende Artikel fasst die Methoden zusammen, die von der Konzeptionsphase bis zu den Bauingenieursarbeiten verwendet wurden, insbesondere auf dem Streckenabschnitt Can Zam – Rio Besòs.

## Linea 9 dellametropolitana di Barcelona

### Scavi del tronco Can Zam – Rio Besòs

La linea 9 della metropolitana di Barcellona è l'infrastruttura di trasporto più importante in fase di costruzione nell'area metropolitana di Barcellona. Le caratteristiche specifiche del sito hanno portato a progettare, per la maggior parte del tracciato, una galleria con diametro interno di 10,90 m, diviso in orizzontale da una piastra intermedia che separa due livelli indipendenti, uno per ciascun senso di marcia. Questo sistema permette di ospitare all'interno della galleria stesso le banchine delle stazioni, i binari di stazionamento, i binari di deviazione e le rampe di comunicazione tra i binari.

Durante le diverse fasi progettuali e l'esecuzione dei lavori, sono stati sviluppati processi originali, che sono stati successivamente utilizzati per la costruzione di altre infrastrutture sotterranee gestite dalla GISA (Gestio d'Infraestructures S.A., Barcellona/Spagna). Il presente articolo riassume i metodi utilizzati dalla fase di concepimento fino ai lavori del genio civile, in particolare sul tronco Can Zam – Rio Besòs.



1 Photo aérienne de Barcelone avec le tracé de la future ligne 9  
Aerial view photo of Barcelona with the future Line 9 route

en un réseau maillé, qui rapprochera du transport collectif des secteurs non desservis de manière optimale, comme Santa Coloma de Gramenet, Badalona, la zone industrielle et de services de la «Zona Franca», la ville de Prat de Llobregat et les accès à l'aéroport, tout en facilitant les correspondan-

any areas not served optimally, such as Santa Coloma de Gramenet, Badalona, the "Zona Franca" industrial and business parks, the town of Prat de Llobregat and the airport accesses while facilitating intermodal connections and connections with other metro lines. But it is also a new metro line

ces intermodales ou avec d'autres lignes de métro. Mais c'est également une nouvelle ligne de métro qui améliore les conditions socio-économiques et l'accessibilité de quartiers denses mais mal desservis.

La ligne 9 aura une longueur de 47,8 km. Parmi ses 52 stations, 20 seront en correspondance soit avec le métro ou le tramway, soit avec des lignes de banlieue ou des lignes régionales gérées par les Ferrocarrils de la Generalitat (FGC), soit avec les lignes interrégionales ou à grande vitesse (RENFE).

Pour sa construction, il a été décidé d'utiliser des tunneliers à pression de terre dans les sols et roches tendres, et des tunneliers convertibles pression de terre/roches dures et vice-versa en fonction de la qualité des terrains traversés. Sur la plus grande partie du tracé, le diamètre intérieur du tunnel est de 10,90 m, ce qui impose un diamètre excavé pouvant atteindre 12,06 m. A l'intérieur de ce tunnel de grand diamètre, on construit une dalle intermédiaire qui permet d'individualiser chaque sens de circulation et surtout de loger les quais des stations à l'intérieur du tunnel, sans avoir à excaver de grandes fouilles depuis la surface pour y mettre les stations, ni de grandes cavernes sous le bâti existant. Ce concept diminue fortement le coût des stations, tout en accélérant le creusement du tunnel principal du fait de la suppression des sujétions liées à la traversée de stations vides. Mais il présente aussi de nombreux avantages du point de vue fonctionnel, car il permet:

- De garer facilement des rames de réserve, d'où une grande flexibilité pour les distribuer tout au long de la ligne en fonction des besoins
- De supprimer les niches latérales du fait du plus grand espace disponible
- De faciliter l'inspection et la maintenance de la voie et des réseaux associés
- D'assurer l'indépendance des deux voies en cas d'incendie
- D'allonger les stations à volonté, pour un coût minime.

Par ailleurs, dans le secteur du delta du rio Llobregat, on a opté pour un tunnel monotube plus proche de la surface, avec deux voies sur le même niveau et des stations classiques entre parois moulées, dans le souci de protéger l'aquifère profond. Il est prévu d'utiliser au total 5 tunneliers à pression de terre ou convertibles. Enfin, un dernier tronçon est prévu en viaduc pour la traversée de la Zona Franca, ce qui est une nouveauté à Barcelone.

Autre changement fondamental apporté par la ligne 9 pour le transport public de masse: la conduite automatique des rames, et la fermeture des quais par des portes synchronisées avec l'arrivée et le départ des rames; l'installation de ce système d'exploitation automatique est confiée à la société Siemens-Dimetronic. Actuellement, un premier tronçon près de Santa Coloma de Gramenet est en cours d'essai en vue de la mise en service de ce nouveau système vers la fin de l'année 2009. Ultérieurement, d'autres tronçons seront mis en

that improves the socio-economic conditions and accessibility of dense but poorly served areas.

Line 9 will be 47.8 km long. 20 of its 52 stations will offer connections with the metro or the tram, with suburban or regional train services managed by Ferrocarrils de la Generalitat (FGC) or with interregional or high-speed train services (RENFE).

For its construction, it was decided to use earth pressure TBMs in the soils and soft rocks, and convertible earth pressure / hard rock TBMs and vice-versa depending on the quality of the ground encountered. The inner tunnel diameter is 10.90 m for the largest part of the route; this requires an excavated diameter of up to 12.06 m. Within this large-diameter tunnel, we build an intermediate slab within this large-diameter tunnel in order to separate each direction of travel and, in particular, to accommodate the station platforms within the tunnel without having to dig large excavations from surface level for the stations or large caves under the existing construction. This concept significantly reduces the cost of the stations, while accelerating the boring of the main tunnel due to the removal of constraints associated with passing through empty stations. But it also presents numerous functional advantages as it allows you to:

- Easily park spare trains, thus providing great flexibility for distributing them along the line according to needs
- Remove the side recesses thanks to the greater space available
- Facilitate inspection and maintenance of the track and the associated networks
- Guarantee independence of the two tracks in the event of fire
- Extend the stations as required at a minimum cost.

Furthermore, in the area of the Rio Llobregat delta, we opted for a single-tube tunnel closer to surface level with two tracks on the same level and classic stations between diaphragm walls with a view to protecting the deep aquifer. It is planned to use a total of 5 earth pressure or convertible TBMs. Finally, a last section is planned to run on a viaduct for crossing the Zona Franca area, and this is an innovation in Barcelona.

Another fundamental change brought to mass public transport by Line 9 is automatic train driving, and platform closure assured by doors synchronised with train arrivals and departures; installation of this automatic operating system has been entrusted to Siemens-Dimetronic. The first section near Santa Coloma de Gramenet is currently being tested with a view to commissioning this new system towards the end of 2009. Other sections will then be commissioned successively until completion of Line 9.

## 2 The project

Urban tunnel projects in Barcelona and in particular the Line 9 tunnel project must take account of a set of constraints including:

service les uns après les autres, jusqu'à achèvement de cette ligne 9.

### 2 Le projet

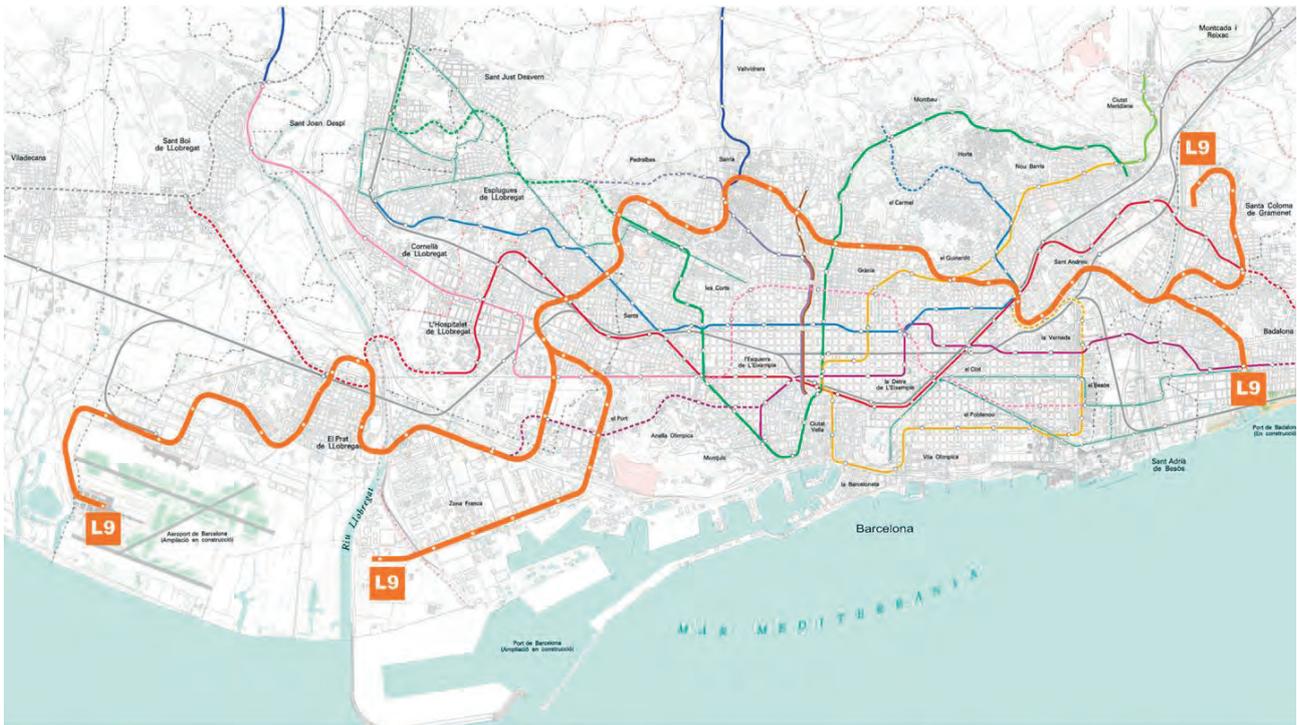
Les projets de tunnels urbains à Barcelone, et en particulier celui de la ligne 9, doivent tenir compte d'un ensemble de contraintes, parmi lesquelles:

- La population que l'on désire desservir, donc les études de trafic potentiel réalisées au préalable
  - Les contraintes topographiques, qui vont de l'environnement deltaïque des fleuves Besòs et Llobregat jusqu'à un contexte quasi-montagneux dans le centre et l'extrême Nord de l'agglomération
  - Les contraintes de tracé, qui doivent intégrer la présence d'infrastructures existantes de toute nature: lignes de métro, voies ferrées, tunnels routiers, collecteurs d'assainissement, etc.
  - Les conditions géotechniques imposées par un environnement géologique particulièrement complexe: sols meubles des deltas (sables et limons), roches fracturées et faillées (schistes), roches dures – ce qui a nécessité d'établir des coupes longitudinales et transversales, ainsi que des modèles de blocs et des interprétations en 3D [2]. Les méthodes recommandées dans l'Eurocode 7 ont été appliquées [3]; ont été également réalisées des études probabilistes analogues à celles présentées par S. Boone [4]. Outre le calcul structurel du tunnel, il importe de vérifier par différentes méthodes la stabilité du front compte tenu des pressions de confinement utilisées (recherches de N. Ruse, [5])
  - Les autres sujétions liées au sous-sol, telles que vieux puits, captages d'eaux souterraines, refuges antiaériens de la Guerre Civile. En anticipant sur d'autres projets de l'aire métropolitaine de Barcelone et de Catalogne, on a également réalisé des inventaires spécifiques de phénomènes karstiques et d'habitat néolithique, inventaires qui seront également utilisés pour les études préalables de la future ligne 12
  - Les sujétions liées à la présence du niveau phréatique ou de flux d'eau souterraines. A ce sujet, il convient de prêter la plus grande attention aux procédures de pompage, qui doivent faire partie intégrante de la méthode de construction
  - Les contraintes d'urbanisme, dans les zones denses manquant de larges avenues, sont déterminantes pour l'implantation précise des stations, des accès, des puits de ventilation ou d'exhaure, des sorties de secours, etc.
  - Les contraintes fonctionnelles propres à la conception d'une ligne à exploitation automatique mais toujours accessible et qui bénéficiera de la technologie la plus avancée
  - Il va sans dire que les contraintes de sécurité, pendant les travaux comme pendant la construction, sont fondamentales et ce dès la phase de conception
  - Enfin, les projets de construction de GISA intègrent des Inspections techniques de bâtiments (ITE), ainsi qu'un
- The population that you would like to serve, therefore potential traffic studies performed beforehand
  - The topological constraints, from the delta environments of the Besòs and Llobregat rivers to an almost mountainous context in the centre and the extreme North of the urban area
  - The route constraints which must integrate the presence of all kinds of existing infrastructures: metro lines, railways, road tunnels, drainage system, etc.
  - The geotechnical conditions imposed by a particularly complex geological environment: Soft ground in deltas (sands and silts), fractured and faulted rocks (schists), hard rocks – which required the preparation of longitudinal sections and cross-sections as well as block models and 3D interpretations [2]. The methods recommended in Eurocode 7 have been applied [3]; and probability studies similar to those presented in [4] have also been produced. In addition to the structural calculation for the tunnel, it is also important to check the face stability with various methods, given the confining pressures used (research by N. Ruse, [5])
  - The other constraints in the subsoil such as old wells, groundwater catchments, air raid shelters from the Civil War. By anticipating other projects in the Barcelona metropolitan area and Catalonia, we have also performed specific inventories for karst phenomena and Neolithic habitats, which will also be used for the preliminary studies for the future Line 12
  - The constraints related to the presence of the groundwater table or groundwater fluxes. In this respect, utmost attention should be paid to the pumping procedures that should be an integral part of the construction method
  - The town planning constraints in dense areas with no wide avenues are decisive in the accurate implantation of stations, accesses, ventilation or pump shafts, emergency exits, etc.
  - The functional constraints specific to designing an automatically operating line accessible at all times and equipped with the most advanced technology
  - It stands to reason that the safety constraints during work and during construction are fundamental from the design phase
  - Finally, GISA construction projects integrate technical building inspections (TBI) as well as a Construction instrumentation project (ECIA) which is used as a basis for the Work investigation plan [6]

Consideration of the various constraints listed above led us to adopt a wide variety of structural elements for the various sections of Line 9 (Fig. 4):

- Covered trenches between walls that could only be constructed in areas with open spaces and wide avenues (over 3 kms)
- Shallow tunnel with a diameter of 9.40 m, with a double track on the same level and stations between diaphragm

## Ligne 9 du métro de Barcelone • Creusement du tronçon Can Zam – Rio Besòs



2 Réseau actuel du métro de Barcelone avec tracé de la ligne 9 (en orange)  
Current Barcelona metro network with the Line 9 route (in orange)

Projet d'instrumentation de l'ouvrage (ECIA), qui sert de base au Plan d'auscultation des travaux [6]

La prise en compte des diverses contraintes énumérées ci-dessus a conduit à adopter une grande variété de types structuraux pour les différents tronçons de la ligne 9 (Fig. 4):

- Tranchées couvertes entre parois, seulement exécutables dans les zones pourvues d'espaces libres et de larges avenues (sur 3 km)
- Tunnel peu profond avec diamètre 9,40 m, avec double voie sur le même niveau et stations entre parois moulées, solution adaptée au tronçon no. 1 (sur 13,6 km)
- Viaduc dans la zone industrielle du tronçon no. 2, au voisinage de la mer (sur 4,09 km)
- Tunnel profond avec diamètre 12 m excavés pour les tronçons no. 2, 3 et 4, avec voies superposées et stations logés à l'intérieur même du tunnel (sur 26,91 km)
- Sur une courte longueur (0,4 km), tunnel excavé en méthode conventionnelle mais avec voies superposées

C'est l'impossibilité de pouvoir exécuter des stations conventionnelles depuis la surface, et la grande complexité de cavernes à creuser dans des sols sous la nappe, qui a conduit à choisir sur la majorité du tracé le concept innovant du tunnel de grand diamètre exécuté au tunnelier. Sur la longueur du tunnel correspondant à celle de la station, on intègre dans le tunnel les quais et les divers services nécessaires aux stations. Les deux voies sont réparties sur deux niveaux séparés par une dalle intermédiaire de 40 cm d'épaisseur (Fig. 3); ce

walls; this solution is adapted to Section no. 1 (over 13.6 kms)

- Viaduct in the industrial park in Section no. 2, near the sea (over 4.09 kms)
- Deep tunnel with a diameter of 12 m excavated for Section nos. 2, 3 and 4, with superimposed tracks and stations situated inside the tunnel (over 26.91 kms)
- Over a short distance (0.4 km), tunnel excavated using a conventional method but with superimposed tracks

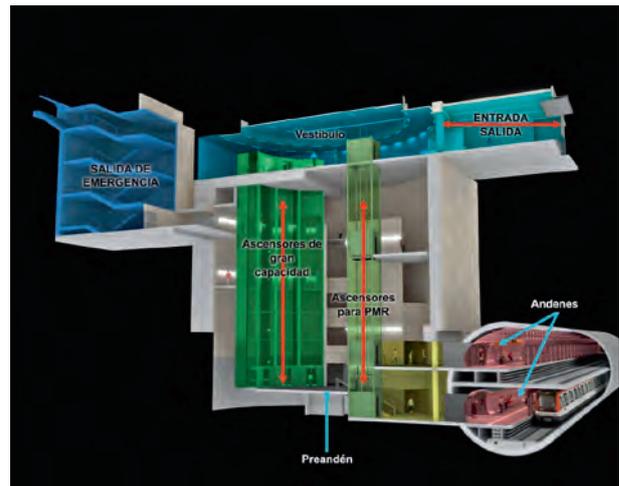
It is the impossibility to construct conventional stations from surface level and the major complexity of the caves to be dug in ground below the water table that led us to choose the innovative concept of a TBM-excavated large-diameter tunnel for most of the route. We integrate the platforms and the various services required in the stations into the tunnel along the length of the tunnel corresponding to that of the station. The two tracks are laid on two levels separated by a 40 cm-thick intermediate slab (Fig. 3); this concept of superimposed tracks is similar to that adopted at the same time for the A86 Paris ring road motorway for light vehicles only (SOCATOP project) as well as for the motorway associated with a flood management structure in Kuala-Lumpur (SMART project).

The Line 9 project has been divided into 4 sections, presented in diagrammatic form on Fig. 4 according to their mode of construction. The work is the subject of 22 main civil engineering contracts and 6 equipment contracts. 5 of the 52 stations are situated on viaducts, 17 are between diaphragm walls and 30 are inside the tunnel.

concept de voies superposées est analogue à celui qui a été adopté à la même époque pour l'autoroute A86 de contournement de Paris, limitée aux véhicules légers (projet SOCATOP), ainsi que pour l'autoroute jumelée à un collecteur de crues à Kuala-Lumpur (projet SMART).

Le projet de ligne 9 a été divisé en 4 tronçons, présentés sous forme schématique sur la Fig. 4 en fonction de leur mode de réalisation. Les travaux font l'objet de 22 contrats principaux de génie civil et de 6 contrats pour les équipements. Sur les 52 stations, on compte 5 stations en viaduc, 17 entre parois moulées, et 30 à l'intérieur même du tunnel.

L'accès aux 30 stations de ce dernier type se fait par des puits de grand diamètre (26 à 32 m) et de profondeur variable (de 35 à 70 m). Les puits profonds sont exécutés soit avec des parois moulées, soit avec des hydrofraises, en veillant particulièrement à l'exécution de joints entre panneaux; en terrain rocheux, l'excavation des puits se fait parfois à l'explosif, avec soutènement avec anneaux en béton armé avec boulons



3 Coupe d'une station de type puits avec voies et quais («andanes») superposés séparés par une dalle intermédiaire

Section of a shaft-type station with superimposed tracks and platforms ("andanes") separated by an intermediate slab



4 Les divers modes de construction de la ligne 9 (pantalles = parois moulées)  
The various construction methods used for Line 9 (pantalles = diaphragm walls)

et béton projeté. L'axe des puits est excentré par rapport au tunnel, l'implantation du puits pouvant varier depuis une position sécante (pour les stations situées dans des sols) à une position presque tangente (pour les stations situées dans des roches); le plus souvent, le tunnelier traverse la base du puits avant qu'il ne soit vidé de ses matériaux, ce qui impose de démonter ensuite une partie des voussoirs. Naturellement, un bloc étanche doit être créé par injection au niveau de la jonction entre tunnel et puits.

The 30 stations of this last type can be accessed via large-diameter shafts (26 to 32 m) of variable depth (30 to 70 m). The deep shafts are constructed with either diaphragm walls or with Hydrofraise technology, with particular attention paid to the joints between the panels; on rock land, the shafts are often excavated with explosives and supported by reinforced concrete rings or with bolts and air-placed concrete. The shaft axis is eccentric in relation to the tunnel, and the location of the shaft may vary from a secant position (for sta-

### 3 Données géologiques et géotechniques

La ligne 9 du métro de Barcelone passe sur l'essentiel de son tracé sous des zones à forte densité, avec des rues étroites. Le relief en surface est très variable selon les tronçons, depuis des zones collinaires à montagneuses dans le tronçon central et nord, jusqu'aux plaines deltaïques des rios Besòs et Llobregat. Les matériaux excavés varient également beaucoup, depuis des granites de grande dureté, des roches tendres du Miocène et du Pliocène, jusqu'à des sols surconsolidés ou des sols mous du Quaternaire récent. Le niveau phréatique est élevé, et toujours situé au-dessus de la clé du tunnel.

Dès les premières études réalisées par l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) et jusqu'à la réalisation des travaux, une grande masse de dossiers techniques a été compilée concernant les différentes campagnes de reconnaissance géotechnique, en particulier celles conduites par ATM et plusieurs campagnes réalisées durant le projet d'exécution. Après le début des travaux, on a réalisé localement des reconnaissances de détail, avec notamment des essais de pompage, pour lesquels l'exécution des puits et des piézomètres ont apporté des informations complémentaires.

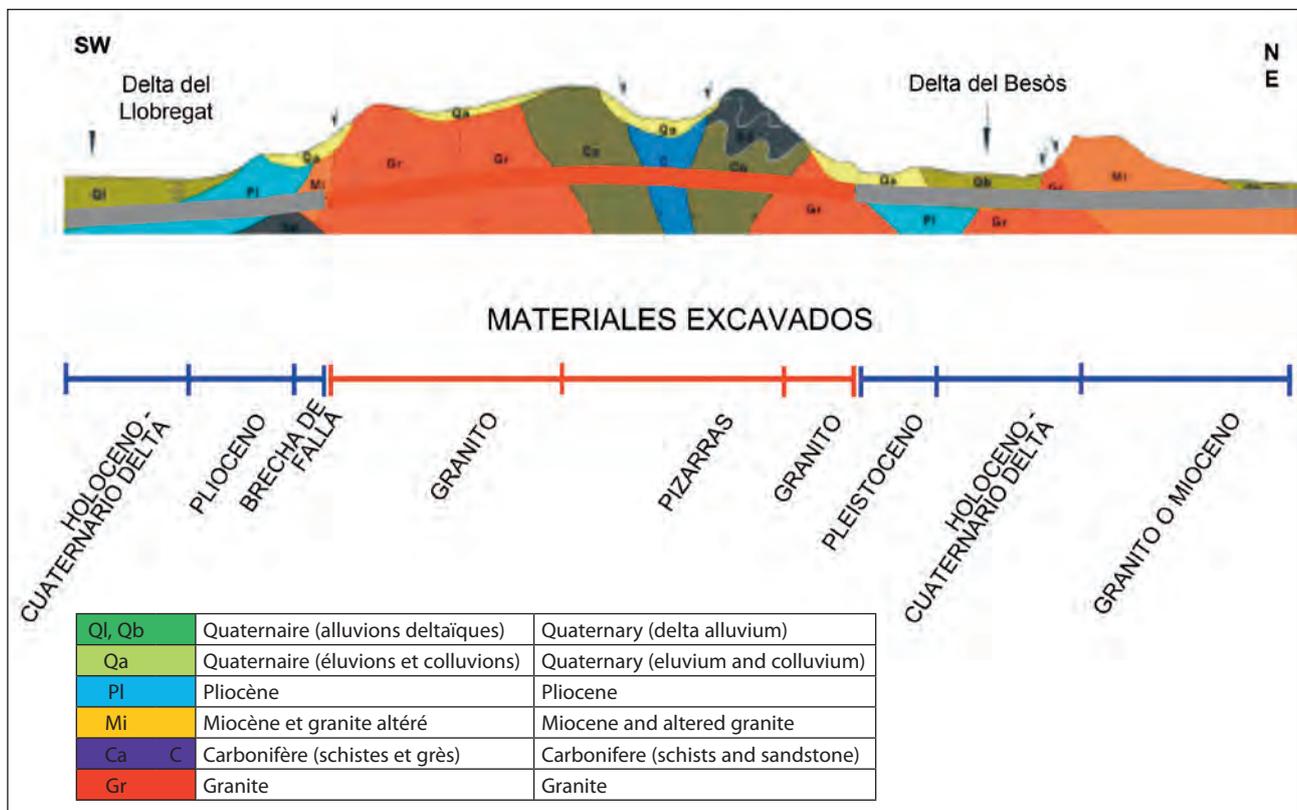
Pour la mise en place de l'auscultation, des sondages ont également été réalisés en vue d'y installer des extensomè-

tions situées dans les sols) à une position presque tangente (pour les stations situées dans les roches); in most cases, the TBM bores through the shaft base before it is emptied of its materials; this then requires dismantling some of the segments. A sealed block must of course be created by injection at the tunnel/shaft junction.

### 3 Geological and geotechnical data

Most of the route of Line 9 of the Barcelona metro passes under high density areas, with narrow streets. The surface relief is very variable depending on the sections, from hilly to mountainous areas in the central and north sections to delta plains at the Besòs and Llobregat rivers. The excavated materials also vary a lot from very hard granites, soft Miocene and Pliocene rocks, to over-consolidated soils or recent Quaternary soft ground. The groundwater level is high and is always situated above the tunnel key.

From the first studies performed by Autoritat del Transport Metropolità (ATM) (Metropolitan Transport Authority) until completion of the work, a large pile of technical files was compiled on the various geotechnical site investigations, in particular those carried out by ATM and several campaigns conducted during the final design. We conducted detailed investigations locally after the start of the work, with in particular pumping tests for which the shaft and piezometer designs provided additional information.



5 Coupe géologique générale de la ligne 9  
General geological profile for Line 9

tres, inclinomètres, piézomètres et autres systèmes de mesure. En règle générale, les inclinomètres ont été implantés des deux côtés du tracé, jusqu'à une profondeur supérieure à celle du radier du tunnel; à cette occasion, les sondages ont été carottés et ont fait l'objet d'essais au laboratoire et in situ. Les forages piézométriques ont été également carottés afin de pouvoir positionner correctement la zone crépinée. Enfin, des forages destructifs ont été réalisés en complément des investigations géophysiques destinées à détecter des fondations profondes.

Tous ces résultats ont été rassemblés dans des bases de données spécifiques facilitant leur consultation et leur analyse, en vue d'optimiser les méthodes de construction. Ceci a permis d'obtenir une vision tridimensionnelle du sous-sol, ce qui s'est révélé particulièrement utile dans les zones de contact entre couches et dans les zones faillées des massifs rocheux.

#### 4 Contrats de maîtrise d'œuvre et de suivi des travaux

En tant que maître d'ouvrage délégué pour le compte des autorités de Barcelone, GISA s'est assuré le concours de divers assistants techniques nécessaires au bon déroulement des travaux, en particulier un Maître d'œuvre, un Responsable du suivi et du contrôle (LOP), et un Coordinateur Santé-Sécurité, avec pour chacun un contrat séparé. De plus, GISA a mis à la disposition du Maître d'œuvre d'autres contractants indépendants, comme le Contrôle de qualité, l'Auscultation topographique et géotechnique, ainsi que l'Inspection technique des bâtiments (ITE).

Pour les tronçons comportant des excavations sous bâti, on a rédigé des plans et protocoles de travail spécifiques, qui définissent les paramètres de contrôle et les actions à entreprendre en cas de dépassement des seuils.

##### 4.1 Calcul et suivi des tassements

Pour le suivi direct des travaux, on dispose de systèmes informatiques de transmission des données en temps réel, auxquels ont accès le Maître d'œuvre, le Responsable du suivi et du contrôle, l'entreprise, l'Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), ainsi que GISA et tous ceux à qui elle y donne accès. Pour améliorer l'efficacité et l'analyse de l'auscultation des travaux en temps réel, GISA a créé une base de données avec son propre SIG (système d'information géographique). La connexion avec les systèmes informatiques des tunneliers donne une information directe sur les paramètres d'excavation; l'utilisation de macros d'analyse permet de comparer des ensembles de valeurs et d'évaluer la qualité du travail des tunneliers [16].

A l'initiative de GISA, on s'est efforcé d'améliorer ces systèmes informatiques ainsi que l'analyse des données disponibles. Pour cela, on a élaboré des fiches de ponctuation et des formules d'évaluation de la qualité des travaux. Citons en parti-

Probes were also performed for setting up the investigation with a view to installing extensometers, inclinometers, piezometers and other measuring systems. As a general rule, the inclinometers were set up on both sides of the route to a maximum depth above that of the tunnel base slab; on this occasion, test cores were taken and subjected to laboratory and in-situ tests. Piezometric core boring operations were also performed in order to correctly position the screened area. Finally, destructive boring operations were performed to complement the geophysical investigations intended to detect deep foundations.

All of these results were grouped together in specific databases facilitating consultation and analysis with a view to optimising the construction methods. This provided a 3D view of the subsoil, which proved to be particularly useful in the contact areas between layers and in the faulted areas of the rock massifs.

#### 4 Works management and work follow-up contracts

As the contracting authority acting on behalf of the Barcelona authorities, GISA has obtained help from various technical assistants required to assure correct performance of the work, in particular a Project Manager, a Follow-up and Inspection Officer (LOP) and a Health/Safety Coordinator, each with a separate contract. In addition, GISA has provided the Project Manager with other independent contractors in areas such as Quality Control, Topographical and Geotechnical Investigation as well as Technical Building Inspection (TBI).

For the sections involving excavations under the buildings, we drafted specific plans and work protocols defining the inspection parameters and the actions to be undertaken if the limits are exceeded.

##### 4.1 Settlement calculation and monitoring

For directly monitoring the work, we are equipped with computerised real-time data transmission systems that can be accessed by the Project Manager, the Follow-up and Inspection Officer (LOP), the company, Polytechnic University of Catalonia (UPC), as well as GISA and anyone to whom it provides access. GISA has created a database with its own GIS (geographical information system) to improve the effectiveness and analysis of work inspection in real time. The connection with the computerised TBM systems provides direct information on the excavation parameters; use of analysis macros allows us to compare sets of values and evaluate the quality of the TBM work [16].

On the initiative of GISA, we have tried hard to improve these computerised systems as well as analysis of available data. We have developed punctuation sheets and work quality evaluation formula for that. We should mention in particular the evaluation formula for backfilling injection efficiency [7];

culier la formule d'évaluation de l'efficacité des injections de bourrage [7]; cette formule permet de comparer la «perte de sol» ou la subsidence liée à la décompression du front, avec la perte de sol ou la subsidence finale une fois que le mortier d'injection a fait prise, soit:

$$\eta_R = 1 - \frac{V_{st} - V_{sc}}{V_c - V_t} \quad (1)$$

Dans la formule (1), le paramètre  $V_{st}$  représente le volume final (en  $m^3/m$ ) de la cuvette de subsidence après stabilisation des tassements, tandis que  $V_{sc}$  représente le volume de subsidence lors du passage du front dans la section analysée. Le volume excavé  $V_c$  (toujours en  $m^3/m$ ) est déduit du diamètre de la roue de coupe, tandis que le volume annulaire  $V_t$  correspondant au diamètre extérieur des voussoirs.

En considérant une cuvette théorique en forme de courbe de Gauss inversée, il est possible de calculer le volume de subsidence  $V_s$  d'après le tassement dans l'axe du tunnel [8], soit:

$$V_s = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot s = \sqrt{2\pi} \cdot K \cdot h \cdot s = P \cdot s \quad (2)$$

Où  $K$  est un coefficient dépendant du terrain,  $h$  est la hauteur de couverture dans l'axe du tunnel, et  $S$  le tassement dans l'axe. Compte tenu de la relation (2), on peut déterminer l'efficacité  $\eta_R$  du remplissage de l'espace annulaire grâce à la formule (3), soit:

$$\eta_R = 1 - \frac{P(S_t - S_c)}{V_c - V_t} \quad (3)$$

Où  $S_t$  est la tassement superficiel final dans l'axe après stabilisation, et  $S_c$  le tassement lors du passage du front.

Pour limiter au maximum les pertes de sol et les tassements qui en découlent, deux systèmes sont employés à la traversée des terrains meubles par les tunneliers à pression de terre:

- Au front, injection rapide d'un coulis de bentonite en cas de perte de pression qu'il faut compenser au plus vite, notamment pendant la pose des voussoirs ou en cas d'arrêt intempestif
- Autour de la jupe, injection systématique d'un volume contrôlé de mortier ou de coulis inerte pour compenser la conicité de la jupe, et limiter la relaxation des terrains dans les sols peu cohérents, sans attendre l'injection du mortier de bourrage derrière les voussoirs.

GISA, en tant qu'entreprise publique de gestion des projets d'infrastructures décidés par la Généralité de Catalogne, a créé sa propre gamme d'outils qu'elle tient à la disposition de tous les intervenants dans le projet et les travaux. Ces outils consistent en une base de données géologiques et géotechniques, un système de contrôle des procédures des tunne-

this formula allows us to compare the "soil loss" or subsidence due to face decompression with the soil loss or final subsidence once the injection mortar has set, i.e.:

$$\eta_R = 1 - \frac{V_{st} - V_{sc}}{V_c - V_t} \quad (1)$$

In Formula (1), the  $V_{st}$  parameter represents the final volume (in  $m^3/m$ ) of the subsidence basin once the settlements have stabilised, while  $V_{sc}$  represents the subsidence volume when the face passes in the analysed section. The excavated volume  $V_c$  (still in  $m^3/m$ ) is deduced from the diameter of the cutting wheel whereas the annular volume  $V_t$  corresponds to the exterior diameter of the segments.

By considering a theoretical basin in the form of an inverted Gauss curve, it is possible to calculate the subsidence volume  $V_s$  according to the settlement in the tunnel axis [8], i.e.:

$$V_s = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot s = \sqrt{2\pi} \cdot K \cdot h \cdot s = P \cdot s \quad (2)$$

Where  $K$  is a coefficient dependent on the ground,  $h$  the height of coverage in the tunnel axis, and  $S$  the settlement in the axis. Given the relation (2), we can determine the filling efficiency  $\eta_R$  of the annular area thanks to Formula (3), i.e.:

$$\eta_R = 1 - \frac{P(S_t - S_c)}{V_c - V_t} \quad (3)$$

Where  $S_t$  is the final superficial settlement in the axis after stabilisation, and  $S_c$  the settlement when the face passes.

In order to limit soil losses and the resulting settlements to a minimum, two systems are used when passing through soft ground with earth pressure TBMs:

- On the face, rapid injection of a bentonite grout in the event of pressure loss that must be compensated as quickly as possible, especially when laying the segments or in the event of an unexpected shutdown
- Around the apron, systematic injection of a controlled volume of mortar or inert grout to compensate for the shield tail's taper and to limit ground relaxation in rather incoherent soils without waiting for injection of the backfilling mortar behind the segments.

As a public company in charge of managing infrastructure projects decided by the Generalitat of Catalonia, GISA has created its own range of tools it provides to all participants in the project and the construction work. These tools include a geological and geotechnical database, a TBM procedure con-

liers, et un système avancé d'auscultation qui donne une vue d'ensemble de tous les paramètres.

### 5 Inspection technique des bâtiments

Pour tous les bâtiments situés dans la zone d'influence définie dans le projet, on réalise des Inspections techniques de bâtiments («ITE»), travail qui est sous-traité à des bureaux ayant les compétences nécessaires en construction et pathologies des bâtiments. Sont inspectées aussi bien les parties communes des immeubles que chaque unité de propriété individuelle, qu'il s'agisse de logements, de commerces, de bureaux, etc. Les procès-verbaux de ces inspections sont remis aux propriétaires des immeubles et sont également déposés chez un notaire.

En fonction des pathologies détectées, on réalise des études de vulnérabilité et de sensibilité; le cas échéant, on refait des calculs de structures compte tenu de l'effet possible de l'exécution d'ouvrages souterrains, ce qui permet de prendre des décisions adéquates lors des travaux.

### 6 Auscultation

Avant de commencer un ouvrage souterrain, le Maître d'œuvre prépare un Plan d'Auscultation, en se basant sur l'annexe Auscultation du projet et sur les documents de référence [9, 10]. Dans ce document, on définit principalement les critères de base pour le contrôle topographique et géotechnique des ouvrages. Selon la méthodologie définie pour les ouvrages souterrains gérés par GISA, un Plan d'Auscultation doit comprendre les documents suivants:

- Doc. 0: Registre des modifications, conformément à la norme ISO 9001
- Doc. 1: Système de transmission des messages d'alerte, et leur résolution
- Doc. 2: Méthodologie d'installation, de lecture et de transmission des données, ainsi que de désinstallation des appareils; notices et plans de mise en œuvre des instruments
- Doc. 3: Notices techniques des dispositifs d'auscultation.

### 7 Information des habitants

La réalisation de travaux en site urbain doit bien sûr prendre en considération les habitants qui doivent vivre avec les ouvrages et les gênes qu'ils induisent (poussière, bruit, difficulté d'accès, etc.), et que l'on s'efforce de minimiser dans la mesure du possible. Pour pouvoir répondre aux questions et doléances éventuelles des habitants, GISA installe des Points d'information des citoyens («PAC») dans des lieux stratégiques des quartiers affectés par les travaux.

Ces PAC servent d'abord à organiser des réunions d'explication avec les associations de riverains pour présenter le projet, ses différentes phases, les déviations de voirie qu'il

control system, and an advanced investigation system providing an overview of all parameters.

### 5 Technical building inspection

We perform technical building inspections ("TBI"), for all buildings situated in the zone of influence defined in the project; this work is subcontracted to offices with the required skills in construction and building pathologies. Both the communal areas of the buildings and the individual property units, whether housing, shops, offices, etc. are inspected. The reports of these inspections are provided to the building owners and also submitted to a lawyer.

We perform vulnerability and sensitivity studies depending on the pathologies detected; if necessary, we perform another set of structural calculations given the possible effect of the execution of underground constructions to allow us to take the appropriate decisions during the work phase.

### 6 Investigation

Before starting an underground construction, the Project Manager prepares an Investigation Plan based on the Project Investigation appendix and the reference documents [9, 10]. This document mainly defines the basic criteria for topographical and geotechnical inspection of constructions. According to the methodology defined for the underground constructions managed by GISA, an Investigation Plan must include the following documents:

- Doc. 0: Register of modifications, in accordance with the ISO 9001 standard
- Doc. 1: Transmission system for alert messages and their resolution
- Doc. 2: Methodology for installing, reading and transmitting data as well as uninstalling the systems; instrument installation instructions and plans
- Doc. 3: Technical manuals for the investigation systems.

### 7 Information for inhabitants

Performance of construction work on an urban site must of course take account of the inhabitants who must live with the constructions and the nuisances that they cause (dust, noise, difficulty of access, etc.) and that we try hard to keep to a minimum. In order to be able to answer the inhabitants' possible questions and grievances, GISA installs Citizen Information Points ("CIP") in strategic locations in the areas affected by the construction work.

These CIPs are firstly used to organise explanatory meetings with neighbourhood associations to present the project, its various phases, any required road diversions and other constraints. But local residents also have access to the project documentation and a GISA contact in the CIP offices; the latter provides any requested information and

impose et autres sujétions. Mais dans les bureaux des PAC, les riverains ont aussi accès à la documentation du projet et à un interlocuteur de GISA; celui-ci donne l'information demandée et recueille les observations ou doléances des riverains en vue d'y donner suite avec le Maître d'œuvre, ou le spécialiste qui a réalisé l'ITE en cas de dommages aux immeubles.

## 8 Le tronçon Cam Zam – Rio Besòs

Le tronçon Cam Zam – Rio Besòs de la ligne 9, entièrement situé dans la commune de Santa Coloma de Gramenet, débute au niveau des ateliers de Cam Zam pour ce qui est de la marche du tunnelier. Il continue sous le faubourg de Singuerlin, où se trouve la station du même nom. Après être passé sous le vallon qui est aujourd'hui occupée par l'avenue Pallaresa et la tranchée couverte de l'autoroute urbaine B20, il se dirige vers la station Església, qui correspond à un point haut topographique. Le tracé aborde ensuite le faubourg de Fondo avec la Rambla de San Sebastian, où la ligne 9 passe sous la ligne 1 du métro. Les stations Santa Rosa et Can Peixauet desservent les quartiers du même nom. La fin de ce tronçon s'embranchement sur le tunnel Gorg-Sagrera, qui fait également partie de la ligne 9.

Le relief de ce secteur est de type collinaire à montagneux, avec des points hauts situés à Singuerlin et près de l'église principale de Santa Coloma. Les points bas de ce tronçon sont marqués par le parc de Can Zam dans la plaine du rio Besòs, le vallon de Riera de Can Zam, le faubourg de Fondo et la plaine du Besòs à la fin du tronçon.

A l'exception du parc de Can Zam et du tronçon final entre Can Peixauet et la jonction avec le tronçon Gorg-Sagrera, l'ensemble du secteur est entièrement urbanisé, avec une densité de population très élevée. De plus, il faut souligner la présence de grandes infrastructures souterraines comme l'autoroute B20 (tranchée couverte), et la ligne 1 du métro avec sa station terminus de Fondo et son tiroir de manœuvre.

Les terrains rencontrés sur ce tronçon sont les suivants:

- formations quaternaires de la rivière Besòs et ruisseau,
- «sauló» (granite très altéré)
- granodiorites et «cornubianitas» (roches méta morphiques de contact)
- conglomérats du Miocène
- brèches de failles
- dykes de porphyre.

L'excavation du tunnel utilise un tunnelier convertible Roches dures/Pression de terre, fabriqué par NFM-Wirth. La puissance installée est de 4,2 MW, pouvant fournir un couple de 29 MN.m à 3,7 tours/mn. Le revêtement comprend 7 voussoirs universels de 35 cm d'épaisseur plus une clé. La roue de coupe a un diamètre nominal de 11,95 m et avait au début un pourcentage d'ouverture de 22 %. La roue de coupe utilisée sur ce tronçon possède deux configurations:

gathers the residents' observations or grievances with a view to addressing them with the Project Manager or the specialist who performed the TBI in the event of building damage.

## 8 The Cam Zam – Rio Besòs section

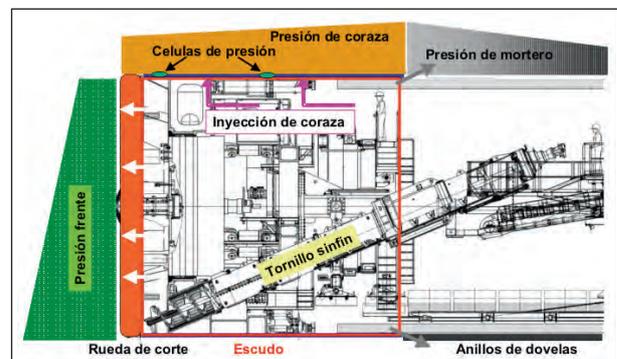
The Cam Zam – Rio Besòs Section of Line 9, completely situated in the area of Santa Coloma de Gramenet, starts at the Cam Zam workshops as far as TBM operation is concerned. It continues under the Singuerlin district with the station of the same name. Once it has passed under the dale now occupied by Avenue Pallaresa and the covered trench for the B20 urban motorway, it then heads towards the Església station which corresponds to a topological summit. The route then arrives at the Fondo district with the Rambla de San Sebastian, where Line 9 passes below Line 1 of the metro. The Santa Rosa and Can Peixauet stations serve the districts of the same name. The end of this section branches out onto the Gorg-Sagrera tunnel which is also part of Line 9.

The relief in this area is of the hilly to mountainous type, with summits situated at Singuerlin and near the main Santa Coloma church. The low points of this section are represented by the Can Zam Park in the plain of Rio Besòs, the Riera dale at Cam Zam, the Fondo district and the Besòs plain at the end of the section.

With the exception of the Can Zam Park and the final section between Can Peixauet and the junction with the Gorg-Sagrera section, the entire area is fully urbanized with a very high population density. In addition, it is also important to highlight the presence of major underground infrastructures such as the B20 motorway (covered trench) and Line 1 of the metro with the Fondo terminus station and its shunting neck.

The ground encountered on this section is as follows:

- Quaternary formations at the Besòs river and the rivulet
- "Sauló" (heavily altered granite)



6 Dispositifs d'injection autour du tunnelier  
Injection systems around the TBM

- Pour l'excavation des roches en mode ouvert, la roue dispose sur sa face intérieure de godets qui remontent le matériau excavé et le déversent sur une bande transporteuse au centre du bouclier
- Pour la conversion en mode pressurisé, on démonte ces godets, on rétracte la bande transporteuse et on referme son entrée; ceci permet d'avancer la vis sans fin jusqu'à la base du bouclier pour extraire le matériau excavé.

La présence de roches métamorphiques fracturées («cornubianitas»), combinée avec la taille et la proportion élevée des ouvertures de la roue, a favorisé la pénétration de gros blocs dans la chambre de coupe. La chute de ces blocs depuis le front a engendré divers problèmes, comme une usure accrue des molettes du fait des chocs contre un front hétérogène, des dégâts à l'intérieur de la chambre de coupe et des désordres au niveau de la bande transporteuse (notamment chutes de blocs de la bande vers le radier du tunnel). Ceci a conduit à réduire l'ouverture de la roue de coupe au moyen de barres soudées.

L'excavation dans les granodiorites a rencontré moins de problèmes. Dans les zones peu fracturées, la pénétration était lente et par suite le rendement de la machine faible. Depuis les environs de la station Santa Rosa jusqu'à Can Peixauet, le profil se rapproche du contact entre le batholite granitique et les conglomérats du Miocène; dans cette zone, la roche était plus écrasée que fracturée, si bien que cet affaiblissement du massif a permis d'attendre un avancement maximal de 22 anneau/jour. Par ailleurs, la traversée de dykes successifs de porphyre dur mais fracturé et l'altération du massif à leur contact ont aussi entravé l'avancement.

La théorie de l'excavation en roches dures [11, 12] explique que les molettes creusent des sillons sur le front et que les tractions induites par la pression des molettes détachent des écailles de roche entre sillons consécutifs. C'est bien ce qui c'est produit ici aussi en roche saine; comme prévu, le marin se présente sous forme de «chips» aplatis et de granulométrie uniforme. Par contre, dans les roches très fracturées, la rupture ne se produit plus sous l'effet des tractions entre sillons, mais du fait de la décompression de la roche, qui provoque des chutes de blocs et augmente considérablement l'usure des outils.

L'exécution du tunnel de la ligne 9 dans les granites à intrusions de porphyres a rencontré une autre difficulté importante, à savoir la présence d'eaux thermales. Le complexe géologique traversé comprend un batholite de granodiorite traversé par des dykes de porphyre dans les zones de failles. Ces porphyres sont plus friables et plus fracturés que les granites. La décompression du massif rocheux à l'arrivée du tunnelier provoque une ouverture des fractures et fissures; comme celles-ci ne sont pas planaires, elles se transforment en canalicules pour le passage de l'eau. L'équilibre des pressions hydrostatiques se trouve perturbé lors de l'entrée du tunnelier dans ces zones, avec apport d'eau depuis un niveau

- Granodiorites and "cornubianitas" (metamorphic contact rocks)
- Miocene conglomerates
- Fault breccias
- Porphyry dykes.

A convertible Hard rock/Earth pressure TBM manufactured by NFM-Wirth is used for tunnel excavation. Its nominal power rating is 4.2 MW and it can provide a torque of 29 MN.m at 3.7 RPM. The covering is comprised of 7 35 cm-thick universal segments and a key. The cutting wheel has a nominal diameter of 11.95 m and had an opening percentage of 22 % at the beginning. The cutting wheel used on this section has two configurations:

- For rock excavation in an open environment, the wheel is equipped with buckets on its inner face that lift the excavated material and tip it onto a conveyor belt in the centre of the shield
- For conversion in a pressurised environment, you can dismantle these buckets, retract the belt conveyor and close off its inlet; this allows you to move the endless screw forward to the shield base to extract the excavated material.

The presence of fractured metamorphic rocks ("cornubianitas"), combined with the size and the high proportion of wheel openings favours penetration of large blocks into the cutting chamber. Blocks falling from the front have caused various problems, such as greater wear-and-tear of the disc cutters due to impacts against a heterogeneous front, damage inside the cutting chamber and structural damage on the belt conveyor (especially the blocks falling from the belt onto the tunnel base slab). This led us to reduce the cutting wheel opening with welded bars.

Excavation in the granodiorites posed less problems. In the areas with few fractures, penetration was slow and the machine's output was thus low. From the vicinity of the Santa Rosa station to Can Peixauet, the section comes close to the contact between the granitic batholith and the Miocene conglomerates; in this area, the rock is more crushed than fractured and this weakening of the massif allowed us to reach a maximum progress rate of 22 rings per day. Furthermore, the need to pass successive dykes of hard but fractured porphyry and deterioration of the massif upon their contact also hindered progress.

The hard rock excavation theory [11, 12] explains that the disc cutters bore burrows on the front and the tractions induced by the pressure of the disc cutters detaches rock bursts between consecutive burrows. That is indeed what has also happened here on the unaltered rock; as planned the muck from tunnelling is in the form of flattened "chips" with uniform granulometry. However, in the much fractured rocks, rupture no longer occurs under the effect of tractions between burrows but instead because of rock decompression which causes blocks to fall and considerably increases tool wear.

inférieur à l'excavation. Une fois les conditions hydrostatiques rétablies, l'arrivée d'eau thermale vers le tunnel s'arrête, si bien que l'effet thermique du phénomène n'est pratiquement pas ressenti à l'intérieur du tunnel.

L'excavation des puits circulaires des stations est réalisée entre parois moulées dans leur partie supérieure (sols et granite altéré), avec bétonnage d'un anneau intérieur. En profondeur, le creusement se fait à l'explosif, avec un anneau de béton armé.

### 9 Considérations finales

Le projet et les travaux de la nouvelle ligne 9 du métro de Barcelone se basent sur des techniques classiques pour les ouvrages souterrains, mais aussi sur des méthodologies propres à GISA; celles-ci incorporent le savoir de projecteurs, de maîtres d'œuvre, d'entrepreneurs, de spécialistes de l'auscultation, de l'inspection des bâtiments, etc. GISA veille à ce que soit mis en œuvre un processus d'amélioration continue, dans lequel prévalent le respect de la méthodologie, la rigueur, le contrôle, le développement et l'innovation. C'est dans cet esprit que GISA participe à des projets du 6<sup>ème</sup> Programme-cadre de l'Union européenne, tels que TUNCONSTRUCT (Technology in Underground Construction) et S@NY (Sensors Anywhere).

La conception d'une grande partie de la ligne 9 avec des tunnels à deux niveaux est une innovation pour les systèmes de métro, qui répond à un ensemble de contraintes spécifiques comme la densité de population et la configuration urbanistique des quartiers traversés.

Nous considérons qu'une méthodologie rigoureuse et adaptée aux sujétions de chaque tronçon, ainsi que la rétro-analyse d'expériences antérieures, sont à la base d'une bonne exécution des ouvrages. Les paramètres d'avancement et les effets de l'excavation sur les avoisinants sont et doivent être ajustés en permanence en se basant sur l'analyse du terrain excavé, sur le contrôle des processus, et sur les résultats de l'auscultation comparés à ceux des modèles numériques.

La communication avec les riverains et les différentes entités et organismes par le biais de réunions d'information et de suivi, appuyées sur des Points d'information des citoyens («PAC»), sont absolument indispensables pour atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés.

Construction of the Line 9 tunnel in the porphyry intruded granites presented another major difficulty, i.e. the presence of thermal waters. The geological complex passed through includes a granodiorite batholith crossed by porphyry dykes in the fault areas. These porphyrys are more brittle and more fractured than the granites. Decompression of the rock massif upon arrival of the TBM causes opening of the fractures and cracks; as they are not planar, they transform into small channels for the passage of water. The hydrostatic pressure balance is disrupted when the TBM enters these areas with a water supply from a level below that of excavation. Once the hydrostatic conditions are restored, thermal water stops arriving at the tunnel and the thermal effect of the phenomenon has practically no impact inside the tunnel.

The circular shafts in the stations are excavated between diaphragm walls in their upper section (soils and altered granite), with concreting of an interior ring. Deep boring is performed with explosives, with a reinforced concrete ring.

### 9 Final considerations

The project and the construction work for the new Line 9 of the Barcelona metro are based on classic underground construction techniques but also on GISA-specific methodologies incorporating the knowledge of planners, project managers, contractors, investigation and building inspection specialists, etc. GISA ensures implementation of continual improvement process, in which adherence to methodology, rigour, inspection, development and innovation prevail. It is in this spirit that GISA participates in projects belonging to the European Union's 6th Framework programme, such as TUNCONSTRUCT (Technology in Underground Construction) and S@NY (Sensors Anywhere).

The design of a large part of Line 9 with two-level tunnels is an innovation for metro systems meeting a set of specific constraints such as the population density and the urban configuration of the areas served.

We consider that a rigorous methodology adapted to the constraints of each section as well as retro-analysis of previous experience are at the heart of correct execution of constructions. The progress parameters and the effects of excavations on the neighbouring areas are and must be adjusted constantly based on analysis of the excavated ground, process monitoring and comparison of the investigation results with those for the digital models.

Communication with residents and the various entities and organisations via information and follow-up meetings, supported by Citizen Information Points ("CIP") is absolutely essential to achieving the objectives we have set ourselves.

## Références

- [1] Pla Director d'Infraestructures de Barcelona (PDI 2001-2010)
- [2] Exadactylos, G.; Stavropoulo, M.: A specific upscaling theory of rock mass parameters exhibiting spatial variability ; analytical relations and computational scheme – Int. Journal of Rock Mech. & Mining Sciences, n° 45, 2008, pp. 1102–1125
- [3] Eurododigo 7: Proyecto Geotecnico (EN 1997)
- [4] Boone, S.: Evaluating Risk of Construction-induced Building Damage for Large Underground Projects – Jorn. Tec. Movimientos de Edificios Inducidos por Excavaciones, Barcelona, 2008, pp. 95–122
- [5] Ruse, N.: Räumliche Betrachtungen der Standsicherheit der Ortsbrust beim Tunnelvortrieb – Doct. Thesis, Bericht Nr. 51, Abt. Ingenieurgeologie und Tunnelbau, Univ. Stuttgart, 2004
- [6] GISA – Plec de prescripcions per a la redaccio d'estudis cosntructius d'instrumentacio i auscultacio en fase de projecte obra civil – ECIA PLP-38, 2006
- [7] Schwarz, H.: Línea 9 Metro Barcelona; Excavacion con con Tuneladoras de Gran Diametro – Jorn. Tec. Singularidades Constructivas en los Tuneles de los Metros de Barcelona, Madrid y Sevilla. Barcelona, 2009
- [8] Peck, R. B.: Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground – Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engin., Mexico, 1969, vol. 1V, pp. 225–290
- [9] Dunnclyff, J.: Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance – 1988
- [10] Soterias, M.; Ema, C.; Schwarz, H.: Instrumentation y Auscultacion durante la Construccion de Tuneles y Estaciones de la futura linea 9 del Metro de Barcelona – IngeoPress no. 143, nov. 2005
- [11] Rastami, J.; Ozdemir, L.: A new Model for Performance Prediction of Hard Rock TBM – Proc. RETC, 1993
- [12] ITA Working Group nr. 14 (Mechanised Tunnelling) – Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines
- [13] Deulofeu i Palomas, C.; et al.: La linea 9 del metro de Barcelona, eficaz interconexion – Cauce 2000, Revista de ingenieria civil, Madrid, 2007, no. 138, pp. 60–69
- [14] Della Valle, N.: The new line 9 of Barcelona metro – Tunnels & Ouv. souterrains, no. 172, juillet 2002, pp. 251–257
- [15] Borrás Gabarro, J.; et al. – Line 9 of metro Barcelona: a new way for building metropolitan railways. Journées internat. AFTES de Toulouse, oct. 2002, pp.
- [16] La Fonta, J. G.; Gastine, E.: Instrumentation automatique au cœur des projets européens (Eurostar, Barcelone, Bure) – Tunnels & Ouv. souterrains, no. 190, 2005, pp. 209–212
- [17] Deulofeu i Palomas, C.; et al.: El Tramo Can Zam – Besòs de la Línea 9 del Metro de Barcelona, Revista Obras Públicas, ISSN: 0034-8619/avril 2009/No. 3.498, pp. 33–42

Dieter Wenner, Dipl.-Geol., Rock Mech. Eng. MSc., Projektleiter, Amberg Engineering AG, Regensburg/CH

## Alborz Servicetunnel im Iran

### TBM-Vortrieb in schwierigem Baugrund

Während des Vortriebs des Alborz Servicetunnels mit einer offenen Gripper-TBM mussten ausserordentliche Herausforderungen bewältigt werden: Methangas, drückendes Gebirge und festsitzende TBM, mehrere Störzonen mit grossen Überbrüchen, Karst mit Wasser in Gips und Anhydrit, Wassereinbrüche mit mehr als 550 l/s und H<sub>2</sub>S-Gas in hoher Konzentration. Der Beitrag beschreibt die verschiedenen Massnahmen, die diese Verhältnisse erforderlich machten: Baulüftung, Arbeiten bei Methangefahr, Erstellung händischer TBM-Umgehungsstollen in Ulme oder Firste, Gebirgsinjektionen mit Zement und PU-Schaum und verschiedene Schutz-ausrüstungen gegen H<sub>2</sub>S und kaltes Wasser.

## Alborz Service Tunnel in Iran

### TBM Tunnelling in difficult Ground Conditions

While driving the Alborz Service Tunnel using an open Gripper TBM extraordinary challenges had to be overcome: methane gas, squeezing rock and a blocked TBM, various fault zones and large crown instabilities, karsts with water in gypsum and anhydrite, ingressing water in excess of 550 l/s and a high concentration of H<sub>2</sub>S gas. The report describes the various measures, which these conditions made necessary: the construction ventilation, working in methane, producing bypass tunnels around the TBM manually in the wall or crown, rock grouting with cement and foam as well as various protective appliances against H<sub>2</sub>S and cold water.

#### 1 Einleitung

Die geplante Autobahn Teheran Shomal Freeway im Iran soll die Hauptstadt Teheran mit der Stadt Chalus am Kaspischen Meer im Norden des Landes verbinden. Die Gesamtlänge der neuen Autobahn beträgt 121 km. Derzeit wird der Verkehr über kleine Strassen durch das Elbursgebirge geführt und die Fahrt dauert 5 bis 6 Stunden. Nach der Realisierung des Projekts wird die Fahrzeit bei höherer Kapazität weniger als 2 Stunden betragen. Die neue Autobahnverbindung hat mehr als 30 zweispurige Tunnel mit je 2 Röhren. Der Alborztunnel ist der mit 6,4 km längste und mit 2400 m höchstgelegene Tunnel auf dieser Verbindung. Im folgenden Beitrag wird der TBM-Vortrieb des Servicetunnels beschrieben (Bild 1).

Der 6387 m lange Servicetunnel liegt zwischen den beiden Hauptröhren und dient zur Erkundung, Gebirgsdrainage, als weiterer Zugang für die Haupttunnel und im Betrieb als Service-, Lüftungs- und Drainagestollen für das gesamte Tunnelsystem (Bild 2). Vorab wurden 314 m von Süden und 46 m von Norden im Sprengvortrieb aufgefahren. Ab Tunnelmeter 46 vom Nordportal kam eine offene Gripper-TBM für Hartgestein von Wirth mit einem Durchmesser von 5,2 m zur Anwendung. Der Maschinenvortrieb erfolgte mit

#### 1 Introduction

The planned Tehran Shomal Freeway in Iran is intended to link the capital Tehran with the city of Chalus at the Caspian Sea in the north of the country. The new motorway is altogether 121 km long. At present traffic runs over small roads through the Elburs Mountains and the journey lasts some 5 to 6 hours. Once the project is accomplished travelling time given higher capacities will last less than 2 hours. The new motorway route possesses more than 30 two-lane tunnels each with 2 bores. The Alborz Tunnel with more than 6.4 km is the longest and set at 2,400 m the highest on the route. The following report describes the TBM drive for the Service Tunnel (Fig. 1).

The 6,387 m long Service Tunnel is located between the 2 main bores and serves exploration, rock drainage, as a further access to the main tunnels and when operational as a service, ventilation and drainage tunnel for the entire tunnel system (Fig. 2). First of all drill+blast was used to excavate 314 m from the south and 46 m from the north. As from 46 m from the north portal a 5.2 m diameter Gripper TBM for hard rock made by Wirth was applied. The mechanised drive took place with a constant incline of 1 % given maximum overburden of some 850 m.

## Alborz Servicetunnel im Iran

### Excavation au tunnelier en terrain difficile

Des défis hors du commun ont dû être maîtrisés pendant l'excavation du tunnel de service sous l'Alborz avec un tunnelier ouvert à grippeurs: méthane, roche poussante et tunnelier bloqué, plusieurs zones de failles avec gros décrochements de roche, karst avec eau dans du gypse et de l'anhydrite, entrées d'eau de plus de 550 l/s et haute concentration de gaz H<sub>2</sub>S. L'article décrit les différentes mesures que cette situation a rendues nécessaires: aération du chantier, travail sous risque de dégagement de méthane, réalisation de galeries de contournement manuelles au tunnelier dans la paroi ou le toit du tunnel, injections de la roche au ciment et à la mousse PU et différents équipements de protection contre le gaz H<sub>2</sub>S et l'eau froide.

## Galleria di servizio di Elburz in Iran

### Avanzamento della TBM in ambiente difficile

Durante l'avanzamento della galleria di servizio di Elburz con la fresa aperta TBM è stato necessario affrontare nuove sfide: metano, roccia spingente e TBM bloccate, zone con faglie e grande e tacchi di nocchia, nocce carsiche con acqua con gesso e anidride, vente d'acqua di oltre 550 l/s e gas H<sub>2</sub>S in elevata concentrazione. Lo studio descrive le diverse misure che si sono rese necessarie nelle seguenti situazioni: ventilazione, lavori con pericolo di esalazioni di metano, realizzazione manuale di cunicoli di aggiramento della TBM nella parete o nella volta della galleria, iniezioni di cemento e schiuma PU e utilizzo di diverse attrezzature di protezione dal gas H<sub>2</sub>S e acqua fredda.

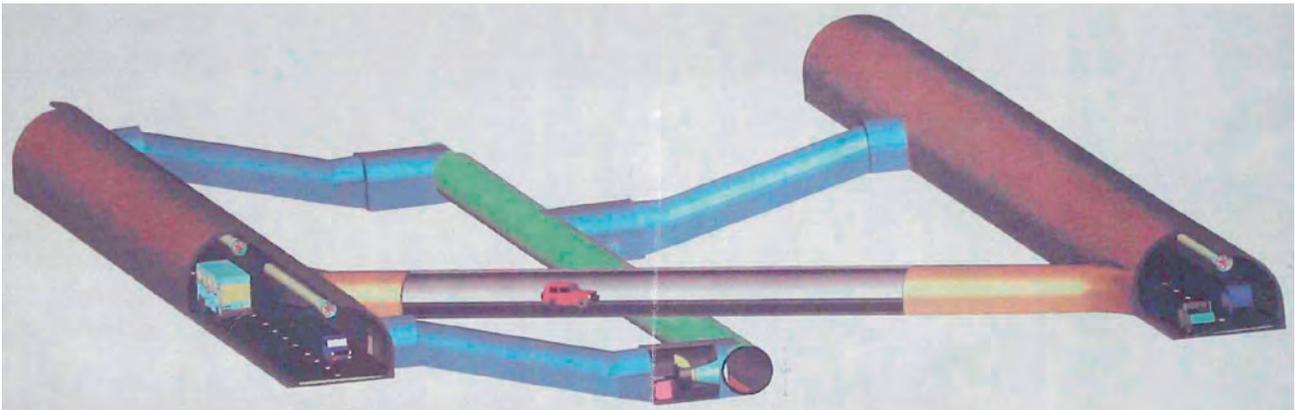
einer konstanten Steigung von 1 % bei einer maximalen Überlagerung von etwa 850 m.

Der erste TBM-Vortrieb fand am 6. September 2004 während des Aufbaus und der Inbetriebnahme der Maschine statt. Der produktive Vortrieb startete jedoch erst am 6. Februar 2005 bei Tunnelmeter 122. Etwa 48 Monate später, am 3. Februar 2009, erfolgte der Durchschlag im Süden bei Tunnelmeter 6073. In dieser Zeit (1459 Tage) war die Maschine an 919 Tagen bzw. 63 % der Zeit in Betrieb. Daraus resultiert eine durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit in der Betriebszeit von 6,48 m/d. Die maximal erreichte Vortriebs-

The first TBM drive took place on September 6, 2004 during the machine's assembly and start-up. However productive driving first began on February 6, 2005 at tunnel metre 122. Roughly 48 months later on February 3, 2009 the breakthrough in the south occurred at tunnel metre 6,073. During this period (1,459 days) the machine was operated on 919 days or 63 % of the time. This resulted in a rate of advance amounting to 6.48 m/d. The maximum progress that was achieved was 30.47 m/d, 110.96 m/week or 389.43 m/month.



1 Lage des Projekts Alborz Servicetunnel im Iran  
Location of the Alborz Service Tunnel project in Iran



2 Schematische Darstellung des Tunnelsystems  
Schematic presentation of the tunnel system

geschwindigkeit lag bei 30,47 m/d, 110,96 m/Woche bzw. 389,43 m/Monat.

## 2 Baugrunderkundung

Die Baugrunderkundung für den Servicetunnel bestand aus einer Kartierung an der Geländeoberfläche, einer geoelektrischen Widerstandsuntersuchung entlang der Trasse und einigen Labortests an Gesteinsproben. Es wurden keine Kernbohrungen abgeteuft. Der Servicetunnel selbst dient zur Erkundung des Baugrunds für die Haupttunnel. Eine detaillierte Baugrunderkundung für den Vortrieb des Servicetunnels wurde nicht durchgeführt.

Die geologischen Verhältnisse wurden vorab als schwierig und insgesamt heterogen eingeschätzt. Im Norden wurden Tonstein-Sandstein-Wechsellagerungen aus Trias und Jura mit dünnen Lagen Steinkohle der sogenannten Shemshak-Formation, gefolgt von einer Sandstein- und einer Kalksteinformation, prognostiziert. Etwa bei Tunnelmeter 3800 wurde eine 300 m mächtige Störungszone vermutet, die sogenannte Kandovan-Störungszone mit einem vertikalen Versatz von mehreren Kilometern. Weitere Informationen oder Details zu dieser Störungszone waren nicht bekannt. Weiter südlich wurden im Bereich des Tunnels auf einer Länge von bis zu 300 m klastische Sedimentgesteine des Oligozän (Kandovan-Schiefer) mit massigen Gips-/Anhydritkörpern vorhergesagt. An der Oberfläche zeigte der Gips starke Verkarstungserscheinungen mit unbekannter Ausbreitung in der Tiefe. Die Überlagerung liegt in diesem Bereich bei etwa 600 m. Der restliche Tunnel liegt in eozänem Tuff, Schiefer und anderen geschichteten Gesteinen der Karaj-Formation.

Vor Beginn der Vortriebsarbeiten wurden das unbekannte Gebirgsverhalten im Bereich der Störzone, der Einfluss der möglichen Karststrukturen im Anhydrit und die damit zusammenhängenden möglichen Wassereinträge und Materialeinträge als Hauptrisiken angesehen. Des Weiteren wurden Methan- und Schwefelwasserstoffvorkommen vorhergesagt.

## 2 Site Investigation

The subsurface exploration for the Service Tunnel constituted mapping on the ground surface, a geoelectric resistance survey along the route and a number of lab tests on rock samples. No core drillings were undertaken. The Service Tunnel itself served to explore the subsurface for the main tunnels. Detailed subsurface exploration for driving the Service Tunnel was not executed.

The geological conditions were estimated in advance as being tricky and altogether heterogeneous. In the north Trias and Jura claystone-sandstone intermittent beds with thin layers of hard coal belonging to the so-called Shemshak formation, followed by a sandstone and a limestone formation were predicted. At roughly TM 3,800 a 300 m thick fault zone was predicted, the so-called Kandovan fault zone with a vertical off-set of several km. No further information or details about this fault zone was known. Further southwards over a length of up to 300 m Oligocene clastic sediments (Kandovan slate) with thick gypsum/anhydrite bodies were predicted. On the surface the gypsum displayed pronounced karstification phenomena of an unknown depth. In this area the overburden amounted to roughly 600 m. The rest of the tunnel is located in Eocene tuff, slates and other layered rocks belonging to the Karaj formation.

Prior to the beginning of the driving operations the unknown rock behaviour around the fault zone, the influence of the possible karst structures in the anhydrite and the associated possible water inbursts and the entry of material were regarded as the main risks. Furthermore methane and hydrogen sulphide were forecast.

During construction work the application of additional exploratory drillings from the ground surface was discussed. However these were only to be tackled providing that as a result an expected risk in accordance with already available information could be precluded. This however was not

Während der Bauarbeiten wurde der Einsatz zusätzlicher Erkundungsbohrungen von der Geländeoberfläche aus diskutiert. Diese sollten jedoch nur ausgeführt werden, wenn dadurch ein nach den bereits vorliegenden Informationen zu erwartendes Risiko wieder ausgeschlossen werden konnte. Dies wurde jedoch nicht erwartet. Als Konsequenz wurde vorgeschlagen, das für diese zusätzlichen Erkundungsmassnahmen vorgesehene Budget dafür zu verwenden, sich auf die zu erwartenden schwierigen Untergrundverhältnisse und Risikoszenarien beim Tunnelvortrieb besser vorzubereiten.

Während des TBM-Vortriebs wurden detaillierte geologische Kartierungen gemacht. Zwischen Tunnelmeter 3026 und 6074 wurden auf 75 % der Tunnellänge etwa 145 Schlagbohrungen dem Bohrkopf vorausgehend mit einer fix installierten Vorausboreinrichtung ausgeführt. Der Bohrdurchmesser betrug etwa 54 mm. Die maximale Länge einer Bohrung lag bei 39,5 m, die Gesamtlänge bei 3661,50 m. Zusätzlich wurden 10 Kernbohrungen mit einem Bohrdurchmesser von 56 mm und einer Gesamtlänge von 437,7 m dem Bohrkopf vorausgehend und oberhalb des Schildes ausgeführt. Die maximale Länge einer Kernbohrung lag bei 105,7 m. Der Kerndurchmesser betrug 40 mm. Die Kernbohrungen mit Einzelkernrohr erfolgten aus Nischen in der Firste oder, falls erforderlich, aus einem Bypass-Stollen mit einer Diameg 252. Ausserdem wurden 3 seismische Vorauserkundungen (TSP-System) ausgeführt.

### 3 Besondere Herausforderungen

Die vorgesehene Gebirgssicherung beinhaltete eine breite Palette an vordefinierten Gebirgssicherungstypen. Diese reichte vom Kopfschutz gegen Steinschlag ausschliesslich mit Netzen in der Firstkappe bis hin zu Stahlbögen IPB 140 mit vier bis fünf 240 cm langen Swellex-Felsankern in der Firste im Abstand von 75 cm, zusätzlich Netzen und 15 cm Spritzbetonsicherung rundum.

Während des Ausbruchs des Servicetunnels wurden wegen der widrigen geologischen Verhältnisse aussergewöhnlich viele technische Schwierigkeiten angetroffen: Methangas ( $\text{CH}_4$ ) im Tunnel, starke Wassereinträge, z. T. rolliges Gebirge, drückendes Gebirge mit Blockade des Schildes und des Bohrkopfes, eine grosse verkarstete Störungszone zu Beginn eines Anhydrit führenden Bereichs und schliesslich Gase in hoher Konzentration wie Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ).

Mehrere Bypass-Stollen mussten aufgefahren werden, um diese schwierigen Verhältnisse bewältigen und den Vortrieb fortsetzen zu können.

Schwierige Umstände beim Projekt waren zudem die exponierte Lage (Bild 3) im Gebirge (Lawinen, Strassen im Winter teilweise gesperrt, eingeschränkte Wasserversorgung), eine unzuverlässige Baustromversorgung (wegen

expected. As a consequence it was proposed that the budget earmarked for these additional exploratory measures should be used to prepare more adequately for the expected tricky underground conditions and risk scenarios during the tunnel drive.

Detailed geological mapping was undertaken during the TBM drive. Roughly 145 percussion drillings in advance of the cutterhead with a fixed advance drilling device were carried out between TM 3,026 and 6,074 along 75 % of the tunnel length. The drilling diameter amounted to some 54 mm. The maximum length of drilling was 39.5 m, the total length 3,661.50 m. Furthermore 10 core drillings with 56 mm drilling diameter and a total length of 437.7 m were carried out in advance of the cutterhead and above the shield. The maximum length of a core drilling amounted to 105.7 m. The core diameter was 40 mm. The core drillings with single core barrel took place from niches in the crown or if need be from a bypass using a Diameg 252. In addition 3 seismic advance explorations (TSP system) were executed.

### 3 Special Challenges

The predestined rock support contained a wide range of previously defined types of rock support. This ranged from head protection against rockfall exclusively using netting in the crown cover right up to IPB 140 steel arches with four to five 240 cm long Swellex rock anchors in the crown at 75 cm gaps, with additional nets and 15 cm of shotcrete support all around.

During the excavation of the Service Tunnel an extraordinary number of technical difficulties were encountered on account of the tricky geological conditions: methane gas ( $\text{CH}_4$ ) in the tunnel, pronounced water inbursts, in part running ground, squeezing rock blocking the shield and the cutterhead, a large fault zone with karsts at the start of a sector containing anhydrite and finally a high concentration of gases such as hydrogen sulphide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ) and carbon monox-



3 Baustelle mitten im Gebirge im Winter  
Construction site amidst the mountains in winter

alter Generatoren und Ersatzteilproblemen) sowie die eingeschränkte Verfügbarkeit von Zement im gesamten Land. Späte bzw. reduzierte Zahlungen des Bauherrn an den Unternehmer sowie zeitweise eingeschränkte Liquidität des Bauherrn stellten weitere Herausforderungen für das Projekt dar.

Einige der technischen Schwierigkeiten und insbesondere die Massnahmen zu ihrer Bewältigung werden im Folgenden beschrieben.

### 4 Beschreibung und Massnahmen

#### 4.1 Bypass

Der Ausbruch eines Bypass-Stollens als eine der letzten verbleibenden Möglichkeiten ist notwendig, wenn der Schild im Bereich von stark druckhaftem Gebirge festklemmt oder der Bohrkopf blockiert ist und sich die Blockade nicht mehr vom Tunnel oder Bohrkopffinneren aus lösen lässt.

Die Blockade des Bohrkopfs kam meist vor, wenn Überprofil in der Firste einbrach und grosse Blöcke die Räumeroöffnungen versperrten, oder in Störzonen und in Karstzonen im Übergang zu Anhydrit, wenn diese vor dem Bohrkopf nachbrachen und so das Drehmoment stark anstieg. Nachbrechendes Gebirge über dem Bohrkopf wurde oft durch zu viel Schutterung bei zu langsamem Vortrieb verursacht. Weil dieser Mechanismus von den Ausführenden nicht rechtzeitig erkannt wurde, wurden die Hohlräume immer grösser, bis sie einstürzten.

Alle Ausbrüche im Bypass-Stollen wurden hauptsächlich händisch erstellt, direkt entlang des Schildes (3,6 m lang) zum Bohrkopf, entweder seitlich (Bild 4) oder in der Firste. Die bei diesem Projekt mit einer 5,2 m Durchmesser grossen TBM gemachten Erfahrungen zeigen die Vor- und Nachteile eines Bypasses an der Seite bzw. in der Firste auf. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können auch für andere Projekte interessant und hilfreich sein.

#### Vorteile des seitlichen Bypasses:

- Zugang zum Bypass ist einfacher, Aushubmaterial kann direkt auf die Sohle geschuttert werden und der Vortrieb ist schneller.

#### Nachteile des seitlichen Bypasses:

- Je nach Spannungszustand und Gebirgsfestigkeit kann es beim seitlichen Bypass zu grosser vertikaler Spannkonzentration und daraus folgendend zu besonders instabilem Gebirgsverhalten kommen.
- Die eingebaute Sicherung der Ortsbrust, z. B. mit Spiessen, kann ungenügend sein, insbesondere wenn vor dem Bohrkopf weiterer Vortrieb aufwärts erforderlich ist. Das kann dazu führen, dass weiterer Vortrieb des Umgehungsstollens unmöglich wird.

ide (CO). Several bypasses had to be driven in order to master these difficult conditions so that the excavation could progress.

Tricky conditions affecting the project were also the exposed location (Fig. 3) in a mountainous area (avalanches, roads partly closed in winter, restricted water supply), unreliable construction power supply (on account of old generators and spare part problems) as well as the limited availability of cement throughout the country. Tardy or reduced payments from the client to the contractor as well as in part restricted liquidity affecting the client represented further challenges for the project.

A number of the technical difficulties and especially the measures undertaken to tackle them are described in the following.

### 4 Description and Measures

#### 4.1 Bypass Tunnels

The excavation of a bypass as one of the last remaining possibilities is necessary if the shield sticks in strongly squeezing rock or the cutterhead is blocked and the blockage cannot be released from the tunnel or the interior of the cutterhead.

The blockage of the cutterhead usually occurred if overbreak crumbled into the crown and large blocks obstructed the bucket openings or in fault zones and in karst zones in the transition to anhydrite if these crumbled in front of the cutterhead thus causing the torque to rise rapidly. Crumbling rock above the cutterhead was often caused by excessive mucking when the excavation was progressing too slowly. As this mechanism was not recognised in time by those responsible, the cavities became ever larger until they collapsed. All the excavations in the bypass were mainly produced manually, directly along the shield (3.6 m long) to the cutterhead, either laterally (Fig. 4) or in the crown. The findings obtained from this project with a 5.2 m diameter large TBM indicate the pros and cons of a bypass at the side and in the crown. The recognitions gained from this can also be of interest and helpful for other projects as well.

#### Advantages of the lateral bypass:

- Access to the bypass is simpler, excavated material can be directly mucked to the invert and the drive is faster.

#### Disadvantages of the lateral bypass:

- Depending on the state of stress and rock strength large vertical stress concentration can result and in turn lead to particularly instable rock conditions.
- The installed face support e.g. using spiles can be insufficient especially if further driving upwards is required in front of the cutterhead. This can lead to



4 Händische Erstellung von seitlichem Bypass (TBM-Schild rechts)

Creating a lateral bypass manually (TBM shield on the right)

- Wegen der Position der Gripper muss ein seitlicher Bypass für weiteren Vortrieb wieder verfüllt werden, um das Grippen zu ermöglichen. Auch das Schüttern würde behindert, weil der Bohrkopf zuerst den Hohlraum des Bypasses auf einer Seite mit Aushubmaterial füllt, bevor dieses durch die Schutteröffnungen in den Bohrkopf rutschen kann.

#### Vorteile des Bypasses in der Firste:

- Bei sehr schwierigen Bedingungen hat ein Bypass in der Firste einige Vorteile oder kann die einzig mögliche Option sein. Auf den Schild geschweisste Stahlrahmen könnten den Ausbruch stabilisieren und haben ein gutes Auflager. Die Firste vor dem Bohrkopf kann im Voraus stabilisiert werden, auch wenn der Bypass-Stollen danach vor dem Bohrkopf nach unten fortgesetzt werden muss, um den Bohrkopf zu befreien. Die eingebrachte Firstsicherung muss nicht wieder überfahren werden.
- Der Bypass in der Firste stört die Gripper und das Schüttern nicht. Er kann deshalb parallel zum TBM-Vortrieb weitergeführt werden, z. B. um eine Störzone zu durchqueren.

#### Nachteile des Bypasses in der Firste:

- Je nach Spannungszustand kann bei einem Bypass in der Firste die seitliche Einspannung gering werden und das Gebirge in der Firste besonders leicht nachbrechen.

any further driving of the bypass becoming impossible.

- On account of the position of the grippers a lateral bypass has to be backfilled for any further excavation in order to facilitate gripping. Mucking out is also obstructed because the cutterhead first of all fills the bypass cavity at one side with excavated material before this is able to pass through the openings in the cutterhead.

#### Advantages of the bypass in the crown:

- Given extremely tricky conditions a bypass in the crown possesses various advantages or can even be the sole alternative. Steel frames welded on to the shield could stabilise the excavation and provide a good foundation. The crown in front of the cutterhead can be stabilised in advance, even if the bypass must subsequently be continued downwards in front of the cutterhead to free it. The installed crown support does not require to be traversed again.
- The bypass in the crown does not disturb either the grippers or mucking out. Consequently it can be carried out parallel to the TBM drive, e.g. in order to pass through a fault zone.

#### Disadvantages of the bypass in the crown:

- Depending on the stress state lateral gripping can be slight and the rock in the crown can very easily crumble.
- Should an excavation in front of the cutterhead be necessary downwards, all the excavated material must be raised to the height of the crown bypass unless it can be mucked out through the cutterhead.

There is no general rule for the ideal location of a bypass around the TBM shield. The best solution always depends on the objective and purpose of the bypass as well as the local conditions, which constantly differ from case to case.

The bypass tunnel can also be used for advance drainage as well as for core and exploratory drillings and grouting, which thus remain outside the TBM profile.

## 4.2 Escape of Gas

CH<sub>4</sub> was first encountered at TM 1,883 and occurred occasionally afterwards. CH<sub>4</sub> is an explosive gas, lighter than air and odourless. The lower explosion limit lies at 4.6 Vol-% in the atmosphere, which corresponds to 100 % LEL. The CH<sub>4</sub> stems from coal-bearing layers in the northern part of the tunnel, which are also prevalent at greater depth in the southern tunnel section. As no reservoir rocks worth mentioning are present in the mountains in this region, the risk of being rapidly engulfed by CH<sub>4</sub> was regarded as low. Essentially it is thus possible to master CH<sub>4</sub> with a properly dimensioned ventilation system. Notwithstanding the gas can pose a dan-

- Wenn ein Ausbruch vor dem Bohrkopf nach unten erforderlich ist, muss alles Aushubmaterial auf die Höhe des First-Bypasses hochgehoben werden, wenn es nicht durch den Bohrkopf geschüttet werden kann.

Es gibt keine generelle Regel für den idealen Ort eines Umgehungsstollens um den TBM-Schild. Die beste Lösung hängt immer vom Ziel und vom Zweck des Bypasses sowie von den lokalen Bedingungen ab, die von Fall zu Fall immer wieder anders ausfallen.

Der Bypass-Tunnel kann dann auch für vorauseilende Dränage sowie für Kern- und Sondierbohrungen sowie Injektionen genutzt werden, welche so ausserhalb des Profils der TBM bleiben.

### 4.2 Auftreten von Gas

CH<sub>4</sub> wurde erstmals bei TM 1883 angetroffen und kam seitdem gelegentlich wieder vor. CH<sub>4</sub> ist ein explosives Gas, leichter als Luft und geruchlos. Die untere Explosionsgrenze liegt bei 4,6 Vol.-% in der Atmosphäre, was 100 % UEG entspricht. Das CH<sub>4</sub> stammt aus kohlehaltigen Schichten im nördlichen Teil des Tunnels, welche in grösserer Tiefe auch im südlichen Tunnelabschnitt vorkommen. Da in dieser Region im Gebirge keine nennenswerten Speichergesteine vorkommen, wurde das Risiko einer schnellen grossen Überflutung von CH<sub>4</sub> als gering betrachtet. Grundsätzlich kann CH<sub>4</sub> daher mit einer entsprechend dimensionierten Lüftung beherrscht werden. Dennoch kann vom Gas eine Gefahr ausgehen, etwa wenn es sich in Überprofilen in der Firste ansammelt oder während und nach temporären Ausfällen des Lüftungssystems. Die installierte Lüftungskapazität wurde erhöht und genügte, um 1,0 bis 1,2 m/s Luftgeschwindigkeit im Tunnel hinter der TBM zu generieren.

Alarmwerte wurden gesetzt bei 10 % und 20 % UEG in der Tunnelluft ausserhalb geschlossener Hohlräume (Bohrkopf, Überprofil). Bei 10 % UEG müssen alle Massnahmen getroffen werden, um das austretende Gas zu reduzieren:

- Lokale Verdünnung mittels Druckluft oder mit Airmovern
- Erhöhte Ventilation (falls möglich)
- Einstellung der Arbeiten (Sondierbohrung oder TBM-Vortrieb), um die Freisetzungsraten zu reduzieren
- Detaillierte Überwachung, Analyse und Interpretation.

Sobald die Gaskonzentration 20 % UEG überschreitet, war die sofortige und kontrollierte Evakuierung des kompletten Tunnels nötig. Das bedeutete den vorübergehenden Abzug des gesamten Personals, Ausschalten der Hauptstromversorgung der TBM und Inbetriebnahme einer explosions-sicheren Ventilation (falls vorhanden).

Beim Vortrieb in Gebirgsbereichen mit potenziellen Methan-vorkommen musste als vorbeugende Massnahme immer dafür gesorgt werden, dass Transportmöglichkeiten in unmittel-

ger für example if it should collect in overbreaks in the crown or during or after temporary breakdowns of the ventilation system. The installed ventilation capacity was increased and sufficed to generate 1.0 to 1.2 m/s of air speed in the tunnel behind the TBM.

Alarm values were set at 10 and 20 % LEL in the tunnel air outside closed cavities (cutterhead, overbreak). At 10 % LEL all measures required to reduce the escaping gas had to be undertaken:

- Local dilution by means of compressed air or with air movers
- Increased ventilation (if possible)
- Cessation of operations (exploratory drilling or TBM drive) in order to reduce the discharge rate
- Detailed monitoring, analysis and interpretation.

As soon as the gas concentration exceeded 20 % LEL it was necessary to evacuate the complete tunnel immediately in a controlled manner. This signified temporarily withdrawing the entire labour force, switching off the main power supply for the TBM and activating an explosive-proof ventilation system (if available).

When driving in rock areas with potential methane reserves it was necessary to ensure that transport facilities were always in the immediate vicinity of the TBM for preventive measures. At times when this was not possible, e.g. when the mucking out train was moving out, it was not permitted to drill for anchoring or exploratory purposes, which could have caused a gas outbreak. For all tasks generating heat (welding, grinding etc.) a special permit had to be obtained from the safety staff including accompanying measurements relating to escaping gas. Evacuations were practised at regular intervals.

Special rules were laid down, on how to re-enter the tunnel after evacuation. These rules had to be complied with exactly and comprised e.g.

- Ventilating the tunnel for a certain period
- Entering only with gas detector (gas control at the end of the train on the mountain side)
- Testing the TBM including closed areas as e.g. switching cabinets
- Depending on the local gas concentrations further flushing with compressed air was necessary.

The main power supply was switched on again and work resumed only after these tests had been carried out. In addition there were special regulations in effect e.g. governing how to enter the cutterhead.

Sample drillings in front of the cutterhead and vertically in the crown were executed systematically in order to measure any gas that might be present and remove it in a controlled

telbarer Nähe zur TBM vorhanden waren. In Zeiten, wo dies nicht möglich war, z. B. wenn der Schutterzug ausfährt, waren keine Anker- oder Sondierbohrungen erlaubt, welche einen Gasausbruch hätten auslösen können. Bei allen Wärme erzeugenden Arbeiten (Schweissen, Schleifen etc.) wurde eine spezielle Erlaubnis des Sicherheitspersonals inklusive begleitender Messungen bezüglich des ausströmenden Gases verlangt. Evakuierungen wurden in regelmässigen Abständen geübt.

Es wurden spezielle Regeln festgelegt, wie der Tunnel nach der Evakuierung wieder zu betreten war. Diese Regeln waren strikt zu befolgen und beinhalteten z. B.

- Tunnellüftung für bestimmte Zeit
- Eintritt nur mit Gas-Detektor (Gaskontrolle am bergseitigen Ende des Zuges)
- Prüfung der TBM, auch abgeschlossener Bereiche wie z. B. Schaltschränke
- Je nach den lokalen Gaskonzentrationen war eine weitere Spülung mit Druckluft notwendig.

Nur wenn diese Prüfungen erfolgt waren, wurde die Hauptstromversorgung wieder eingeschaltet und die Arbeiten wurden fortgesetzt. Zusätzlich bestanden auch spezielle Regelungen, um z. B. den Bohrkopf zu betreten.

Probebohrungen vor dem Bohrkopf und vertikal in der Firste wurden systematisch durchgeführt, um allenfalls vorhandenes Gas zu messen und es kontrolliert abzuleiten, bevor es durch den TBM-Vortrieb unkontrolliert freigesetzt wird. Auch eine Versiegelung der Felsoberfläche mit Spritzbeton kann das Ausströmen von Gas in den Tunnel verringern.

H<sub>2</sub>S wurde erstmals bei TM 2967 angetroffen und kam seither gelegentlich wieder vor. H<sub>2</sub>S ist ein Gas schwerer als Luft mit starkem Geruch nach faulen Eiern. Die Hauptgefahr geht von seiner Toxikologie und Korrosionseigenschaft gegenüber Metall aus. Der Geruch des Gases kann bereits bei einer Konzentration unter 1 ppm wahrgenommen werden. Der 8-Stunden-Arbeitsplatzgrenzwert beträgt 10 ppm, für kurze Zeit (15 Minuten) sind 15 ppm zulässig. Bei über 15 ppm wurden Vollmasken mit Filtern eingesetzt. Dies schränkte die Arbeitsfähigkeit stark ein. Ausserdem konnten Filter nicht ohne weiteren Schutz benutzt werden, wenn Wasser unter hohem Druck austrat und spritzte, da die Gefahr besteht, dass es in den Filter eindringt und ihn sofort blockiert.

Wenn die Konzentration von H<sub>2</sub>S höher als 100 ppm ist, dann tötet es den Geruchssinn des Menschen ab und es besteht unmittelbare Gefahr. Aus diesem Grund sollten Filter nur bis 100 ppm benutzt werden. Bei höherer Gaskonzentration müssen zum Atemschutz Masken (mit eigener Luftversorgung und Überdruck in der Maske) eingesetzt werden (Bild 5). Solche Geräte, die entweder mit auf dem Rücken getragenen Druckluftflaschen (wie bei Tauchern) versorgt wurden oder mit Luftzufuhr von grossen Flaschen mit einem 50 m langen

fashion prior to it being released uncontrollably by the TBM drive. Sealing the rock surface with shotcrete can also serve to reduce gas escaping into the tunnel.

H<sub>2</sub>S was first encountered at TM 2,967 and recurred occasionally since then. H<sub>2</sub>S is a gas heavier than air, which smells strongly of rotten eggs. The main danger results from its toxicology and its corrosive effect on metals. The smell of the gas can be perceived given a concentration of less than 1 ppm. The 8-hour workplace limit value amounts to 10 ppm; for a short time (15 min) 15 ppm is permissible. Full masks with filters were deployed at over 15 ppm. This considerably restricted working capacity. Furthermore filters could not be used without further protection if water escaped at high pressure and spurting, as there was the danger that it would penetrate the filter and block it immediately.

If the concentration of H<sub>2</sub>S is higher than 100 ppm, it then destroys the human sense of smell and poses an immediate danger. As a result filters should only be used up to 100 ppm. Given higher gas concentrations masks (with their own air supply and overpressure in the mask) must be used to protect respiration (Fig. 5). Such appliances were available, which were either supplied by compressed air cylinders worn on the back (like divers) or with air provided by large cylinders with a 50 m long hose. Productive work is practically impossible in this gear. It can merely serve to carry out inspections and repair work following an evacuation. A maximum gas concentration of 500 ppm was measured in the tunnel air (with the tunnel ventilation out of order). Concentrations of 50 to 100 ppm had to be mastered during



5 Arbeiter mit selbstversorgenden Atmungsgeräten mit Überdruck bei hoher H<sub>2</sub>S-Konzentration in der Tunnelluft, Luftzufuhr über grosse Druckluftflaschen und Schläuche

*Self-sustaining respiration units with overpressure for the crew given high concentration of H<sub>2</sub>S in the tunnel air, air intake via large compressed air cylinders and hoses*

Schlauch, waren vorhanden. Ein produktives Arbeiten ist in dieser Ausrüstung praktisch unmöglich. Sie kann lediglich dazu dienen, Inspektionen und Wiederherstellungsarbeiten nach einer Evakuierung durchzuführen. In der Tunnelluft wurde eine maximale Gaskonzentration von 500 ppm gemessen (bei ausgefallener Tunnellüftung). Konzentrationen von 50 und 100 ppm mussten während längerer Perioden beherrscht werden.  $H_2S$  verursacht auch Metallkorrosionen, insbesondere bei den elektrischen Installationen der TBM. Um die schädlichen Auswirkungen zu reduzieren, wurden z. B. die Schaltschränke sowie die Steuer- und eine Aufenthaltskabine an die Aussenluftzufuhr von der Lutte angehängt. Trotzdem waren bedeutende Reparaturen der Elektroinstallationen nötig.

$H_2S$  wurde auf 2 verschiedene Arten angetroffen: Das Bohren der TBM im trockenen Anhydrit setzte in einigen Anhydritzonen Konzentrationen von bis zu 160 ppm  $H_2S$  frei. Direkt nach dem Bohren des Hubes reduzierte sich auch der Ausstoss von  $H_2S$  wesentlich auf Werte zwischen 10 und 20 ppm. In anderen Bereichen wurde  $H_2S$  (das eine hohe Wasserlöslichkeit besitzt) von eindringendem Wasser an die Tunnelluft abgegeben, besonders dort, wo das Wasser unter hohem Druck aus dem Gebirge spritzte.

Woher das Gas stammt, ist nicht vollständig bekannt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wurde es durch bakterielle Sulfatreduktion (von Anhydrit mit  $CH_4$ ) gebildet, welches  $H_2S$ ,  $CaCO_3$  und Wasser produziert. Gelegentlich konnte man eine grünliche, ölige Flüssigkeit beobachten, die in geringfügigen Mengen aus kleinen Klüften im Anhydrit austrat. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um Reste dieser Bakterien.

Wenn  $H_2S$  in hoher Konzentration nur lokal freigesetzt wird, z. B. beim Bohrlochmund, kann es mit Druckluft verdünnt oder mittels Schläuchen abgeleitet werden. Eintretendes kontaminiertes Bergwasser sollte so schnell wie möglich mit Pumpen oder direkt im Gebirge in Schläuche und Rohre abgeleitet und mindestens bis zum TBM-Ende geleitet werden, damit das Gas nicht länger in die Tunnelluft des TBM-Bereichs freigesetzt werden kann. Membrane sollten eingesetzt werden, um Spritzwasser zu reduzieren und um kontaminiertes Wasser in die Tunnelsohle zu leiten. Eine hohe  $H_2S$ -Gaskonzentration konnte nicht durch verstärkte Lüftung beherrscht werden, da die Konzentrationen und der Luftbedarf zu hoch waren. Der Tunnel musste regelmässig evakuiert werden, wenn die Konzentration 100 ppm überschritt.

Grundsätzlich müssen immer genügend mobile Gasmessgeräte vorhanden sein, die regelmässig kalibriert und benutzt werden, vor allem während Bohrarbeiten (TBM, Anker, Sondierbohrung). Die Tunnelarbeiter wurden über die Gefahren informiert und mussten regelmässig zur medizinischen Vorsorgeuntersuchung und zum Eignungstest für Arbeiten mit Maske. Sie erhielten Atemschutzmasken und

lengthy periods.  $H_2S$  also caused metal corrosion, especially in the case of the TBM's electric installations. In order to reduce harmful effects, the switching cabinets for example as well as control cabinets and a common room were attached to the external air supply via the air duct. Nonetheless extensive repairs to the electric installations were required.

$H_2S$  of 2 different kinds was encountered: boring with TBM in dry anhydrite released concentrations of up to 160 ppm  $H_2S$ . Directly after boring the stroke the output of  $H_2S$  was reduced considerably to values ranging from 10 to 20 ppm. In other areas  $H_2S$  (which possesses high solubility in water) was released into the tunnel air by ingressing water, particularly at points where the water spurting from the rock under high pressure.

It is not completely clear just where the gas came from. In all probability it was formed as a result of the bacterial reduction of sulphate (from anhydrite with  $CH_4$ ), which produces  $H_2S$ ,  $CaCO_3$  and water. Occasionally a greenish, oily liquid could be observed, which escaped in small quantities from small fissures in the anhydrite. Probably this related to the residues of these bacteria.

If  $H_2S$  is only released locally in a high concentration, e.g. at the mouth of the drill hole, it can be diluted with compressed air or removed by means of hoses. Any contaminated groundwater that enters should as soon as possible be removed with pumps or directed into hoses and pipes inside the rock and at least conducted until the end of the TBM to ensure that the gas can no longer be released into the tunnel air in the TBM zone. Membranes should be applied in order to reduce spurting water and conduct contaminated water into the tunnel floor. A high  $H_2S$  gas concentration could not be mastered by increased ventilation as the concentrations and the air requirement were too high. The tunnel had to be evacuated at regular intervals if the concentration exceeded 100 ppm.

Essentially a sufficient number of mobile gas detectors have to be available, which are regularly calibrated and deployed, above all during drilling operations (TBM, anchors, exploratory drilling). The labour force must be informed of the dangers and have to undergo regular medical check-ups and an aptitude test for working with a mask. They were given breathing protection masks and were trained as to how masks and breathing appliances are properly used. Personal protective gear (filters and masks) must be available in sufficient quantities. Fresh air must be conducted to places on the TBM where crew operate on a regular basis, e.g. in the driver's cab, where rails are laid on the invert etc.

If  $CH_4$  or  $H_2S$  was discovered in exploratory drillings in front of the cutterhead, an attempt was made to grout the fissures with cement in order to reduce the rock's permeability. In

wurden geschult, wie Masken und Atmungsgeräte richtig eingesetzt werden. Persönliche Schutzausrüstung (Filter und Masken) müssen in genügender Anzahl vorhanden sein. Auf der TBM muss an Stellen mit regelmässigem Personaleinsatz Frischluft zugeführt werden, z. B. in der Führerkabine, wo in der Sohle Schienen verlegt werden, usw.

Wenn  $\text{CH}_4$  oder  $\text{H}_2\text{S}$  in Sondierbohrungen vor dem Bohrkopf gefunden wurden, wurde versucht, die Klüfte mit Zement zu verpressen, um die Durchlässigkeit des Gesteins zu reduzieren. Zusätzlich wurden 6 m lange Gasdrainagen in Bohrkopfnähe gebohrt, um das Gas abzuleiten.

Auch mögliches Vorkommen von Blausäuregas (HCN) wurde untersucht, jedoch nicht bestätigt. In einem anderen Projekt im Iran war man auf hohe Konzentrationen von  $\text{H}_2\text{S}$  gestossen und auch HCN wurde in beträchtlichen Mengen angetroffen. Kohlenstoffmonoxid (CO) in Konzentrationen von über 500 ppm (Arbeitsplatzgrenzwert 8 Stunden = 30 ppm) wurde ebenfalls in einem Abschnitt angetroffen. Der Tunnel wurde evakuiert, weil die vorhandenen Filter keinen Schutz gegen CO boten.

Durch die beschriebenen Massnahmen war es möglich, die Arbeiten ohne grössere Unfälle auszuführen. Dafür mussten aber längere Unterbrechungen und eine erheblich reduzierte Vortriebsleistung in Kauf genommen werden.

### 4.3 Wassereinbrüche

Der nördliche Tunnelabschnitt hatte nur geringen Wasserzufluss. Bei TM 2582 trat ein erster signifikanter Wassereinbruch mit  $>90$  l/s auf, welcher während des weiteren Vortriebs auf rd. 125 l/s anstieg. Bei TM 2967 wurde ein weiterer Wassereinbruch angefahren, der nochmals etwa 110 l/s zur Gesamtmenge beisteuerte und gleichzeitig  $\text{H}_2\text{S}$  freisetzte (bis zu 25 ppm).

Bei TM 3015 erfolgte ein Wassereinbruch mit initial ca. 110 l/s, zusammen mit ungefähr  $100 \text{ m}^3$  Schlamm und Geröll, welche ebenfalls  $\text{H}_2\text{S}$  freisetzten (bis 60 ppm). Dies war eine Störzone mit Karst und Hohlraumfüllung beim tektonischen Übergang in den ersten Anhydritbereich. Während der folgenden 2 Monate reduzierte sich die Gesamtwassermenge von 290 bis auf 50 l/s. Am anderen Ende der Anhydritzone traten keine Wassereinbrüche mehr auf und der Vortrieb lief problemlos.

Der Hauptwassereinbruch trat bei TM 4524 in einer Störzone auf (Bild 6): Die Gesamtwassermenge am Portal erhöhte sich von 60 l/s auf 690 l/s (gemessen, initial geschätzte rd. 800 l/s) mit einer hohen Konzentration von  $\text{H}_2\text{S}$  ( $>100$  ppm). Zuerst wurde der Vortrieb eingestellt und gewartet, ob sich der Zufluss reduziert. Nachdem die Wassermenge nur geringfügig abnahm, wurde der TBM-Vortrieb durch die mit Wasser gefüllte Störzone fortgesetzt. Die Gesamtwassermenge reduzierte sich während 8 Monaten auf 380 l/s. Während der ers-

addition 6 m long gas drainage holes were drilled in the vicinity of the cutterhead to remove the gas.

The possible presence of hydrocyanic acid gas (HCN) was also examined, however not confirmed. At another project in Iran, high concentrations of  $\text{H}_2\text{S}$  were encountered and HCN was also found in considerable amounts. Carbon monoxide (CO) in concentrations in excess of 500 ppm (workplace limit value 8 h = 30 ppm) was also come across at one point. The tunnel was evacuated because the existing filters did not protect against CO.

It was possible thanks to the described measures to execute the work without major accidents. Towards this end however lengthy breaks and a substantially reduced rate of advance had to be accepted.

### 4.3 Ingressing Water

The northern tunnel section was only slightly affected by inflowing water. At TM 2,582 an initial significant water inburst of  $>90$  l/s occurred, which rose to 125 l/s as the drive progressed. At TM 2,967 a further water inflow was encountered, which contributed a further 110 l/s or so to the total amount and at the same time released  $\text{H}_2\text{S}$  (up to 25 ppm).

At TM 3,015 a water inflow initially amounting to approx. 110 l/s occurred, together with roughly  $100 \text{ m}^3$  of mud and debris, which also released  $\text{H}_2\text{S}$  (up to 60 ppm). This was a fault zone with karst and cavity fill during a tectonic transition to the first anhydrite section. During the following 2 months the total amount of water diminished from 290 to 50 l/s. No further water inflows occurred at the other end of the anhydrite zone and the drive progressed without any problems.



6 Hauptwassereinbruch mit geschätzten 800 l/s im Nachläuferbereich mit Gleisen

Main water inburst with an estimated 800 l/s in the back-up section with rail tracks

ten 3 Monate konnten die Arbeiten nur mit Masken ausgeführt werden. Mitte August 2008 traf man auf eine weitere Störzone am südlichen Ende der Anhydritzone. Dort kamen weitere 220 l/s dazu, was zunächst eine Gesamtmenge von 600 l/s ausmachte, sich aber innerhalb von 4 Wochen rasch wieder auf 450 l/s reduzierte. Während weiterer 4,5 Monate reduzierte sich der Wasserfluss kontinuierlich bis zum Durchschlag auf schliesslich 270 l/s.

Die Hauptgefahren, die von diesen Wassereintrüben ausgehen, sind die Freisetzung von H<sub>2</sub>S aus dem Wasser sowie das Anschwemmen von Material. Dadurch können sich Hohlräume bilden, die zusammenbrechen und schliesslich den Bohrkopf blockieren können. Ausserdem sind die Arbeitsbedingungen bei überall herumspritzendem Wasser beschwerlich, vor allem im Winter bei Temperaturen bis zu -15 °C. Dennoch muss die (kalte) Lüftung wegen des ausströmenden Gases bei voller Geschwindigkeit laufen. Die Mineure benutzten unter diesen erschwerten Bedingungen Neopren-Anzüge (Taucheranzüge). Weitere Gefahren gingen auch von möglichem Stromschlag/Kurzschluss bei unter Wasser stehenden elektrischen Installationen und Hochspannungskabeln aus.

Das in der Sohle frei abfliessende Wasser behinderte auch den Gleisbetrieb. Die Schwellen lagen direkt auf der Tunnelsohle, ein Sohlsegment wurde nicht verwendet. Eine zusätzliche Drainageleitung (400 mm) wurde an einer Ulme montiert. Es war aber nie möglich, diese sinnvoll zu betreiben, da auf dem lokalen Markt wegen der politischen Sanktionen keine geeigneten, leistungsfähigen Schmutzwasserpumpen verfügbar waren. Ein grosses Problem bereitete die Sedimentation von Feinteilen in der Sohle, die die Gleise blockierten und zu Entgleisungen führten. Das passierte meist bei unbeabsichtigten Senken in der Gradienten- und im Vorfeld einer California-Weiche, bei der die Gradienten angehoben wurde und sich dadurch der Wasserfluss lokal beruhigte. Der eigentliche Gleisbetrieb bei mit Wasser bedeckten Gleisen verursachte keine nennenswerten Probleme. Die Wartungsaufwendungen für das Rollmaterial stiegen jedoch an.

Mittels Sondierbohrungen konnten die meisten Wassereintritte bereits vor dem Bohrkopf identifiziert werden. Trotzdem scheiterten alle Versuche, diese Zonen im Voraus zu verpressen, um den Wasserzufluss zu reduzieren. Für dieses Scheitern waren vor allem der hohe Druck und die Durchflussmenge zusammen mit der eingeschränkten Verfügbarkeit von Geräten wie Preventer und Packer verantwortlich. Zudem mangelte es an Personal des Unternehmers mit entsprechender Erfahrung für diese Arbeiten.

Wegen all dieser Umstände wurde schliesslich immer entschieden, das Wasser abfliessen zu lassen, da eine der Hauptaufgaben dieses Servicetunnels darin bestand, das Gebirge für den Vortrieb der parallelen Haupttunnel zu entwässern.

The main water inburst took place at TM 4,524 in a fault zone (Fig. 6): the total amount of water at the portal increased from 60 to 690 l/s (measured, initially estimated at around 800 l/s) with a high concentration of H<sub>2</sub>S (>100 ppm). First of all the drive was discontinued and a waiting period ensued to see if the inflow diminished. After the ingressing water only diminished slightly, the TBM drive was continued through the fault zone filled with water. During 8 months the total amount of water fell to 380 l/s. During the first 3 months work could only progress with masks. In mid-August 2008 a further fault zone was encountered at the southern end of the anhydrite zone. This meant an additional 220 l/s initially accounting for a total amount of 600 l/s, which quickly fell to 450 l/s within 4 weeks. During a further 4.5 months the flow of water continuously dropped until it was ultimately 270 l/s at the breakthrough.

The main dangers, which result from these inflows of water, are the release of H<sub>2</sub>S from the water as well as the depositing of material. This can cause cavities to be formed, which crumble and finally can block the cutterhead. In addition the working conditions when water is spurting everywhere are terribly difficult especially in winter at temperatures of down to -15 °C. Notwithstanding the (cold) ventilation has to run at full speed in account of the gas being released. The tunnelers used neoprene suits (divers' suits) to combat these rigorous conditions. Further hazards were posed by possible electric shocks/short circuits resulting from the electric installations and high-voltage cable lying under water.

The water freely flowing away in the invert also hampered rail track operations. The sleepers were located directly on the tunnel floor, there was no base segment. An additional drainage pipe (400 mm) was mounted to a wall. However it was never possible to use this in a purposeful manner as no suitable, efficient waste water pumps were available on the local market on account of political sanctions. The sedimentation of fine parts in the invert presented a major problem for they blocked the tracks and caused derailments. This mostly occurred in the case of unintended sinking of the gradient and prior to a California switch, at which the gradient was raised and as a result the flow of water was not so strong locally. The actual track operations with water covering the tracks did not cause any problems worth mentioning. But the need for servicing the rolling stock grew.

By means of exploratory drillings most of the inflows of water were already traced in front of the cutterhead. Nonetheless all efforts to grout these zones in advance to reduce the ingressing water failed. The high pressure and the discharge quantity along with the limited availability of equipment such as preventers and packers were mainly responsible for this failure. Furthermore the contractor lacked sufficient staff with the proper sort of experience for this work.

On account of all these circumstances the conclusion was always reached to allow the water to flow away as one of the



7 Nachgebrochenes Gebirge in der Sohle direkt hinter dem Bohrkopf unter der TBM bei schwierigen Arbeitsbedingungen

*Crumbled rock in the floor directly behind the cutterhead beneath the TBM given tricky working conditions*

Um die Hohlräume zu füllen und nachbrechendes Gebirge mit durchfließendem Wasser zu stabilisieren, wurden Schaum entwickelnde Harze eingesetzt.

## 5 Schlussbemerkungen

Eine Reihe ausserordentlicher geologischer Schwierigkeiten musste während des TBM-Vortriebs im Alborz Servicetunnel im Iran technisch gemeistert werden. Dies hatte erhebliche Auswirkungen auf die Vortriebsgeschwindigkeit und das Bauprogramm sowie auch auf die Kosten. Die Schwierigkeiten und Methoden zu ihrer Bewältigung wurden beschrieben.

Dennoch – und das ist entscheidend – konnten alle diese Gefahren und Schwierigkeiten schliesslich ohne bedeutende Unfälle oder sogar Todesfälle überwunden werden. Verbesserungen könnten erreicht werden, indem mehr vorausschauende Problemvermeidung und Vorbereitung erfolgt wäre, im Gegensatz zur Problemlösung „on demand“.

main tasks of this Service Tunnel was to drain the rock for driving the parallel main tunnel.

In order to fill the cavities and stabilise crumbling rock with the water flowing through, foam-developing resins were applied.

## 5 Closing Remarks

A series of out-of-the-ordinary geological difficulties had to be overcome in technical terms during the TBM drive for the Alborz Service Tunnel in Iran. This exerted a considerable effect on the rate of advance and the construction programme as well as the costs. The difficulties and the way they were tackled were described.

Nonetheless – and this is the decisive factor – all these hazards and difficulties were ultimately overcome without significant accidents or even fatalities. It would have been possible to arrive at improvements by pursuing ways to avoid problems and tackle preparation in contrast to an “on demand” problem solution.

*Helmut Westermayr, Dipl.-Ing., Geschäftsführer Arge Pfändertunnel, Geschäftsführer Alpine BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck/A*

## Pfändertunnel in Österreich

### Startprobleme beim TVM-Vortrieb

Der Pfändertunnel stellt, als nördlichster Teil der Rheintal-Autobahn A14, die Umfahrung des Siedlungsraums Bregenz dar. Die Achse der zweiten Röhre des Pfändertunnels erstreckt sich über 6,5 km unterhalb des Pfändermassivs, 70 m westlich der Bestandsröhre. Die Trasse durchfährt die sogenannte aufgerichtete mittelländische Molasse, eine Schichtfolge des Neogen (Jungtertiär), die heute als Konglomerate, Sandsteine, Mergelsandsteine, Mergel und Tonmergel vorliegt. Der Ausbruch der zweiten Röhre wird im kontinuierlichen Vortrieb, beginnend bei der Startstrecke Nord bis zur Bestandsröhre im Süden, mit einer Tunnelbohrmaschine mit Schild aufgeföhren. Als Regelquerschnitt des Tunnelbauwerks wird ein Kreisquerschnitt mit Tübbingausbau mit einem Außendurchmesser von 11,62 m (Bohrdurchmesser 11,92 m) ausgeführt. Der Beitrag behandelt die Bauausführung des ersten Straßentunnels in Österreich mittels einer TVM. Beim Einföhren in die Startstrecke Nord kam es zum Absinken der TVM im Lockermaterial. Die Einföhrtproblematik im Lockermaterial bei einem halb aufzuföhrenden Querschnitt (Strosse und Sohle) und die gewählten Lösungen werden erläutert.

## Pfänder Tunnel in Austria

### Starting Problems with the TBM Drive

The Pfänder Tunnel bypasses the residential area of Bregenz as the northern part of the A14 Rheintal motorway. The alignment of the 2nd bore of the Pfänder Tunnel runs for over 6.5 km under the Pfänder Massif, 70 m west of the existing bore. The route runs through geology described as upright midland Molasse, a sequence of beds from the Neogenic (young Tertiary), which today mostly consists of conglomerates, sandstones, marl sandstones, marl and clay marl. The second bore is to be excavated continuously by a tunnel boring machine with shield, commencing from the north starting stretch to the existing bore in the south. The standard cross-section of the tunnel structure will be circular (bored diameter 11.92 m) with 11.62 m external diameter segmental lining. The article deals with the construction of the first road tunnel in Austria to use a TBM. As the machine was driven into the starting stretch North, the TBM sagged in loose ground. The problem of driving a half cross section (bench and invert) into loose ground is discussed along with the chosen solutions.

Der Pfändertunnel stellt die Umfahrung des Siedlungsraums Bregenz dar. Als nördlicher Teil der Rheintal-Autobahn A14 ist dieser Abschnitt Bestandteil der wichtigsten Nord-Süd-Verbindung im Vorarlberger Rheintal. Die Trasse der 2. Röhre des Pfändertunnels erstreckt sich über 6,5 km unterhalb des Pfändermassivs. Die Überlagerung beträgt zwischen 28 m und rd. 230 m ab der Tunnelfirste.

Die Achse der zu errichtenden 2. Röhre des Pfändertunnels verläuft 70 m westlich der Bestandsröhre, welche im Dezember 1980 in Betrieb genommen wurde. Die beiden Röhren werden mit einem befahrbaren Querschlag (FQ), 6 mit Ein-

The Pfänder Tunnel bypasses the Bregenz residential area. As the northern part of the A14 Rheintal motorway this section represents a component of the most important north-south link in the Vorarlberg Rhine Valley. The Pfänder Tunnel's second bore extends 6.5 km beneath the Pfänder Massif. The overburden amounts to between 28 and roughly 230 m from the tunnel roof.

The route of the Pfänder Tunnel's 2nd bore under construction runs 70 m west of the existing one, which was opened in December 1980. The two bores are to be linked with an accessible cross-passage (FQ), 6 cross-passages accessible with service vehicles (EQ) and 8 negotiable cross-passages

## Tunnel du Pfänder en Autriche

### Problèmes de démarrage dans l'avancement du tunnelier

En tant que tronçon le plus au nord de l'autoroute A14 Rheintal, le tunnel du Pfänder permet de contourner la zone d'agglomération de Bregenz. L'axe du deuxième tube du tunnel du Pfänder s'étend sur 6,5 km, sous le massif du Pfänder, à 70 m à l'ouest du tube existant. Le tracé traverse la molasse dite redressée du Moyen-Pays, une suite de strates du néogène (dernière période de l'ère tertiaire), que l'on trouve aujourd'hui sous forme de conglomérats, de grès, de grès marneux, de marne et de marne argileuse. L'excavation du deuxième tube est pratiquée en avancement continu à l'aide d'un tunnelier à bouclier, partant de la section de départ au nord jusqu'au tube existant au sud. La section standard du tunnel est une section circulaire réalisée avec des voussoirs d'un diamètre extérieur de 11,62 m (diamètre de forage 11,92 m). La présentation traite de la construction du premier tunnel routier au moyen d'un tunnelier en Autriche. L'entrée du tunnelier dans la section de démarrage nord a entraîné un affaissement de l'engin dans le matériel meuble. Les problèmes d'entrée de tunnelier dans le matériel meuble sont abordés dans le cas de l'excavation d'une section divisée (stross et radier) et les diverses solutions adoptées sont expliquées.

## Galleria del Pfändertunnel in Austria

### Problemi di avviamento dell'avanzamento con TBM

Il Pfändertunnel, la parte più settentrionale dell'autostrada A14 Rheintal, rappresenta la tangenziale dell'area abitata di Bregenz. L'asse del secondo tubo del Pfändertunnel si estende per 6,5 km sotto il massiccio del Pfänder, 70 m a ovest del tubo esistente. Il tracciato attraversa la cosiddetta molassa mediterranea sollevata, una stratificazione del neogene (terziario superiore) presente oggi sotto forma di conglomerati, arenarie, marne arenacee e marne argillose. Lo scavo del secondo tubo viene eseguito in avancement continuo con una TBM con scudo, iniziando dal tratto iniziale a nord per arrivare al tubo esistente a sud. La sezione normale della galleria è una sezione circolare rivestita in elementi prefabbricati con un diametro esterno di 11,62 m (diametro foratura 11,92 m). Il contributo si occupa della costruzione della prima galleria stradale scavata mediante TBM in Austria. All'entrata nella tratta di partenza della TBM a nord, si è verificato l'affondamento della TBM in materiale incoerente. Si spiegheranno la problematica d'attacco nel materiale incoerente in una sezione in cui avanzare in sezioni semiparzializzate (strozzo e suola) e le soluzioni adottate.

satzfahrzeugen befahrbaren Querschlägen (EQ) und 8 befahrbaren Querschlägen (GQ) in konventioneller Bauweise verbunden. An den Enden aller FQ und EQ liegen Abstellnischen, welche eine Abstellspur mit ca. 40 m Länge vorweisen.

Auf Basis der Erfahrungen aus dem Bau der 1. Röhre sowie der geologischen Erhebungen und Erkundungen im Zuge der Projektplanung für die 2. Röhre Pfändertunnel wurden für den zyklischen Vortrieb umfangreiche Randbedingungen überlegt, um das Quellpotenzial des anstehenden Gebirges möglichst nicht zu aktivieren.

Die Vorteile eines TVM-Vortriebes zur Verminderung des Risikoanteils „quellendes Gebirge“ führten dazu, dass von der ASFINAG für die Ausschreibung neben einem Hauptteil „Zyklisches LV“ auch ein Leit-LV und Rahmenbedingungen für eine Teilalternative TVM-Vortrieb ausgegeben wurden. Leit-LV und vor allem die Vorgaben Teilalternative TVM für den Pfändertunnel 2. Röhre sind hauptsächlich auf die Schwerpunkte Vergleichbarkeit der Angebote und Tunnelvortrieb mit möglichst geringer Aktivierung des Quellpotenzials ausgelegt. In diesem Zusammenhang wurde auch die sofortige Sohlauffüllung mit zementstabilisiertem Material bis zur unteren Tragschicht als Auflast einer Ausführung eines Versorgungskollektors unter der Fahrbahn vorgezogen.

(GQ) built by conventional means. There are recesses at the ends of all the FQs and EQs, which possess a roughly 40 m long storage lane.

Based on findings obtained from producing the first bore as well as geological surveys and explorations during the project planning for the 2nd bore of the Pfänder Tunnel extensive general conditions were contemplated for the cyclic drive in order to ensure as much as possible that the swelling potential of the in-situ rock was not activated.

The advantages of a TBM drive designed to reduce the “swelling rock” risk led to the ASFINAG publishing a draft list of services and general conditions for a part-alternative TBM drive for the tendering phase in addition to a main “cyclic list of services”. The draft list of services and above all the specifications for the part-alternative TBM drive for the 2nd bore of the Pfänder Tunnel are mainly geared to the aspects of comparing the offers and driving the tunnel with as little activation of the swelling potential as possible. In this connection the immediate filling of the invert with cement-stabilising material up to the lower supporting layer as superimposed load was preferred to an alternative with a service collector below the carriageway.

The outcome of the submission phase served to confirm the selected form of tendering for the ASFINAG. The Beton- und

Das Angebotsergebnis hat für die ASFINAG die gewählte Ausschreibungsform bestätigt. Als Bestbieter hat die Arge Beton- und Monierbau GmbH/Alpine Bau GmbH mit einem Teilalternativangebot TVM den Auftrag für die Bauausführung erhalten.

### 1 Geologie und Hydrogeologie

Die neue Weströhre des Pfändertunnels durchfährt die sogenannte „aufgerichtete mittelländische Molasse“, eine Schichtfolge des Neogen (Jungtertiär), die heute als Konglomerat (vorwiegend Mergelkalke und Kalksandsteine), Sandsteine (hauptsächlich Feinsande), Mergelsandsteine (Mergelstein-Sandstein-Wechselagerungen und Mergelbänke mit diffus verteilten sandigen Komponenten), Mergel und Tonmergel vorliegt. Flach nordfallende und stark wechselhafte Schichtfolgen werden schleifend bis parallel angefahren.

#### 1.1 Quellfähige Gesteine

Im Zuge des konventionellen Vortriebs der 1. Röhre wurden große Sohlhebungen festgestellt. Ursache hierfür war der relativ hohe Montmorillonitgehalt im Tonmergel in Verbindung mit dem unvermeidlichen Betriebswasser, das den Effekt des Quellens auslöste.

#### 1.2 Bergwasserzutritte

Im Bereich des Lockergesteins am Nordportal und im Übergang zum Fels zeigen sich nur geringe Wasserzutritte. Bis auf sporadische Tropfwasserzutritte in den Konglomeraten ist das Gebirge im Mittelabschnitt der Tunnelstrecke trocken. Im Südabschnitt sind die Bergwasserhältnisse vornehmlich durch Klüftungen und kleinere Verwerfungen bestimmt und werden als sehr wechselhaft mit trockenen bis stark feuchten Abschnitten beschrieben.

### 2 Ausführungsplanung

Die 2. Tunnelröhre wird von Nord nach Süd mittels einer Einzelschild-TBM mit einem nominalen Bohrdurchmesser von 11,92 m aufgeföhren. Der zweischalige Ausbau der Hauptröhre besteht aus Stahlbetontübbingen mit einem Außendurchmesser von 11,62 m, einer 28 cm dicken Ortbe-ton-Innenschale und dazwischenliegender Folienabdichtung.

#### 2.1 Startstrecke TBM

Bereits im Zuge der Erstellung der Bestandsröhre wurde beginnend ab dem Portal eine ca. 55 m lange Tunnelstrecke als Vorausmaßnahme für die 2. Röhre hergestellt. Dieses Bauwerk, das in Deckelbauweise mit seitlichen Schlitzwänden, einer Sohlplatte und einer anschließenden ca. 15 m langen konventionellen Röhre gebaut wurde, musste in die Anfahrtsituation für den TBM-Vortrieb einbezogen werden. Bedingt durch das Kreisprofil der TBM-Röhre musste im

Monierbau GmbH/Alpine Bau GmbH with a part-alternative TBM drive received the contract for carrying out construction with the best bid.

### 1 Geology and Hydrogeology

The Pfänder Tunnel's new western bore passes through what is commonly known as "upright midland molasse", a sequence of beds from the Neogenic (young Tertiary), which today mostly consists of conglomerates (mainly marl limes and lime sandstones), sandstones (mostly fine sands), marl sandstones (marl stone – sandstone intermittent bedding and banks of marl with diffusely distributed sandy components), marl and clay marl. Flat pronouncedly interchanging beds dipping towards the north are encountered at an angle or parallel.

#### 1.1 Swelling Rock

In the course of the conventional drive for the 1st bore major floor lifts were encountered. The reasons for this were the relatively high Montmorillonite content in the clay marl in conjunction with the inevitable industrial water, which triggered the swelling effect.

#### 1.2 Ingressing Underground Water

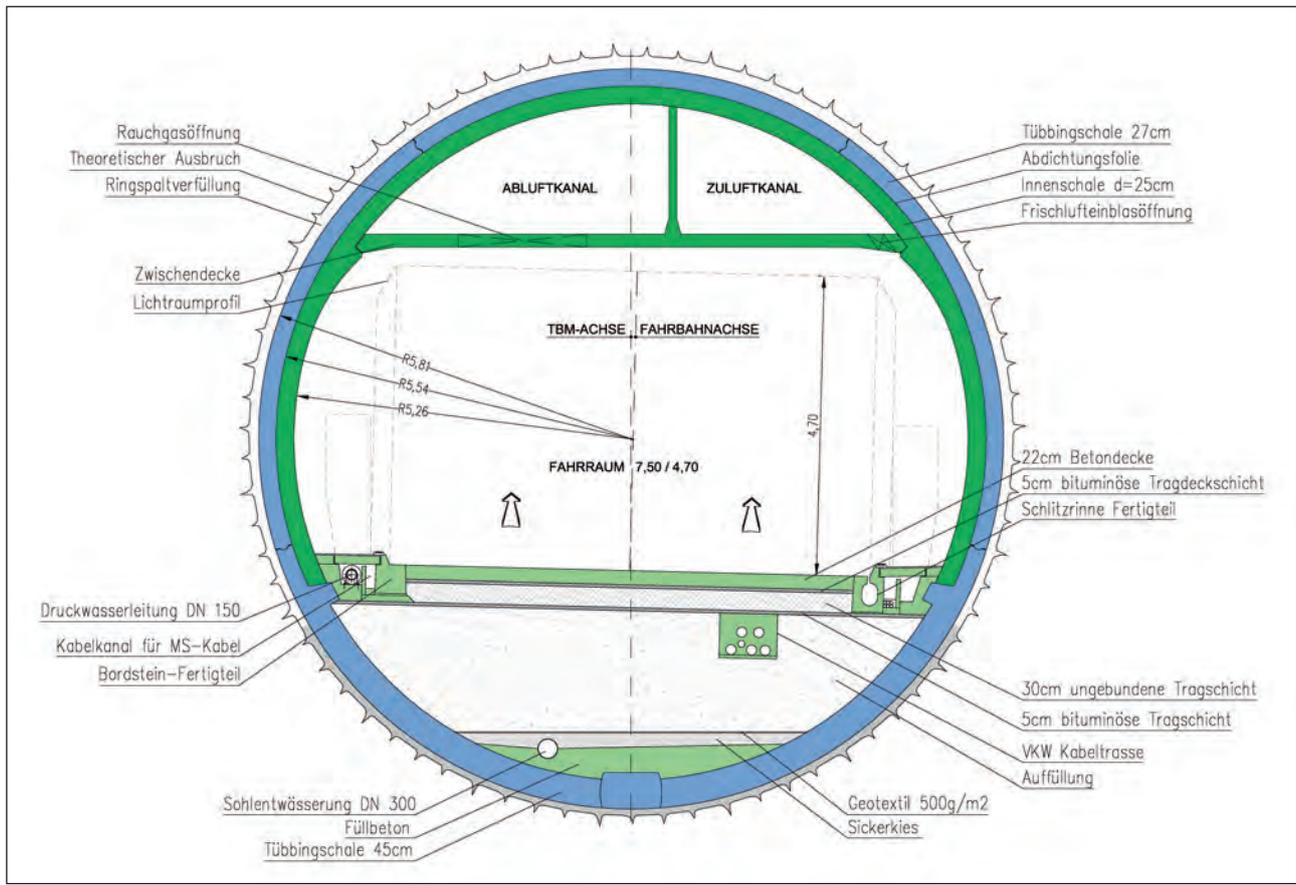
The soft ground sector at the north portal and the transition zone to rock only revealed slight water ingresses. The rock in the central sector of the tunnel route is dry apart from sporadic incidences of dripping water in the conglomerates. In the south sector the underground water conditions are mainly governed by fissures and small faults and can be described as extremely changeable with dry to highly moist sections.

### 2 Planning the Execution

The 2nd tunnel bore is driven from north to south using a single shield TBM with 11.92 m nominal boring diameter. The two-shell lining for the main bore consists of reinforced concrete segments with 11.62 m external diameter, a 28 cm thick in situ concrete internal shell and an intermediate membrane seal.

#### 2.1 TBM Starting Section

An approx. 55 m long tunnel stretch was produced from the portal as an advance measure for the 2nd bore during the creation of the existing one. This structure, which was built using the top cover method with lateral diaphragm walls, a base slab and a connecting roughly 15 m long conventional tube, had to be included in the start-up situation for the TBM drive. Resulting from the circular profile of the TBM tube the base slab had to be removed in the existing structure. In order to accommodate this state of construction and increase the stability of the existing bearing structure to values conforming to the now valid norm, the existing



1 Regelquerschnitt 2. Röhre Pfändertunnel  
Standard cross-section of the Pfänder Tunnel's 2nd bore

bestehenden Bauwerk die Sohlplatte entfernt werden. Um diesem Bauzustand Rechnung zu tragen und die Standicherheit des bestehenden Tragwerks auf normgemäße Werte der nunmehr geltenden Norm zu erhöhen, wurde die bestehende Schlitzwand für den Bauzustand mithilfe 16 m langer Anker verstärkt. Anschließend wurde die bestehende Röhre auf das TBM-Profil aufgeweitet. Im Bereich der Lockermaterialstrecke wurde die Kalotte in NÖT-Bauweise mit einer temporären Kalottensohle aus Stahlfaserbeton bis zur Einbindung in die Molasse (Fels) bei Stat. 226 ausgeführt.

Die Schildwiege mit der Widerlagerkonstruktion wurde ca. 30 m vor dem Portal erstellt. Die Maschine wurde bis zum Ende der Deckelbauweise eingeschoben. Als Abstützkonstruktion dienten die eingebauten Sohlübbinge.

## 2.2 Tübbingauskleidung

Ein Tübbingring ist 2,0 m breit und besteht aus 5 Segmenten mit einem Sohlschlussstein. Die Tübbingdicke des Ulmen- und Firststeins beträgt 27 cm, die des Sohlsteins 45 cm und die des Schlusssteins 55 cm. Die Längsfugen wurden gemäß der Ausschreibung als Wälzelenke, die Ringfugen in Nut und Feder ausgebildet. In Längsrichtung wurden die Tübbingringe nicht gegeneinander versetzt.

diaphragm wall was reinforced with the aid of 16 m long anchors for the state of construction. Subsequently the existing tube was expanded to conform to the TBM profile. In the soft ground section the crown was executed by the NATM with a temporary crown floor made of reinforced steel fibre concrete until it was integrated in the molasse (rock) at Stat. 226 m.

The shield cradle with the abutment structure was produced some 30 m from the portal. The machine was pushed in up to the end of the top cover application. The installed invert segments served as a supporting structure.

## 2.2 Segmental Lining

A segment ring is 2.0 m wide and comprises 5 segments with an invert keystone. The thickness of the wall and crown segments amounts to 27 cm, the invert segment 45 cm and the keystone 55 cm. The longitudinal joints were designed as rolling contact joints according to the tender, the annular joints in tongue and groove form. The segment rings were not offset against each other in a longitudinal direction.

Dimensioning the segment shell took place on the basis of a beam embedded in a radial direction. The longitudinal joints

Die Bemessung der Tübbingschale erfolgte anhand eines in radialer Richtung gebetteten Stabzugs. Die als Wälzgelene ausgebildeten Längsfugen (mit Ausnahme des Schlusssteins) wurden im statischen Modell als Momentengelenke ( $M = 0$ ) nachgebildet (Bild 1).

### 2.3 Lastansätze Tübbingbemessung

In der Ausführungsplanung wurden entsprechend den Ausschreibungsunterlagen neben den üblichen Handling-Lastfällen noch folgende Lasten statisch untersucht: Verpressdruck, Auflockerungsdruck, Gebirgsdruck und Quelldruck.

Die Größe der Felsteile, die einen Auflockerungsdruck auf die Tübbingschale im Bereich der Firste ausüben kann, wird in Abhängigkeit von der Orientierung der Trennflächengefüge, des Abstands der Trennflächen, den Gesteinsparametern an der Trennfläche etc. bestimmt. Der maximale Druck, der aufgrund von Untersuchungen möglicher Nachbrüche ermittelt wurde, wird in der Ausschreibung mit  $100 \text{ kN/m}^2$  definiert; dies entspricht etwa 4 m Auflast.

Die Lastfälle Verpress- und Auflockerungsdruck sind auf ein System mit „teilgebettetem Ring“ angesetzt, das den Bedingungen unmittelbar hinter dem Schildschwanz entspricht. Eine Bettung des Tübbingringes bis zur oberen Verblasöffnung des Ulmensteins wurde angenommen, der Firstbereich ist nicht gebettet.

Der Gebirgsdruck ist mit einem maximalen Wert von  $250 \text{ kN/m}^2$  für die Belastung in der Firste und mit  $0 \text{ kN/m}^2$  in der Sohle definiert. Die Größe des Quelldrucks wurde anhand Rückrechnungen aus den zur Verfügung stehenden Extensometermessungen ermittelt. Der statischen Berechnung ist



2 Frontansicht des Bohrkopfes TVM S-474 von Herrenknecht  
Frontal view of the cutterhead TBM S-474 made by Herrenknecht

in the form of rolling contact joints (with the exception of the keystone) were reproduced in the structural model as a torque joint ( $M = 0$ ) (Fig. 1).

### 2.3 Design Loads for Dimensioning Segments

In planning the execution the following loads were examined statically in addition to the customary handling load cases in keeping with the tendering documents: grouting pressure, loosening pressure, rock pressure and swelling pressure.

The size of the rock blocks, which can exert a loosening pressure on the segment shell at the roof, is determined by the orientation of the joint plane structure, the gap between joint planes, the rock parameters at the joint plane etc. The

Tabelle: Technische Daten der Herrenknecht-TVM S 474

Maschinentyp		Einfachschild Hartgesteins-TVM
Antrieb		elektrisch
Leistung	[kW]	16 x 160
Vortrieb		24 Einzelzylinder mit Druckring
gesamt	[kN]	67 500
Gesamtlänge	[m]	210
Gewicht inkl. Nachläufer	[t]	2000
Schneidrad, Außendurchmesser	[m]	11,92
Gewicht	[t]	180
Diskens (Schneidrollen)	[Stück] [Zoll]	72 17"
Spurabstand	[mm]	90 bis 100
Räumeröffnungen	[Stück]	6

Table: Technical Data of the Herrenknecht TBM S 474

Machine type		Single shield Hard rock TBM
Power		electric
Output	[kW]	16 x 160
Driving		24 individual cylinders with pressure ring
total	[kN]	67,500
Total length	[m]	210
Weight incl. back-up system	[t]	2,000
Cutting wheel, ext. diameter	[m]	11.92
Weight	[t]	180
Discs (cutter rollers)	[no.] ["]	72 17"
Gauge	[mm]	90 bis 100
Bucket openings	[no.]	6

ein Quelldruck von 300 bzw. 500 kN/m<sup>2</sup>, auf die Sohle wirkend, zugrunde gelegt.

### 3 Bauausführung

Unmittelbar nach Auftragserteilung konnte im Herbst 2007 mit den Bauarbeiten für die 2. Röhre Pfändertunnel begonnen werden. Neben den aufwändigen Einrichtungsarbeiten musste die etwa 200 m lange Lockermaterialstrecke im Norden konventionell hergestellt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen entschied man sich dafür, nur die Kalotte auszubringen. Strosse und Sohle sollten mit der Tunnelbohrmaschine abgebaut werden.

Für den TVM-Vortrieb kaufte die Arge Tunnel Pfänder eine Vortriebsanlage von Herrenknecht (Bild 2), mit welcher zuvor in Frankreich 2 x 3,5 km Tunnel in ähnlichen geologischen Gebirgsverhältnissen aufgeföhren wurden. Mit den Demontagetagearbeiten der TVM wurde im April 2008 begonnen, anschließend erfolgten die Generalüberholung und die Montage unter Anleitung des Herstellers (Tabelle).

#### 3.1 TVM-Vortrieb in Bereichen mit quellfähigem Gebirge

Konstruktiv wurde bei den Tübbingen ein Quelldruck von 300 bzw. 500 kN/m<sup>2</sup>, auf die Sohle wirkend, zugrunde gelegt. Baubetrieblich ist aufgrund des bereichsweise vorliegenden Quellpotenzials des anstehenden Gebirges auf eine sorgfältige Vermörtelung der Tübbinge im Sohlbereich bis auf 120° mit thixotropem Mörtel zu achten, um ein Eindringen von Betriebswässern ins Gebirge so gering wie möglich zu halten. Weiter ist in quellfähigen Abschnitten eine Fugenabdichtung in den Ring- und Längsfugen zwischen den Sohl-tübbingen und den Schlusssteinen einzubauen. Im oberen Bereich wird in den Ringspalt zwischen den Tübbingen und dem Fels ein Rundkies (Körnung 8/11) eingeblasen.

Im Bereich des Nachläufers ca. 100 m hinter dem Bohrkopf wird eine Sohlauauffüllung ausgeführt (Bild 3). Diese dient als sofortige Auflast beim Auftreten von Quelldruck. Die Sohlauauffüllung beinhaltet gleichzeitig das endgültige Tunnelentwässerungssystem für das Bergwasser. Als Bergwasserdränage dient eine Sohlentwässerungsleitung, welche als Mehrzweckrohr mit DN 300 mm ausgebildet wird und in Füllbeton gebettet ist. Das Bergwasser gelangt über den Rundkies im Ringspalt und die radialen Tübbingfugen in die Entwässerungsnut auf der Innenseite der radialen Sohl-tübbingfugen und von diesen in die Sickerschicht, welche zur Sohlentwässerung führt.

Zur Vermeidung des Eindringens der Sohlauauffüllung in das Entwässerungssystem werden die Entwässerungsnuten mit einem PE-Streifen und die Sickerschicht mit einem Geotextil abgedeckt. Zur Wartung der Sohlentwässerung sind Reinigungsschächte in einem Regelabstand von ca. 100 m vorgesehen. Um Schachtöffnungen innerhalb der Fahrbahn zu

maximum pressure, which was established through investigating possible cave-ins, is defined in the tender as 100 kN/m<sup>2</sup>, corresponding to a superimposed load of roughly 4 m.

The load cases grouting and loosening pressure are applied to a system with "partly embedded ring", which corresponds to the conditions immediately behind the tailskin. Embedding of the segment ring up to the upper blow-in opening of the wall segment is assumed, the roof area is not embedded.

The rock pressure is defined with a maximum value of 250 kN/m<sup>2</sup> for the load in the roof and of 0 kN/m<sup>2</sup> in the invert. The size of the swelling pressure was determined on the basis of recalculations from the available extensometer measurements. The static calculation is based on a swelling pressure of 300 resp. 500 kN/m<sup>2</sup> acting on the invert.

### 3 Executing Construction

Immediately after commissioning construction work on the Pfänder Tunnel's 2nd bore was able to commence in autumn 2007. In addition to the complex preparatory operations the roughly 200 m long soft ground stretch in the north had to be driven by conventional means. For economic reasons it was decided to excavate the crown on its own, leaving the bench and invert to be tackled by the tunnel boring machine.

For the TBM drive the Tunnel Pfänder JV purchased a tunneling installation from Herrenknecht (Fig. 2), by means of which 2 x 3.5 km of tunnel had previously been driven in France in similar geological rock conditions. Work on disassembling the TBM started in April 2008, which was followed by the general inspection and assembly under the manufacturer's instructions (Table).

#### 3.1 TBM Driving in Zones with swelling Rock

In structural terms a swelling pressure of 300 resp. 500 kN/m<sup>2</sup>, acting on the invert, was taken as the basis. In terms of construction management, care must be taken to mortar the segments in the invert area up to 120° with thixotropic mortar on account of the swelling potential partially prevailing in the in-situ rock in order to reduce the amount of industrial water penetrating the rock as far as possible. In addition a joint seal must be installed in the annular and longitudinal joints between the invert segments and the keystones in sections with a capacity to swell. A round gravel (granulation 8/11) is blown into the annular gap between the segments and the rock in the upper area.

The invert is filled in the back-up zone roughly 100 m behind the cutterhead (Fig. 3). This serves as an immediate superimposed load in the event of the occurrence of swelling pressure. The invert fill at the same time contains the final tunnel



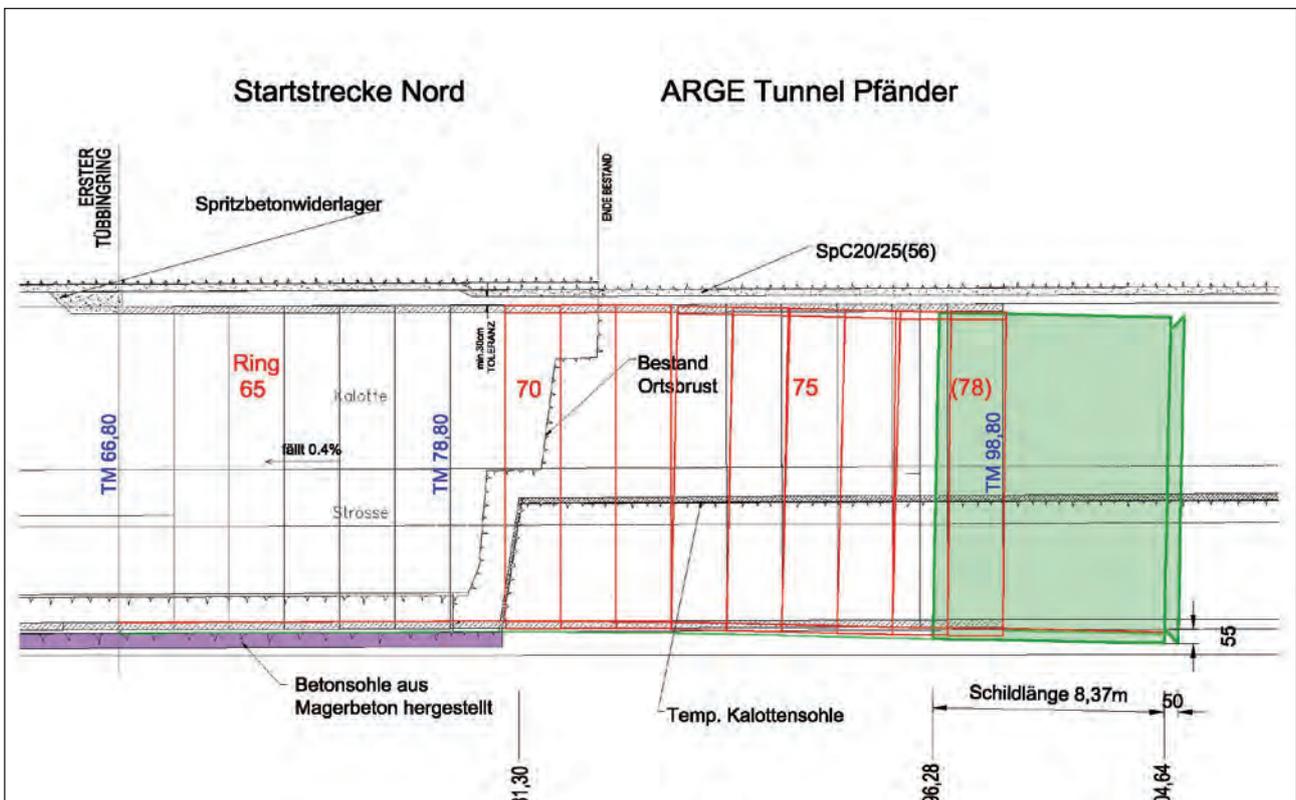
3 Sohlauffüllung im Bereich des Nachlaufs  
Invert fill at the back-up system

vermeiden, werden die Schachteinstiege seitlich im Bereich des Randweges angeordnet. Der gesamte Sohlaufbau mit Entwässerung, Sohlauffüllung und den Reinigungsschächten wird unterhalb des Nachlaufs eingebaut. Die dem Baubetrieb dienende temporäre bituminöse Tragschicht mit 5 cm wird am Ende des Nachläufers mitgezogen. Die Sohlauffüllung besteht aus:

drainage system for the underground water. An invert drainage pipe serves as underground water drainage, which is in the form of a DN 300 mm multi-purpose pipe and embedded in mass concrete. The underground water reaches the annular gap and the radial segmental joints in the drainage groove on the inner side of the radial invert segment joints via the round gravel and then the seepage layer, which leads to the invert drainage system.

In order to avoid the invert fill penetrating the drainage system the drainage grooves are covered with a PE strip and the seepage layer with a geotextile. Cleaning shafts at regular gaps of some 100 m are foreseen for maintaining the invert drainage system. In order to avoid having shaft openings within the carriageway, the shaft entrances are set up at the sides on the shoulders. The entire invert set-up with drainage, invert fill and the cleaning shafts is installed beneath the back-up system. The temporary 5 cm bituminous supporting layer serving construction purposes follows the back-up system. The invert fill constitutes:

- Mass concrete B 25/30
- Drainage pipe DN 300
- Seepage gravel 30/60
- Geotextile 500 g/m<sup>2</sup>
- Cement-bound supporting layer with 85 kg cement/m<sup>3</sup>
- 5 cm bituminous supporting layer.



4 Lage der TVM bei Tunnelmeter 104,0  
Position of the TBM at TM 104.0

- Füllbeton B 25/30
- Entwässerungsleitung DN 300
- Sickerkies 30/60
- Geotextil 500 g/m<sup>2</sup>
- Zementgebundene Tragschicht mit 85 kg Zement/m<sup>3</sup>
- 5 cm bituminöse Tragschicht.

### 3.2 TVM-Vortrieb im Lockermaterial mit Teilquerschnitt

Beim Einfahren in die Lockermaterialstrecke mit vorausgehend hergestellter Kalotte konnte die Gradiente der TVM bezogen auf die Tunnelachse nicht gehalten werden. Obwohl der Bohrkopf in diesem Bereich angestellt wurde, um erwartete Setzungen im Bettungsbereich des Schildes zu kompensieren, tauchte die Maschine nach unten ab. Der Anstellwinkel verringerte sich bei jedem Hub um bis zu 6 mm/m. Sofort eingeleitete Gegenmaßnahmen wie Schiefstellung und Zurückziehen des Bohrkopfes, Bentonitschmierung des Schildmantels sowie Verlagerung des Massenschwerpunktes zeigten keine Wirkung. Die TVM war nicht mehr steuerbar. Nach einigen Metern mussten die Vortriebsarbeiten eingestellt werden, da die Abweichung zur Solllage mit vorerwähnten Maßnahmen nicht mehr korrigiert werden konnte (Bild 4).

Die Position des Bohrkopfes stellte sich dann wie folgt dar:

- Position Schildschneide –0,55 m unter Solllage
- Position Schildschwanz –0,33 m unter Solllage
- Längsneigung, bezogen auf Horizontale –25 mm/m.

Die Maschine musste neu positioniert (Phase 1), die Ursache für das Abtauchen ergründet und eine Alternative für die Weiterfahrt der TVM (Phase 2) erarbeitet werden.

### 3.2 TBM Driving in soft Ground with partial Cross-Section

When entering the soft ground stretch with the crown produced in advance it was not possible to adhere to the TBM gradient related to the tunnel alignment. Although the cutterhead was adjusted in this area to compensate for unexpected settlements in the shield's bedding zone, the machine sagged downwards. The pitch dropped with every stroke by up to 6 mm/m. Counter-measures that were introduced immediately such as tilting and retracting the cutterhead, lubricating the shield skin with bentonite as well as relocating the centre of mass had no effect. The TBM could no longer be steered. The driving operations had to be discontinued after a number of metres as the discrepancy vis-à-vis the desired position could not be corrected using the previously mentioned measures (Fig. 4).

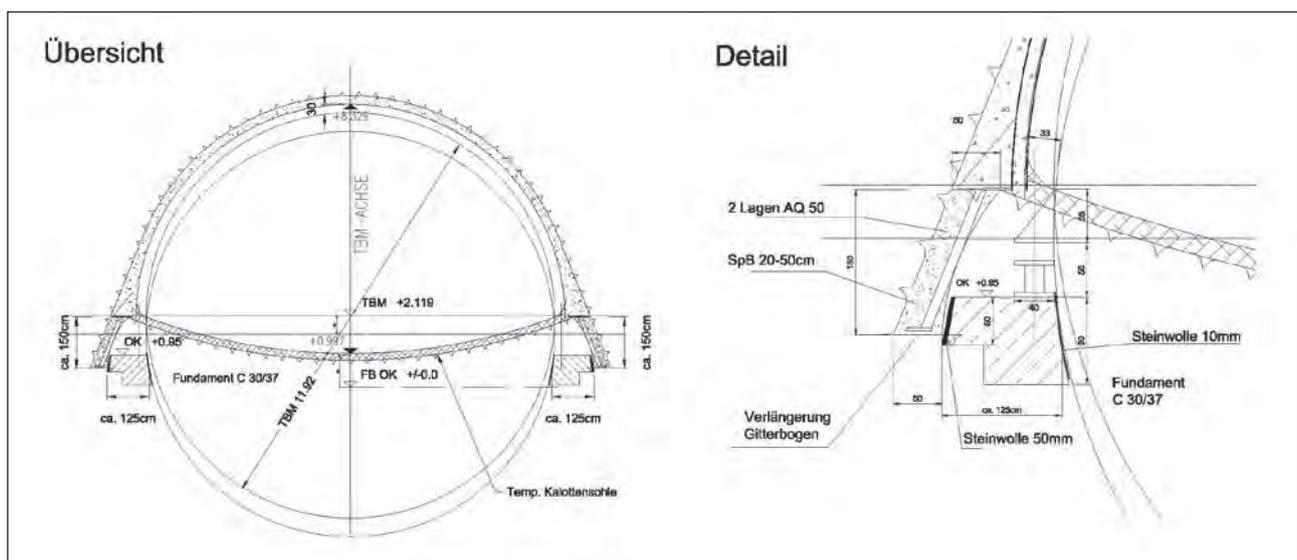
The position of the cutterhead then presented itself as follows:

- position of shield cradle –0.55 m beneath desired position
- position of shield tail –0.33 m beneath desired position
- longitudinal gradient related to the horizontal –25 mm/m.

The machine had to be repositioned (Phase 1), the reason for sagging established and an alternative for the further passage of the TBM worked out (Phase 2).

### 3.3 Phase 1 – Repositioning the TBM

Thanks to the crown produced in advance it was possible to get in front of the cutter wheel through the cutterhead and create recesses manually at the side of the shield. By means



5 Bauliche Maßnahmen für den Hebevorgang der TVM  
 Constructional measures for raising the TBM

### 3.3 Phase 1 – Neupositionierung der TVM

Aufgrund der vorauseilend hergestellten Kalotte war es möglich, durch den Bohrkopf vor das Schneidrad zu gelangen und seitlich neben dem Schild händisch Nischen auszubringen. Mittels Hydraulikpressen wurde die TVM schrittweise angehoben und mit Sand unterfüttert. Das Hauptproblem dieser Methode stellte die Grundbruchgefahr unter den Betonfundamenten dar (Bild 5).

Trotz der Risiken entschied man sich zur Durchführung dieser Variante, da Bodenverbesserungsmaßnahmen oder die Herstellung tiefer liegender Fundamente wegen der Platzverhältnisse technisch zu aufwändig und zeitintensiv gewesen wären.

Innerhalb von 10 Tagen konnten die Vorbereitungsarbeiten abgeschlossen und mit dem Hebevorgang begonnen werden. Zu den Vorbereitungsarbeiten gehörte:

- Aushub und Sicherung seitlicher Nischen parallel zum Schild, ca. 6,00 m lang
- Bewehren und Betonieren von seitlichen Fundamenten als Auflager für die Hydraulikpressen
- Herstellen und Schweißen von Stahllaschen an das Schild
- Anbringen einer Zentrumpresse im Sohlbereich des Schildes zur Reduktion der maximalen Bodenpressung und Minimierung der Grundbruchgefahr
- Vorbereitungen für das Einblasen von Sand zur Unterfütterung und Stabilisierung während des Hebevorganges
- Positionieren eines Rotationslasers in der Kalottensohle zur Kontrolle eventueller Setzungen (visuell)
- Positionieren eines Robotersystems zur permanenten automatisierten Überwachung
- Anbringen von Kameras zur direkten visuellen und gefahrlosen Beobachtung vor dem Schneidrad.

Das Anheben der TVM erfolgte in 6 Schritten à 50 mm unter ständiger Beobachtung der Pressendrucke, des Setzungsverhaltens des Kalottenfußes und der Pressenfundamente. Nach jedem Hebeschritt wurde die TVM durch Einblasen von Sand im Sohlbereich stabilisiert und mittels eines Geologenhubes um ca. 40 cm vorgefahren. Trotz geringer Setzungen des Betonfundamentes konnte die TVM wieder in eine für den weiteren Vortrieb ausreichende Position gebracht werden.

### 3.4 Phase 2 – Ursachenforschung und alternative Konzepte für den Lockermaterialvortrieb mit Teilquerschnitt

Zur Erforschung der tatsächlichen Ursache für das Abtauchen der TVM im Lockermaterial sind detaillierte Kenntnisse hinsichtlich Geotechnik, Maschinentechnik und Statik erforderlich. Anfänglich ging man davon aus, dass es durch größere Spritzbetonbrocken aus der temporären Kalottensohle zu einer Auflockerung des Untergrundes gekommen ist und dadurch die Maschine abgesackt ist. Diese These musste aber

of hydraulic jacks the TBM was raised step-by-step and underfilled with sand. The main problem relating to this method was the danger of the ground crumbling beneath the concrete foundations (Fig. 5).

In spite of the risks involved it was decided to press ahead with this alternative as soil improvement measures or the creation of foundations located at a deeper level would have been technically most complicated and time-consuming on account of the constricted space conditions.

Within 10 days it was possible to complete the preparatory work and start with the raising process. The preparations included:

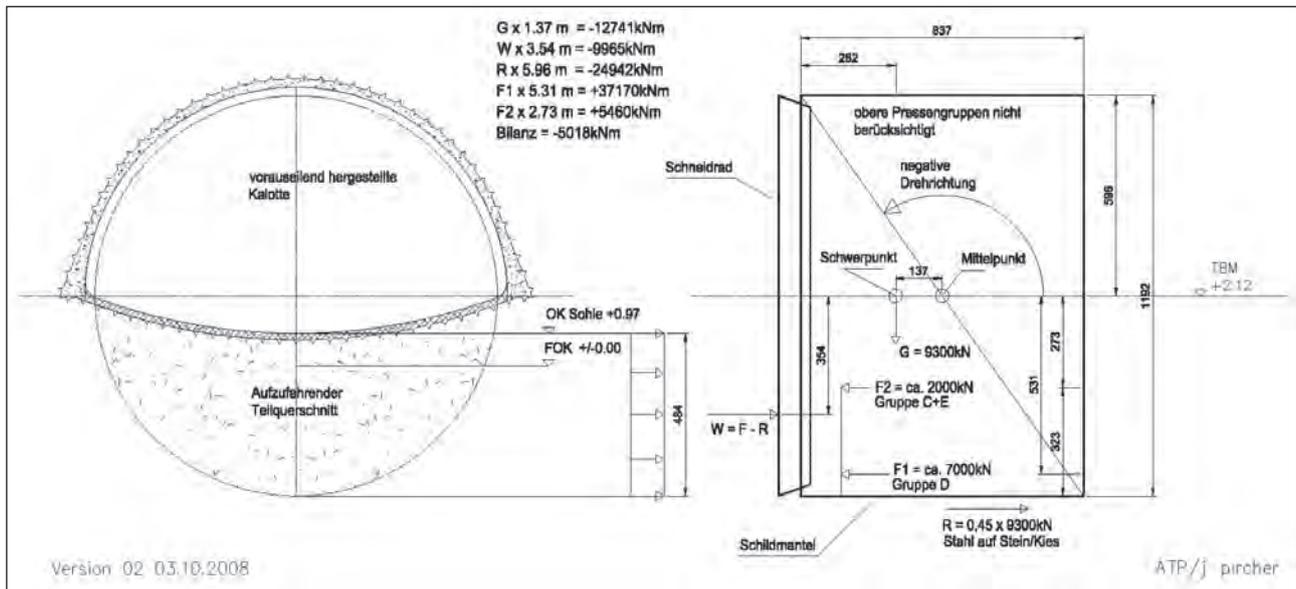
- Extracting and supporting recesses at the side parallel to the shield, roughly 6 m long
- Reinforcing and concreting foundations at the side as abutment for the hydraulic jacks
- Producing and welding steel lugs on the shield
- Setting up a centering unit in the shield's invert area to reduce the maximum soil pressure and minimise the danger of crumbling soil
- Preparations for blowing in sand for underfilling and stabilising during the raising process
- Positioning a rotation laser in the crown floor to check for possible settlements (visual)
- Positioning a robot system for permanent automated monitoring
- Setting up cameras for direct visual and safe observation in front of the cutting wheel.

The TBM was raised in 6 steps each of 50 mm under constant observation of the jacking pressures, the settlement behaviour of the crown base and the jacking foundations. Following each raising step the TBM was stabilised by blowing in sand and moved forward some 40 cm by means of a geological stroke. In spite of low settlements of the concrete foundation the TBM could be re-aligned in a position appropriate for continuing driving.

### 3.4 Phase 2 – Research into Causes and alternative Concepts for Driving in soft Ground with partial Cross-Section

To establish the actual cause for the TBM sagging in soft ground it was necessary to obtain detailed findings relating to geotechnics, engineering technology and statics. Initially it was assumed that major blocks of shotcrete from the crown base led to a loosening of the subsurface so that the machine sagged. However this thesis had to be rejected as measures devised to prevent loosening brought no improvement.

The machine manufacturer was also unable to provide any plausible explanation for the TBM's steering problems, however the construction site was recommended an already tried-and-tested concept for continuing the drive. Towards



6 Arge Pfändertunnel, vereinfachte Drehmomentenbilanz im Bereich der Lockermassenstrecke mit Teilquerschnitt Tunnel Pfänder JV, simplified torque balance at the soft ground section with partial cross-section

verworfen werden, da Maßnahmen zur Verhinderung einer Auflockerung keine Verbesserung brachten.

Auch der Maschinenhersteller konnte für die Steuerungsprobleme der TVM keine plausible Erklärung abgeben, jedoch wurde der Baustelle für den weiteren Vortrieb ein bereits erprobtes Konzept empfohlen. Dabei sollte der Bohrkopf mittels Stahlseilen im oberen Bereich zurückgespannt und somit ein Abtauchen verhindert werden. Die Stahlseile müssten dazu im Portalbereich durch eine massive Auflagerkonstruktion verankert und mit Hydraulikpressen gespannt werden. Diese Maßnahmen hätten mehrere Wochen Vorbereitung und sehr viel Geld gekostet.

Durch die Ausarbeitung verschiedenster Alternativen für den weiteren Vortrieb und die Vorbereitungsarbeiten für den Hebevorgang konnte die Baustelle genügend Informationen sammeln, um ihrerseits Berechnungen anzustellen. Das Ergebnis dieser Berechnungen ergab, dass die Drehmomentenbilanz der TVM aufgrund der Schwerpunktlage in Verbindung mit der vorhandenen Ortsbrustgeometrie negativ und die TBM somit nicht steuerbar war (Bild 6).

Um eine Verbesserung der Drehmomentenbilanz zu erzielen, hat man sich entschlossen, in der bereits ausgebrochenen Kalotte eine Betonauffüllung bis zu einer Höhe von ca. 2,00 m über die gesamte Kalottenbreite herzustellen. Zu hohe Betonfestigkeiten mussten vermieden werden. Dies wurde durch abschnittsweises Betonieren und Auffahren der Strecke erreicht.

Mit diesen Maßnahmen konnte der Vortrieb zur Felslinie im Vollprofil ohne weitere Probleme bewältigt werden. Am 4. November 2009 erfolgte der Durchschlag bei Stat. 6450 m.

this end the cutterhead was to be braced by means of steel cables in its upper area thus preventing sagging. Furthermore the steel cables had to be anchored by means of a massive abutment structure in the portal zone and tensioned with hydraulic jacks. These measures cost several weeks' preparation and a great deal of money.

Through working out all kinds of alternatives for continuing the drive and the preparatory work for the raising process, the construction site was able to collect sufficient information to be able to undertake its own analyses. The outcome of these analyses revealed that the TBM's torque balance was negative on account of the centre of gravity position in conjunction with the existing face geometry so that the TBM could not be steered (Fig. 6).

In order to improve the torque balance it was decided to produce a concrete fill up to a height of roughly 2.00 m over the entire crown width in the previously excavated crown. It was essential to avoid excessively high concrete strengths. This was achieved by concreting and driving the ATP section in stages.

Through these measures it was possible to continue the drive to the rock line as a full-face excavation without any further problems. The breakthrough took place on November 4, 2009 at Stat. 6,450 m.

Jürg Biese, Dipl. Bauing. ETH/SIA,  
Implenia Bau AG, Aarau/CH

Martin Scherer, Dipl. Bauing. ETH/SIA,  
Emch+Berger WSB AG, Cham/CH

Jürg Bernold, Dipl. Bauing. HTL, Implenia Bau AG,  
Aarau/CH

# Herausforderung Allmendtunnel in Luzern

## Deckelbauverfahren unter Überdruck

Der Allmendtunnel sowie die Haltestelle Allmend sind Bestandteil der Tieflegung der Zentralbahn zwischen der Haltestelle Kriens Mattenhof und dem Bahnhof Luzern. Sie werden auf einer Länge von 623 m als Tagbautunnel im Deckelbauverfahren erstellt. Die Tunneldecke wird auf Spundwände betoniert und als Bauhilfsmassnahme gegen die äusseren Einwirkungen wird der Arbeitsraum mit Überdruck beaufschlagt.

## A Challenge: The Allmend Tunnel in Lucerne

### Top Cover Construction Method under Overpressure

The Allmend Tunnel as well as the Allmend train stop constitutes parts of relocating the Zentralbahn at depth between Kriens Mattenhof Halt and Lucerne Station. They are produced by cut-and-cover over a distance of 623 m using the top cover method. The tunnel ceiling is concreted on sheet pile walls and the working area is subjected to overpressure as an ancillary construction measure against external influences.

#### 1 Einleitung

Die meterspurige Zentralbahn erreicht den Luzerner Bahnhof von der Allmend her über das dicht besiedelte Moosmattquartier, wobei 5 schrankengesicherte Strassenübergänge zu queren sind. Um den Anforderungen einer modernen S-Bahn gerecht zu werden, ist die Ausdehnung des Doppelspurabschnitts auf dem 4,7 km langen Abschnitt zwischen dem Süden des Bahnhofs Luzern und Hergiswil Matt notwendig. Die im Rahmen des zukünftigen Angebotskonzepts geplante schrittweise Angebotssteigerung würde zu inakzeptablen Behinderungen für den individuellen und öffentlichen Strassenverkehr führen, weshalb eine Tieflegung der Zentralbahn auf dem Gebiet der Stadt Luzern erforderlich wird. Gleichzeitig wird im Bereich der Allmend eine neue Haltestelle realisiert. Es ergeben sich somit folgende bautechnische Teilabschnitte (Bild 1):

- Stützmauer und Tagbautunnel Geissenstein (L = 120 m resp. 42 m)
- Hubelmatt-Tunnel (bergmännisch L = 516 m)
- Unterirdische Haltestelle Allmend (Tagbau L = 296 m inkl. Lüftungszentrale)
- Allmendtunnel (Tagbau L = 471 m)
- Rampe Mattenhof (L = 144 m).

Da bisher auf dem Streckenabschnitt Luzern–Horw auch Güterverkehr auf Normalspurgleisen abgewickelt wurde, muss ein

#### 1 Introduction

The narrow-gauge Zentralbahn (Central Railway) reaches Lucerne Station from Allmend via the densely populated Moosmatt quarter, which entails passing over 5 level crossings protected by gates. In order to comply with the demands of a modern S-Bahn, it is essential to extend the twin-track stretch over the 4.7 km long section between the southern end of Lucerne Station and Hergiswil Matt. The planned gradual increase in services as foreseen within the scope of the future timetable would lead to unacceptable hindrances for motorists and users of public road transportation services thus requiring the Zentralbahn to be relocated at a lower level within the City of Lucerne. At the same time a new train stop is to be created in the Allmend area. This results in the following structural part-sections (Fig. 1):

- Supporting wall and cut-and-cover tunnel Geissenstein (l = 120 m/42 m)
- Hubelmatt Tunnel (trenchless l = 516 m)
- Underground stop Allmend (cut-and-cover l = 296 m incl. ventilation centre)
- Allmend Tunnel (cut-and-cover l = 471 m)
- Mattenhof ramp (l = 144 m).

As up till now goods trains have also run on standard track gauges on the Lucerne – Horw rail route, one track of the

## Le défi du tunnel de l'Allmend à Lucerne

Méthode d'excavation sous couverture béton, avec mise en surpression

Le tunnel de l'Allmend ainsi que l'arrêt Allmend font partie intégrante de la mise en tunnel du Zentralbahn entre l'arrêt de Kriens Mattenhof et la gare de Lucerne. Ils sont réalisés à ciel ouvert sur une longueur de 623 m par excavation sous couverture en béton. La couverture du tunnel sera bétonnée sur palplanches et pour faciliter les travaux de construction et pour la protection contre les influences extérieures, l'espace de travail sera mis en surpression.

## La sfida della galleria dell'Allmend di Lucerna

Metodo di scavo sotto capertura in calcestruzzo in sovrappressione

La galleria dell'Allmend e la fermata di Allmend rientrano nell'interramento della Zentralbahn tra la fermata di Kriens Mattenhof e la stazione di Lucerna. Su una lunghezza di 623 m vengono eseguite a cielo aperto con il metodo dello scavo sotto capertura in calcestruzzo. La soletta di capertura della galleria viene gettata sopra le palancole e, come misura contro l'azione di agenti esterni, si crea una sovrappressione nell'ambiente di lavoro.

Gleis des Doppelspurausbau meterspurig und ein Gleis als Dreischienengleis für die kombinierte Nutzung ausgelegt werden.

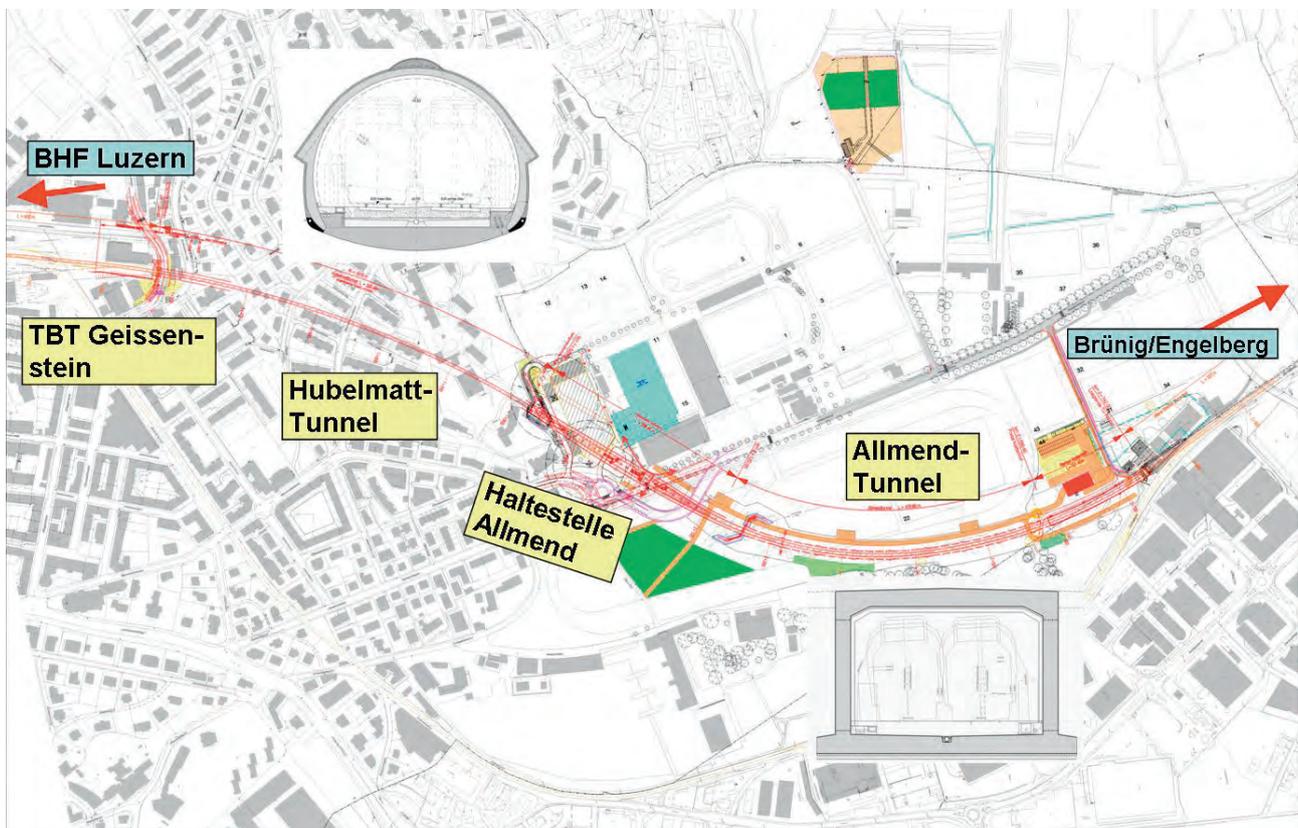
twin-track development has to be narrow-gauge and one track designed as a 3-rail track for combined services.

## 2 Grundlage 2.1 Ausschreibung

Bauherr und Besteller der Doppelspur und Tieflegung Zentralbahn ist der Kanton Luzern, vertreten durch die Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (vif). Eigentümerin des Neubaus ist die zb Zentralbahn AG. Das Projekt wurde als

## 2 Basic Principle 2.1 Tendering

The Canton of Zurich is the client commissioning the twin-track and relocating the Zentralbahn at a lower level; it is represented by the Transport and Infrastructure Office (vif). The zb Zentralbahn AG owns the new development. Tenders



1 Übersicht Mattenhof bis Geissenstein  
Overview of Mattenhof to Geissenstein

Totalunternehmer-Auftrag ausgeschrieben. Der Unternehmer hat sämtliche Leistungen für den Rohbau inkl. notwendiger Gewerke (Projektierung und Ausführung) mit Ausnahme der bahntechnischen Anlagen und Zentralausrüstungen zu erbringen. Das vom Bauherrn erarbeitete Auflageprojekt musste im Rahmen der weiteren Projektierung und Realisierung von der TU bis zur Ausführungsreife gebracht werden.

Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf den Allmendtunnel sowie einen Teil der Haltestelle Allmend, welche im Deckelbauverfahren mit Überdruck erstellt werden.

### 2.2 Baugrund Allmendtunnel

#### 2.2.1 Geologie

Über der im Bereich der unterirdischen Haltestelle Allmend relativ steil abfallenden Felsoberfläche liegen dichte bis sehr dichte Moränenablagerungen. Darüber liegen siltig-sandige Hangsedimente, welche sich gegen die Allmend hin mit 10 bis 15 m mächtigen, weichen, locker bis sehr locker gelagerten, nacheiszeitlichen Seeablagerungen und Verlandungsbildungen verfangern. Diese bestehen aus tonig-sandigen Silten und stark siltigen Feinsanden mit vielen organischen Beimengungen und dünnen Torfschichten. In den Seeablagerungen finden sich dünne Kies-Sand-Schichten als Zeugen grosser Überschwemmungen des Krienbach-Systems. Darunter liegen späteiszeitliche Schwemmfächerablagerungen in mitteldichter bis sehr dichter Lagerung (Bild 2).

#### 2.2.2 Hydrogeologie

Auf dem Gebiet der Luzerner Allmend sind 2 übereinander liegende, deutlich getrennte Grundwasser-Stockwerke bekannt. Ein oberes Grundwasserstockwerk liegt in Überschwemmungssedimenten, Seeablagerungen und Verlandungsbildungen, dessen Grundwasser in wenig mächtigen Sand-Kies-Zwischenschichten von geringer Ausdehnung zirkuliert. Der sehr variable Druckspiegel ist teilweise frei, teils liegen aber auch gespannte bis artesisch gespannte Verhältnisse vor. In den unterhalb 14 bis 18 m unter Terrain anstehenden Ablagerungen späteiszeitlicher Schwemmfächer liegt ein unteres gespanntes Grundwasser-Stockwerk von grosser lateraler Ausdehnung vor. Die weichen und locker gelagerten Verlandungsbildungen und Seeablagerungen sowie die gespannten Grundwasserhältnisse bilden für einen Lockergesteinstunnel einen sehr anspruchsvollen Baugrund. Der Tunnel liegt über seine gesamte Länge in den weichen und setzungsempfindlichen Verlandungsbildungen und vollständig im Grundwasser. Besondere Beachtung verdienen deshalb die zu gewährleistende Stabilität der tiefen Baugruben, die Risiken von hydraulischem Grundbruch sowie die Setzungsproblematik.

### 2.3 Projekt

Der Tagbautunnel wird als überschüttetes Rahmenbauwerk ausgebildet, dessen Bauteildicken sich aus den geologischen,

for the project were invited in the form of a turnkey contract. The contractor must provide all services for the roughwork incl. the necessary performances (planning and execution) with the exception of the rail technical equipment and central installations. The total contractor is obliged to plan and execute the project in accordance with the client's wishes until the turnkey stage.

The following report is restricted to the Allmend Tunnel as well as a part of the Allmend rail stop, which are being produced by the top cover method under overpressure.

### 2.2 Allmend Tunnel Subsurface

#### 2.2.1 Geology

Thick to extremely thick moraine deposits are located above the relatively steeply dipping rock surface in the vicinity of the Allmend stop. Silty-sandy sediments are to be found on top, which towards the Allmend transform into 10 to 15 m thick, soft, loosely to very loosely bedded, post-glacial lake deposits and sedimentary fills. These consist of clayey-sandy silts and highly silty fine sands with many organic additions and thin layers of peat. Thin gravel-sand layers are to be found in the lake deposits evidencing major flooding of the Krienbach system. Underneath there are late-glacial medium-dense to extremely dense alluvial fan deposits (Fig. 2).



2 Baugrund Allmend mit typischen Schichtungen  
Allmend subsoil with typical layers

#### 2.2.2 Hydrogeology

Two clearly separated groundwater levels are known in the Lucerne Allmend area. An upper groundwater level lies in the flood sediments, lake deposits and sedimentary fills, whose groundwater circulates in relatively shallow, fairly confined intermediate layers of sand and gravel. The extremely variable pressure level is partly free, however in some cases confined to artesian conditions prevail. In the deposits

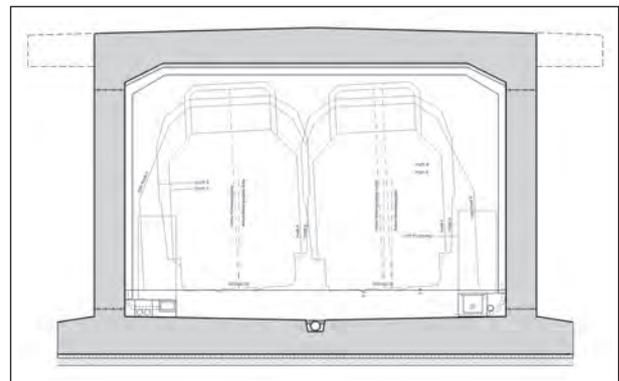
hydrogeologischen und den in der Nutzungsvereinbarung vorgegebenen Randbedingungen ergeben. Die Bodenplatte wird beidseitig um 1,0 m verbreitert, um die Auftriebsicherheit zu gewährleisten. Der Tunnel ist dicht auszubilden und alle 50 m sind beidseitig Personenschutznischen vorgesehen. Um die Durchflusskapazität der Verlandungsbildungen infolge des Tagbautunnels nicht zu reduzieren, werden unterhalb und seitlich des Tunnels Sickerstränge erstellt (Bild 3).

### 2.3.1 Baugrube Allmendtunnel

Als Baugrubenabschluss war im Auflageprojekt eine Spundwand mit 3 Spriesslagen aus Stahl und einer Spriessplatte aus Beton vorgesehen. Am Spundwandfuss wäre dabei zur Verhinderung eines hydraulischen Grundbruches eine 1,5 m dicke Dichtsohle, hergestellt im Jetting-Verfahren, geplant gewesen. Die Bemessung des Baugrubenabschlusses auf den Grundwasserdruck sowie gegen das Aufschwimmen erforderten Spundwandlängen von 22,50 m. Zur Fassung des anfallenden Sickerwassers und des Restwassers waren innerhalb der Baugrube Filterrohre und zur Entwässerung des Aushubmaterials Vacuumbrunnen vorgesehen.

### 2.3.2 Bauvorgang

Das Auflageprojekt sah im vordersten Bereich die Erstellung der Baugrube und im rückwärtigen Bereich die Betonage und Einschüttung des Tagbautunnels vor. Dies hätte eine beidseitige Erschliessung der Baugrube zur Folge gehabt, bei der nach dem Einbringen der Spundwände und der Dichtsohle von den Baupisten aus der Aushub sowie das Erstellen der Spriesslagen vorgesehen war. Nach Erstellung der Bodenplatte und Wände sowie dem Rückbau der Spriesslagen wäre mit der Hinterfüllung begonnen worden. Beim Rückzug der Spundwände war im Bereich der untersten 2 m Verlandungssedimente ein Ausinjizieren der Ziehfugen vorgesehen (Bilder 4 und 5).

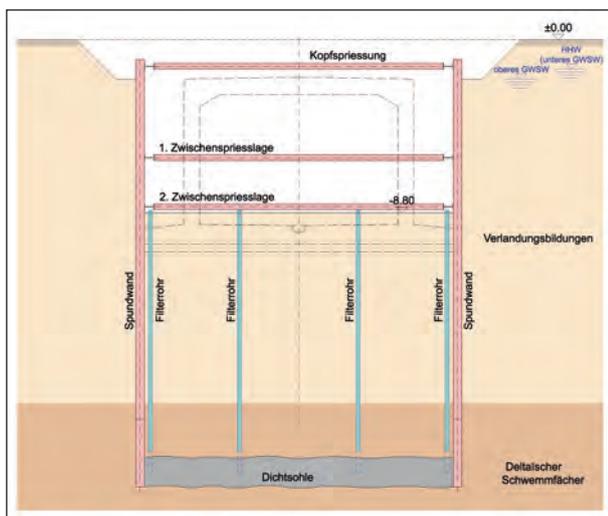


3 Normalprofil Allmend-Tunnel  
Allmend Tunnel standard cross-section

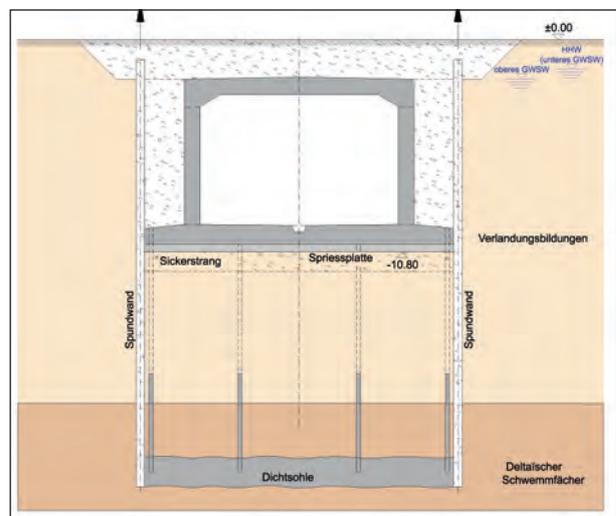
of late-glacial alluvial fans located some 14 to 18 m beneath the ground surface a large laterally extended confined groundwater level is to be found. The soft and loosely bedded sedimentary fills and lake deposits as well as the confined groundwater conditions represent extremely sophisticated subsoil for a tunnel in soft ground. Over its entire length the tunnel is located in the soft and settlement-prone sedimentary fills and completely in groundwater. As a consequence particular attention must be paid to the necessary stability of the deep construction pits, risks of hydraulic fracture as well as settlement problems.

### 2.3 Project

The cut-and-cover tunnel takes the form of a covered frame structure whose dimensions result from the geological, hydrogeological conditions as well as those contained in the general conditions contained in the utilisation agreement. The base slab is extended by 1.0 m at each side in order to safeguard against uplift. The tunnel is to be produced in watertight form and every 50 m recesses providing shelter



4 Aushub mit Spriessung  
Excavation with bracing



5 Bauwerk vor Ziehen der Spundwände  
Structure before extracting the sheet pile walls

### 3 Ausführungsprojekt der TU IZL

#### 3.1 Organisation

Die Implenia Zentralbahn Luzern (IZL) tritt gegenüber dem Bauherrn (vif) als Totalunternehmung auf und hat als Subunternehmer die Ingenieurgemeinschaft Tieflegung Zentralbahn (Emch+Berger WSB AG, IUB Ingenieur-Unternehmung AG sowie Bucher+Dillier Ingenieur Unternehmung AG als Sub-Planer) mit der Planung und Projektierung des Rohbaus beauftragt.

#### 3.2 Evaluation der Bestvariante

Auf Basis von bereits im Perimeter Allmend ausgeführten Arbeiten wurde das Bauvorhaben unter den verschiedensten Aspekten der Wirtschaftlichkeit und Umweltauswirkungen optimiert. Dazu gehörte auch die Evaluation des geeigneten Bauverfahrens für den Allmendtunnel. In einem Variantenvergleich wurde eine optimierte „Amtsvariante“ mit 2 Varianten verglichen, welche beide das Deckelbauverfahren unter Druckluft vorsahen, wobei der Baugrubenabschluss mit Spundwänden und Schlitzwänden betrachtet wurde. Die 3 Ausführungs-Varianten wurden hinsichtlich Preis, Technischer Realisierbarkeit, Termingewährleistung, Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit miteinander verglichen. Als Bestvariante wurde das Deckelbauverfahren mit Druckluft und Spundwänden ermittelt, wie es nachfolgend im Detail beschrieben wird.

In den folgenden 3 Kapiteln wird das Ausführungsprojekt der TU IZL umschrieben und auf die Herausforderungen in der Projektierungs- sowie der AVOR-Phase eingegangen.

#### 3.3 Baugrubenkonzept

Der Allmendtunnel sowie die südliche Hälfte der Haltestelle Allmend werden auf einer Länge von 623 m in Deckelbauweise unter Überdruck erstellt. Der Baugrubenabschluss besteht aus einer relativ „kurzen“ Spundwand, auf welcher die Tunneldecke betoniert wird. Die Spundwände werden nach Fertigstellung des Druckluftverfahrens wieder gezogen und weisen eine Länge von 15,5 m auf. Die Spriessung der Baugrube wird während des Aushubs durch die Tunneldecke sowie den Überdruck und später durch die betonierete Bodenplatte übernommen. Für den Aushub unter der Tunneldecke ist ein Überdruck von 0,57 bis 0,71 bar (Bereich Aufweitung) erforderlich. Der untere Grundwasserspiegel wird mittels Grossfilterbrunnen auf Niveau Mittelwasserstand gehalten. Die Voraushubböschung wird mittels Wellpoint-Filter gesichert. Zudem sind 2 innenliegende Wellpoint-Filterstränge zur vorgängigen Entwässerung des Aushubmaterials vorgesehen. Zur Gewährleistung einer hydrostatischen Druckverteilung im oberen Grundwasserstockwerk werden beidseitig der Baugrube Vertikaldrainagen angeordnet, welche in Form von WP-Filtern ( $a = 3,0$  m) mit einer Bohrtiefe von 7,0 m und mit 14 m tiefen Piezometern in einem Abstand von 10 m ausgeführt

for people are to be set up at both sides. Seepage drains are to be produced beneath and at the sides of the tunnel in order to ensure that the flow capacity of the sedimentary fills is not reduced as a result of the cut-and-cover tunnel (Fig. 3).

#### 2.3.1 Allmend Tunnel Construction Pit

The outline project foresees a sheet pile wall with 3 bracing layers made of steel and a bracing slab made of concrete for securing the construction pit. In this connection a 1.5 m thick sealing base produced by the jet grouting method was planned at the foot of the sheet pile wall in order to prevent a hydraulic fracture. Dimensioning the construction pit base against groundwater pressure as well as uplift called for 22.50 m long sheet pile walls. Filter pipes were foreseen to collect the accumulating seepage water and residual water and vacuum wells for draining the excavated material.

#### 2.3.2 Construction Process

The outline project called for the production of the construction pit in the front sector and concreting and filling the cut-and-cover tunnel in the rear section. This would have meant opening up the pit from both sides, which would have meant producing the excavation as well as the bracing layers once the sheet pile walls and the sealing base were installed from the construction road. After completing the base slab and walls as well as retrieving the bracing layers backfilling would have commenced. After retracting the sheet pile walls the intention was to grout the joints at the lowest 2 m of the sedimentary fills (Figs. 4 and 5).

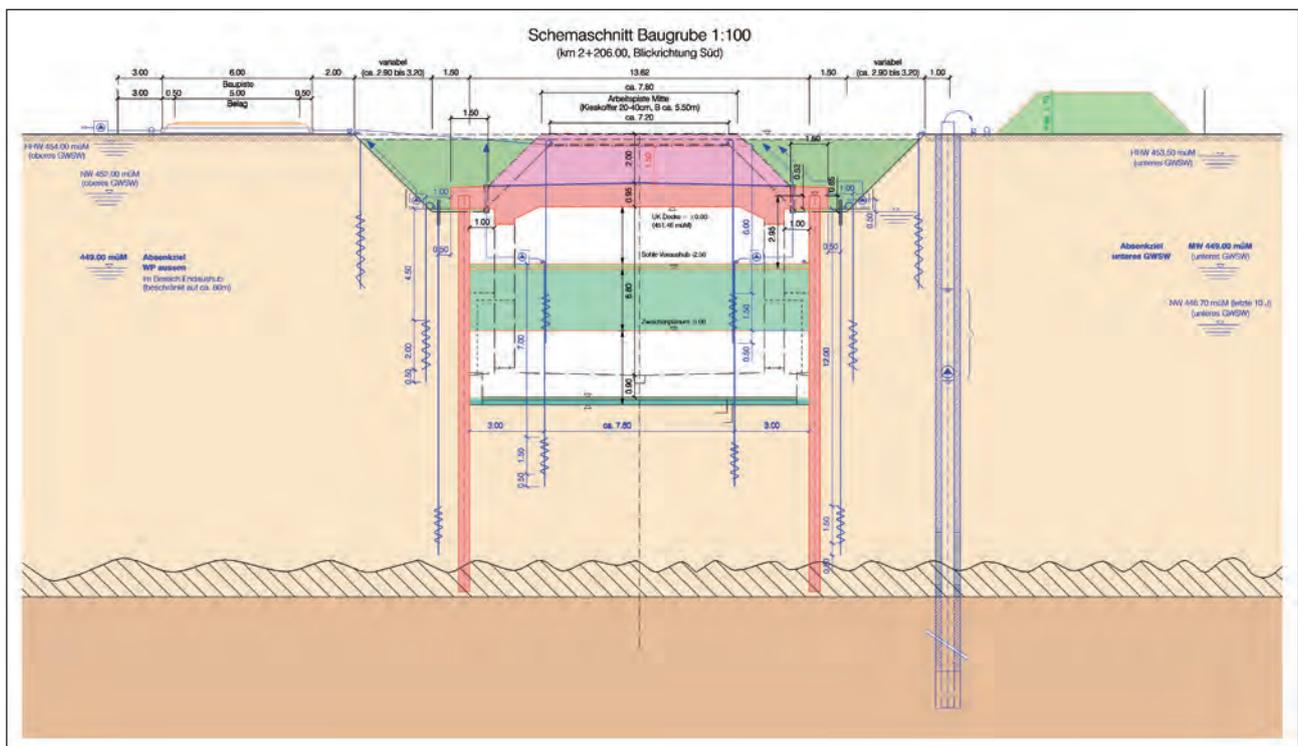
### 3 The Project executed by TU IZL

#### 3.1 Organisation

The Implenia Zentralbahn Luzern (IZL) functions as the total contractor (TU) vis-à-vis the client (vif) and has commissioned the Ingenieurgemeinschaft Tieflegung Zentralbahn (Emch+Berger WSB AG, IUB Ingenieur-Unternehmung AG as well as Bucher+Diller Ingenieur Unternehmung AG as sub-planners) with the planning and designing of the roughwork.

#### 3.2 Evaluation of the best Alternative

On the basis of work already carried out on the perimeter of Allmend the construction scheme was optimised taking a whole spectrum of aspects relating to economy and environmental influences into consideration. This also included the evaluation of the suitable construction method for the Allmend Tunnel. In a comparison of alternatives an optimised “official variant” was compared with 2 alternatives, both of which foresaw applying the top cover method under compressed air, with the construction pit being closed with sheet pile walls and diaphragm walls. The 3 alternatives were compared with one another in terms of price, technical feasibility, adhering to deadlines, industrial safety and environmental



6 Schemaschnitt Baugrube Allmendtunnel (Regelquerschnitt)  
Schematic section of the Allmend Tunnel construction pit (standard cross-section)

werden. Diese könnten im Bedarfsfall auch zu Wellpoint-Filtern umgerüstet werden (Bild 6).

Der Aushub bis auf die Endaushubsohle erfolgt abgestuft, wobei direkt nach Erreichen der Aushubsohle in Etappenlängen von 10 m eine Sickerschicht und eine 20 cm mächtige Magerbetonsohle eingebaut wird. Zweimal pro Woche werden 10 m Bodenplatte betoniert, welche die Spundwände als Spriessplatte stützt. Im Falle eines Druckabfalls sind damit nur die Aushubsohle und die Spundwände zwischen Magerbetonsohle und Aushub-Zwischensohle gefährdet. In Längsrichtung wird der Abschnitt alle 90 m mittels Querschotts in Druckluft-Abschnitte unterteilt, um die massgeblichen Leckagen, und damit den erforderlichen Luftbedarf zu minimieren. Die Querschotts sind als Dichtwand ausgebildet und als rückwärtige Kammerbegrenzung wird zwischen der nachgezogenen Betonwand und der Spundwand alle 50 m eine Abschottung betoniert.

### 3.4 Baumethode

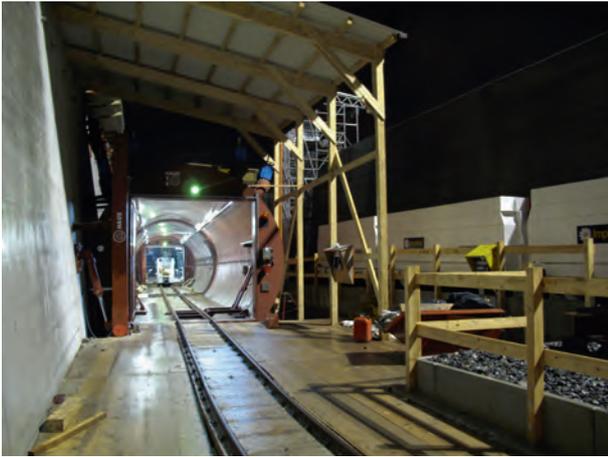
Speziell an der Baumethode Deckelbauweise unter Überdruck ist, dass der seitliche Baugrubenabschluss durch Spundwände sichergestellt wird, und nicht, wie bereits mehrmals durchgeführt, durch Schlitzwände oder eine überschnittene Bohrpfehlwand. Als Bauhilfsmassnahme gegen die äusseren Einwirkungen (Erddruck, Wasserdruck etc.) wird dabei ein entsprechender Überdruck in der Arbeitskammer erzeugt. Diese Baumethode wurde gewählt, damit im Gegensatz zum

compatibility. The top cover method with compressed air and sheet pile walls was determined to be the best variant, as is described in detail as follows.

In the following 3 chapters the total contractor IZL's outline project is described and the challenges involved during the design as well as the work preparation phase dealt with.

### 3.3 Construction Pit Concept

The Allmend Tunnel as well as the southern half of the Allmend rail stop is produced by the top cover method under overpressure over a length of 623 m. The construction pit closure consists of a relatively "short" sheet pile wall, upon which the tunnel ceiling is concreted. After completion of the compressed air method the sheet pile walls, which are 15.5 m long, are removed again. Bracing of the construction pit during the excavation is taken over by the tunnel ceiling as well as the overpressure and subsequently by the concreted base slab. An overpressure of 0.57 to 0.71 bar (enlargement sector) is required under the tunnel ceiling for the excavation. The lower groundwater table is maintained at the average water table level by means of large filter wells. The advance excavated embankment is secured by means of wellpoint filters. In addition 2 internal wellpoint filter drains are foreseen for the prior drainage of the excavated material. Vertical drainages are set up at either side of the construction pit to provide hydrostatic pressure distribution in the upper groundwater table, which are executed as WP filters (a = 3.0 m) with



7 Materialschleuse  
Material lock



8 Personenschleuse  
Man lock

„Amtsvorschlag“ keine Bauhilfsmassnahmen im Grundwasser verbleiben. Die für das Druckluftverfahren erforderlichen Material- und Personenschleusen werden, wie auch die Materialumladestelle Gleisbetrieb-Lkw, in der Rampe Mattenhof erstellt. Die eigentlichen Druckluftinstallationen (Kompressoren, Atemluftkühlung, Steuerung) werden in einer eigens dafür gestellten Halle westlich der Rampe Mattenhof untergebracht (Bilder 7 bis 9).

### 3.5 Bauablauf unter Überdruck

Die Tunneldecke wird vorausseilend im Wochentakt in 20-m-Etappen betoniert. Sie dient als obere Begrenzung der späteren Arbeitskammer und als horizontale Spreiessung der seitlichen Spundwand (Bild 10).

Der Aushub ab Niveau Vorausshub bis zum Endaushub erfolgt unter Druckluft. Er wird mit 2 eigens für die Baustelle konzipierten Elektrobaggern auf ein Verladeband, welches die Sohlbaustelle überspannt, in den bereitstehenden Aushubzug geschüttet (Bild 11).

Der Abtransport des Aushubmaterials sowie die Materialanlieferungen erfolgen per Gleisbetrieb, wobei die Umladestelle ausserhalb der Schleuse in der fertig gestellten Rampe eingerichtet wird (Bild 9). Das Einbringen des Schotterbettes, des Unterlagbetons sowie des Sohlen- und Wandbetons erfolgt über Rohrschleusen in der Tunneldecke von aussen (Bild 12).

Die Grafik in Bild 13 stellt in einem Längsschnitt den Bauablauf vor Erstellung der nachgezogenen Wände dar.

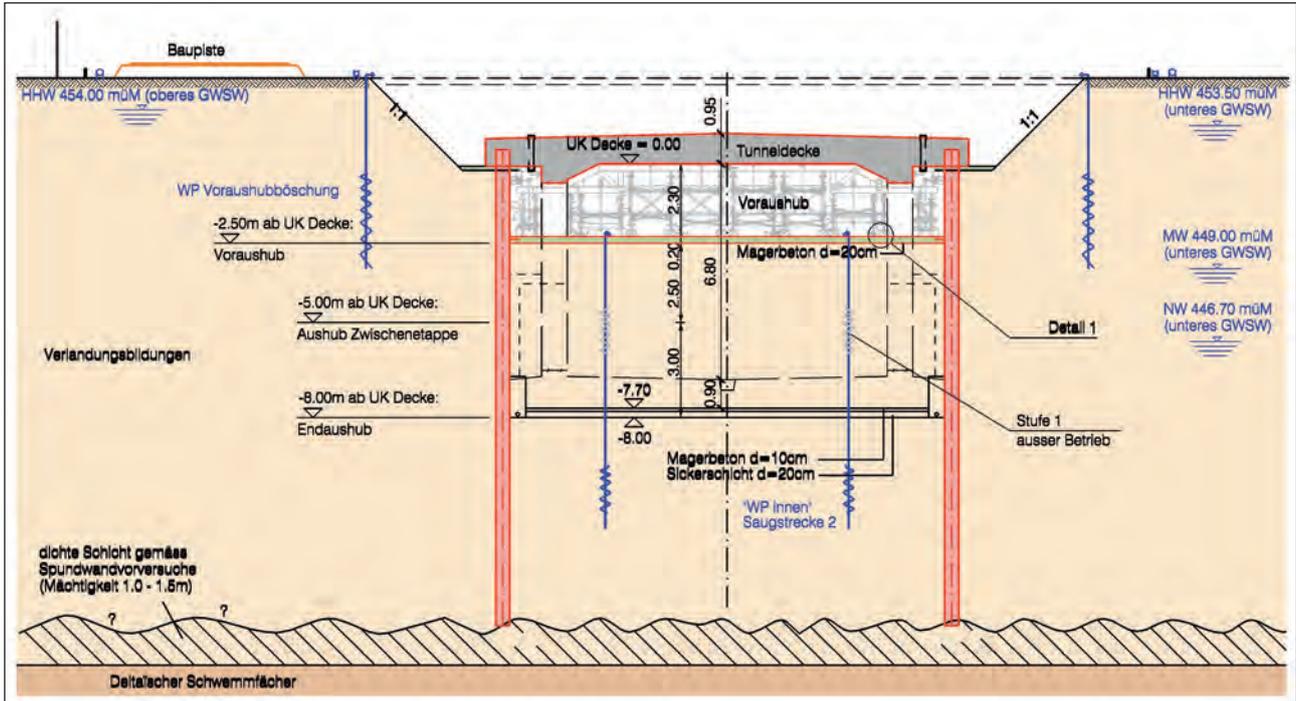
Die eigentliche Phase unter Überdruck dauert voraussichtlich rd. 15 Monate, wobei in einem zweischichtigen Wochenbetrieb von 6 bis 22 Uhr gearbeitet werden darf. Die Druckluftproduktion muss selbstverständlich während 7 Tagen pro Woche und 24 Stunden am Tag aufrechterhalten



9 Rampe Mattenhof mit Materialschleuse und Kompressorenhalle  
Mattenhof ramp with material lock and compressor hall

a drilled depth of 7.0 m and with 14 m deep piezometers at 10 m gaps. In case of need these can also be converted to act as wellpoint filters (Fig. 6).

The excavation down to the final base level takes place in stages with a seepage layer and a 20 cm thick lean concrete base being built in at 10 m long stage lengths once the excavation base is reached. Twice a week 10 m of base slab is concreted, which supports the sheet pile walls as a bracing slab. Should the pressure drop then only the excavation base and the sheet pile walls between the lean concrete base and the intermediate base of the excavation are endangered. In a longitudinal direction the section is subdivided into compressed air sectors by means of bulkheads in order to minimise any substantial leaks and in turn the necessary air requirement. The bulkheads take the form of sealing walls and a partition is concreted every 50 m between the incorporated concrete wall and the sheet pile wall as a rearward boundary.

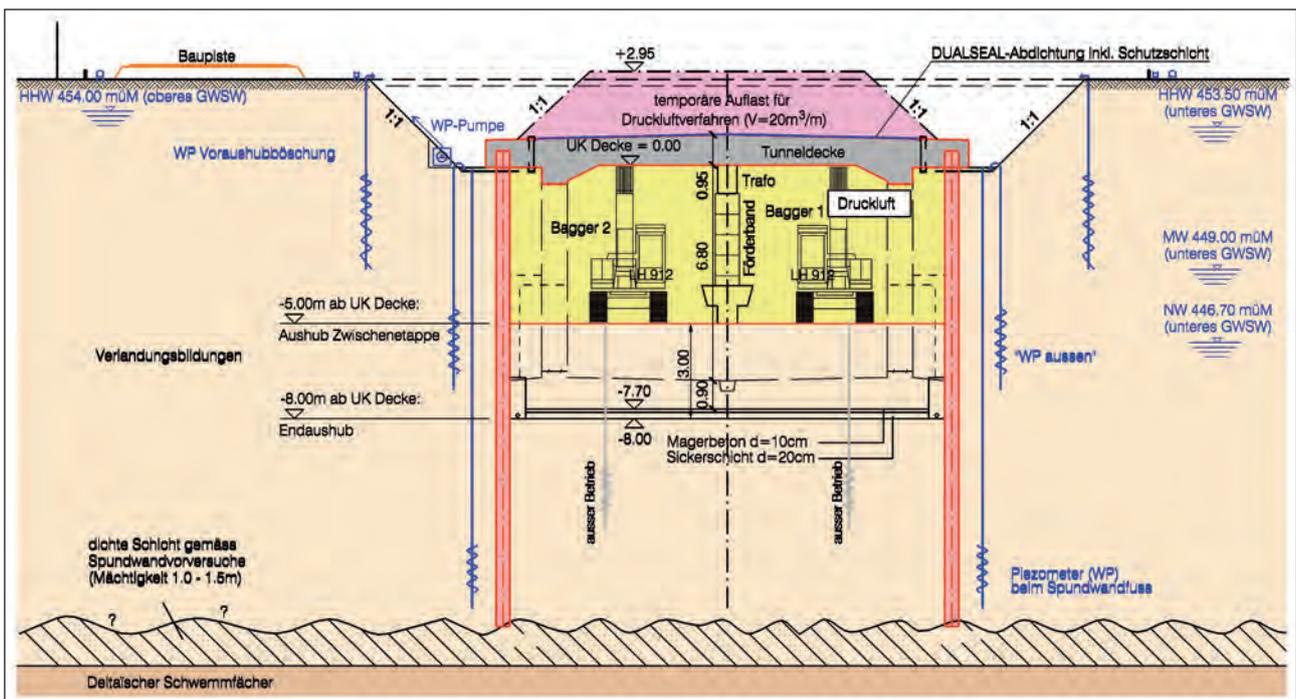


10 Schalung für Tunneldecke auf Niveau Voraushub und Magerbetonsohle  
Formwork for tunnel ceiling at pre-excavation level and lean concrete base

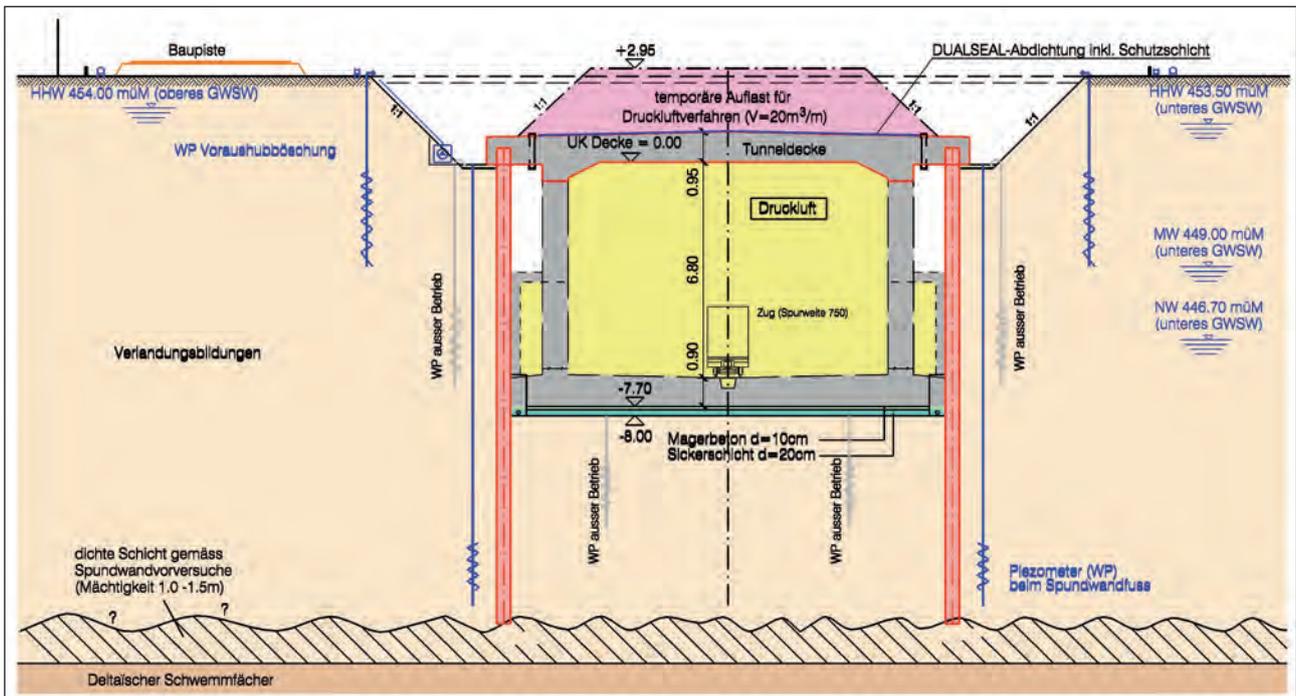
werden. Der Innenausbau des Tagbautunnels und der Haltestelle wird über die Rampe Mattenhof erschlossen und im Laufe der Abschlussarbeiten ohne Überdruck ausgeführt.

### 3.4 Construction Method

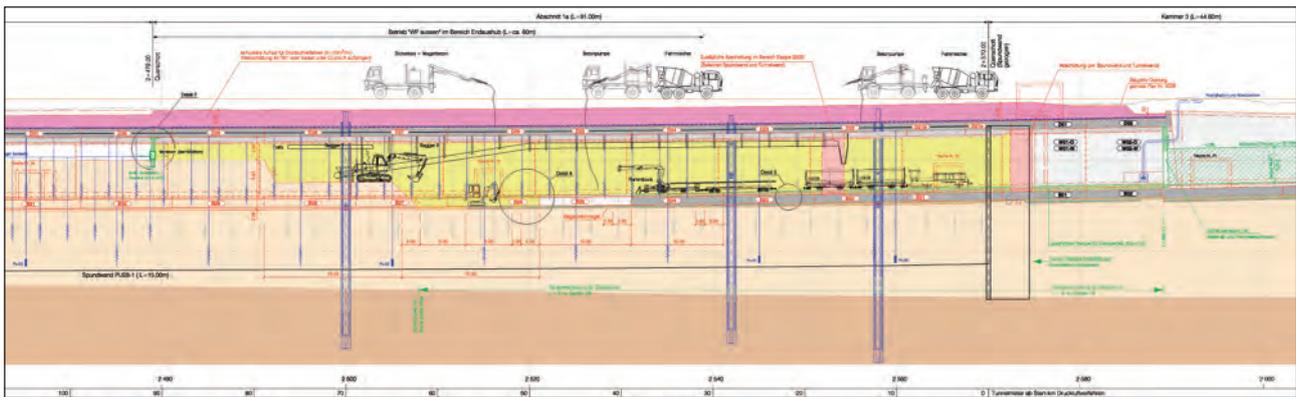
The special feature about the top cover construction method under overpressure is that the sides of the construction pit



11 Aushub mit Elektrobaggern bis Endaushubniveau  
Excavation with electric-powered excavators to final level



12 Fertig erstellter Tunnelquerschnitt unter Druckluft  
Completed tunnel cross-section under compressed air



13 Längsschnitt Bauablauf 1. Druckluftabschnitt (Querschott Front bis Schleusenwand)  
Longitudinal section of construction cycle for 1st compressed air section (cross-section from front to lock wall)

## 4 Herausforderungen Planung/Projektierung (IG)

Bereits im Rahmen des Bauprojekts mussten komplexe verfahrenstechnische und baustatische Problemstellungen erkannt und gelöst werden. Dabei stellte neben dem Bauverfahren auch der Baugrund interessante Aufgaben an alle Beteiligten.

### 4.1 Geologisch-hydrogeologische Herausforderungen

Die in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 beschriebene Geologie und Hydrogeologie bedeuten für die Dimensionierung dieses komplexen Bauwerks, dass in jedem Querschnitt verschie-

are closed off by sheet pile walls and not as has already been accomplished on several occasions by diaphragm walls or overcut drilled pile walls. In the process corresponding overpressure is produced in the working chamber as an ancillary measure against external influences (earth pressure, water pressure etc.). This construction method was selected so that in contrast to the "official proposal" no ancillary measures remain in the groundwater. The material and man locks necessary for the compressed air method are produced at the Mattenhof ramp just like the rail to truck material transfer point. The actual compressed air installations (compressors, breathing air cooling, control) are housed in a hall to the west of the Mattenhof ramp specially set up for the purpose (Figs. 7 to 9).

denste unabhängige Druckpegel und Verhältnisse auftreten können, welche betreffend Setzungsproblematik, Hydrogeologie sowie Tragfähigkeit des anstehenden Bodens zu berücksichtigen waren. Der Einfluss der unterhalb der Seeablagerungen liegenden stark durchlässigen, kiesig-sandigen Schichten der späteiszeitlichen Schwemmfächerablagerungen war dagegen vergleichsweise einfach zu fassen.

#### 4.2 Setzungsproblematik

Um die Auswirkungen der Eingriffe in den Grundwasserhaushalt (insbesondere Setzungen) rechtzeitig zu erkennen und geeignete Gegenmassnahmen bereit zu halten, wurden bereits frühzeitig Absenkversuche durchgeführt. Mit Wellpoint-Anlagen wurden die Durchlässigkeiten in den oberen Grundwasserträgern und mit Grossfilterbrunnen die unteren Grundwasserträger beprobt. Das dazu eingerichtete Netz von Piezometern lieferte viele erwartete und einige unerwartete Ergebnisse. Sehr deutlich konnten die erwarteten unterschiedlichen, nicht kommunizierenden Druckhorizonte und die kleinräumigen WP-Absenkungen in den Seeablagerungen, sowie die einfache und klare Absenkung des Horizonts in den Schwemmfächern aufgezeigt werden. Nicht erwartet wurden lokale Erscheinungen, wo wahrscheinlich aufgrund früherer Bautätigkeit die unterschiedlichen Grundwasserspiegel miteinander verbunden wurden oder wo durch den früheren Werkleitungsbau ungewollte Drainagen entstanden sind (Bild 14).

#### 3.5 Construction Process under Overpressure

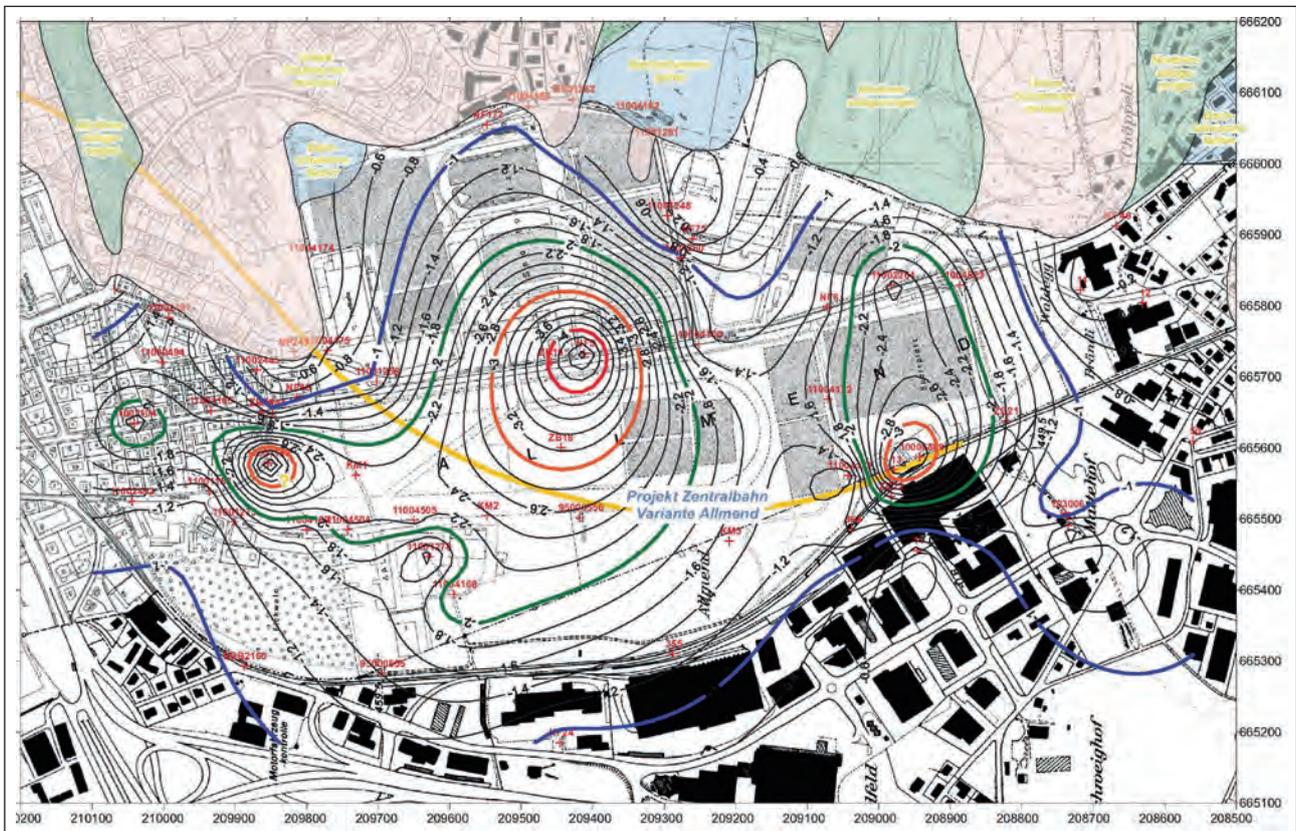
The tunnel ceiling is concreted in 20 m stages in weekly cycles in advance. It serves as the uppermost limit for the subsequent working chamber and as horizontal bracing for the lateral sheet pile wall (Fig. 10).

Excavation from the advance level until the final phase takes place under compressed air. Spoil is transferred on to a loading belt, which bridges the base site, by means of 2 electric excavators specially designed for the construction site and then to the awaiting spoil train (Fig. 11).

The spoil and supplies of material are transported by rail, with the transfer point set up at the completed ramp outside the lock (Fig. 9). The laying of the ballast bed, the underlying concrete as well as the base and wall concrete takes place from the outside via pipes in the tunnel ceiling (Fig. 12).

The diagram in Fig. 13 presents in longitudinal section the construction process prior to production of the incorporated walls.

The actual phase under overpressure is probably due to last some 15 months with work progressing in a 2-shift weekly operation from 6 am till 10 pm. Naturally compressed air must be produced continuously 7 days per week and 24 hours per day. The internal furnishing of the cut-and-cover



14 Situation mit Isolinen der durchschnittlichen Setzungen in mm pro Jahr in einer Darstellung der Keller+Lorenz AG  
 Situation with isolines for the average annual settlements in mm in a presentation by Keller+Lorenz AG

Baulich und betrieblich wurden dagegen folgende Massnahmen ergriffen:

- Abschnittsweise Vorerkundung der Wasserverhältnisse
- Dichtes Überwachungsnetz mit Online-Überwachung und Telefonalarm
- Geodätische Überwachung der Terrainoberflächen mit weit entfernten Fixpunkten
- Gezielte Wasserrückgaben in die wasserführenden Schichten des oberen GWSP
- Abdichtung von alten Werkleitungen
- Langsame Homogenisierung der Grundwasserspiegel hinter dem Tunnel mit einem dichten Netz von vertikalen Drainagen in den oberen Druckspiegeln
- Mit dem aufgebauten Monitoring und dem dichten Netz von Grossfilterbrunnen kann der untere Grundwasserspiegel mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern gesteuert und auf dem durchschnittlichen Wasserstand gehalten werden.

### 4.3 Tragfähigkeit des anstehenden Bodens

Eine grosse Herausforderung stellten die verschiedenen, statisch relevanten und sehr unterschiedlichen Bauzustände dar. Durch die Bauweise mit Überdruck, wo der Luftdruck als steuerbares Widerstandselement einerseits stabilisierend, andererseits als Einwirkung auftritt, ergaben sich die unterschiedlichsten Belastungszustände mit allen möglichen Kombinationen von Einwirkungen und Sicherheitsbeiwerten. Als sehr aufwändig erwiesen sich die Statik und Sicherheitsüberlegungen bezüglich des vertikalen Gleichgewichts. In diese Vertikalbilanz flossen alle Erkenntnisse aus den durchgeführten Spundwandbelastungsversuchen, aus den Modellberechnungen mit negativen Erddruckneigungswinkeln und aus den Erfahrungen anderer Überdruckbaustellen ein.

#### 4.3.1 Spundwandbelastungsversuche

Vor der Bauausführung wurden in 4 Messreihen an je 4 Doppelbohlen dynamische Tragfähigkeitsprüfungen durchgeführt, woraus als Ergebnis die Verteilung des Mantelwiderstandes entlang des Pfahlschaftes, der Spitzenwiderstand und die Last-Setzungs-Kurve unter statischer Belastung ermittelt wurden. Die Ergebnisse zeigten eine sehr unterschiedliche Verteilung der Mantelwiderstandskräfte, minimalste Spitzenwiderstände und eine sehr hohe Zunahme der Widerstände in Funktion der Zeit.

#### 4.3.2 Modellberechnungen mit negativen Erddruckneigungswinkeln

Im gewählten Bauverfahren mit der Auflagerung der Decke auf der Spundwand wird der Baugrubenabschluss neben der horizontalen Belastung wesentlich durch Zug und Druckkräfte beeinflusst. Dazu wurden die publizierten Erkenntnisse der EAB in der Modellbildung berücksichtigt (Bild 15).

tunnel and the rail stop will be executed via the Mattenhof ramp and without overpressure in its final stages.

## 4 Challenges for Planning/Designing (IG)

Complex problem complexes relating to technical applications and statics had to be identified and resolved within the scope of the construction project. In addition to the construction method the subsurface also provided interesting tasks for all those involved.

### 4.1 Geological-hydrogeological Challenges

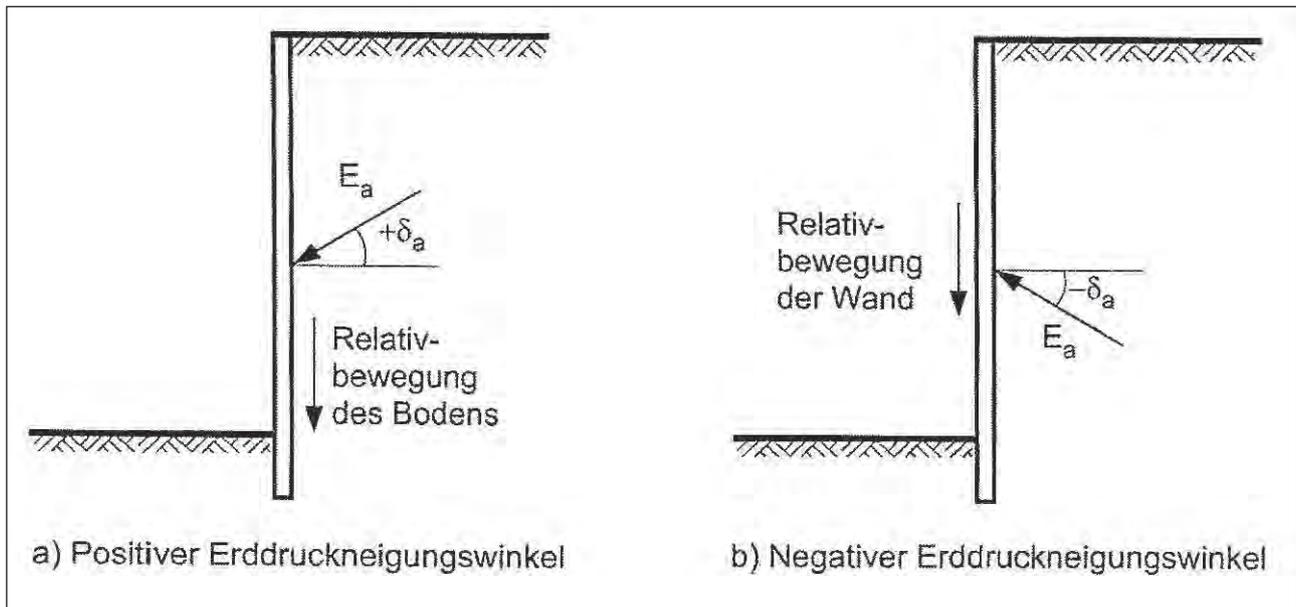
The geology and hydrogeology described in Sections 2.2.1 and 2.2.2 signify for dimensioning this complex structure that in each cross-section all kinds of independent pressure levels and conditions can occur, which had to be taken into consideration with respect to settlement problems, hydrogeology and bearing capacity of the prevailing soil. The influence of the highly permeable, gravelly-sandy layers of late-glacial alluvial fan deposits below the lake deposits was on the other hand relatively easy to predict.

### 4.2 Settlement Problems

In order to identify the effects of intervening in the groundwater table (especially settlements) and have suitable counter-measures available, sinking tests were carried out at an early stage. The permeabilities in the upper groundwater carriers were investigated employing wellpoint units and large filter wells used for the lower groundwater carriers. The net of piezometers set up towards this end supplied many expected as well as some unexpected results. The expected differing, non-communicating pressure levels and the small WP reductions in the lake deposits as well as the straightforward and clear lowering of the level of the alluvial fan deposits could be very lucidly displayed. Unexpected were local phenomena, where probably on account of earlier construction activity the various groundwater levels were connected with each other or undesired drainage systems had resulted through earlier utility line construction (Fig. 14).

The following counter-measures were resorted to in constructional and operational terms:

- Prior exploration of the water conditions section-by-section
- Extensive monitoring network with online supervision and telephone alarm
- Geodetic monitoring of the ground surface with remote fixed points
- Targeted return of water to the water-bearing layers of the upper groundwater level
- Sealing old utility line channels
- Gradual homogenisation of the groundwater level behind the tunnel with a dense network of vertical drainage systems in the upper pressure levels



15 Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Empfehlung des Arbeitskreises «Baugruben» EAB 4, Auflage 2006  
 German Society for Geotechnics: recommendation by the "construction pits" working group EAB 4, edition 2006

### 4.3.3 Erfahrungen anderer Überdruckbaustellen

Die Erfahrungen aus früheren Überdruckbaustellen zeigten, dass bei hoher Anforderung an die Steuerung der Druckluftkompressoren die Druckverhältnisse in der Arbeitskammer in einer Bandbreite von  $\pm 0,03$  bar gewährleistet werden können.

Bild 16 zeigt die Einwirkungen, welche im Gleichgewicht zueinander stehen müssen. Die Vertikalkräfte beim Deckel bestehen aus der Auflast aus der Schüttung, dem Eigengewicht der Tunneldecke, der Auftriebskraft aus dem Luftüberdruck, sowie der Mantelreibung und dem Spitzenwiderstand der Spundwände. Die Horizontalkräfte entstehen aus dem aktiven Erd- und Wasserdruck. Diesen Kräften wirken nach Druckaufbau in der Arbeitskammer der Überdruck und die passiven Erd- und Wasserdrücke entgegen.

Als Fazit der diversen Berechnungen und Sicherheitsbetrachtungen wurden folgende einfache Grundsätze definiert:

1. Das Ausreissen des Deckels bei Überdruck kann zu einem Versagen des gesamten Systems führen. Deshalb muss beim Maximaldruck die resultierende Kraft aller Belastungen nach unten gerichtet sein. Das heisst, die vorhandenen Mantelreibungskräfte entsprechen den vorhandenen Reserven gegenüber dem Ausreissen.
2. Die Setzungen der Decke bei einem tieferen Überdruck oder bei speziellen Baugrund- oder Belastungsverhältnissen können nicht exakt ermittelt werden und variieren sehr stark. Als Setzungsreserve wurde der Spriessdeckel über dem 2-fachen Rechenwert der Setzungen, d. h. 10 cm über dem Sollmass betoniert.

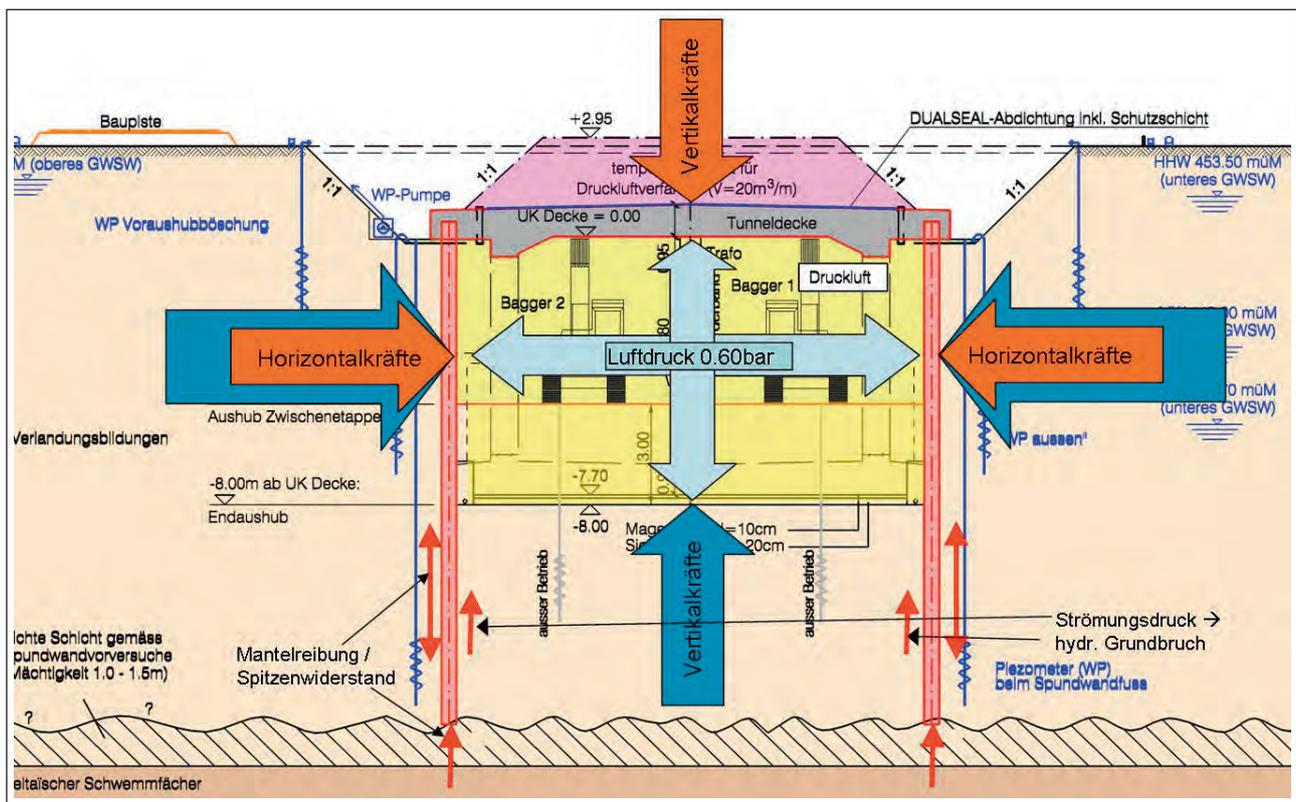
- Thanks to the established monitoring system and the extensive network of large filter wells the lower groundwater level can be controlled with an accuracy amounting to a few cm and maintained at the average water level.

### 4.3 Bearing Capacity of the In-Situ Soil

The various, statically relevant and extremely different construction states represented an enormous challenge. As a result of the construction method with overpressure, where on the one hand air pressure acts in a stabilising manner as a controllable element of resistance, and on the other as an effect, all kinds of load states resulted with all a range of combinations involving influences and safety coefficients. The statics and safety considerations relating to the vertical equilibrium turned out to be extremely complex. All the recognitions from the sheet pile wall load tests that had been executed, from model analyses with negative earth pressure angles of inclination and from the findings obtained on other compressed air construction sites were included in this vertical balance.

#### 4.3.1 Sheet Pile Wall Load Tests

Prior to executing construction, dynamic bearing capacity tests were undertaken in 4 series of tests in each case on 4 double piles, which led to the determination of the distribution of the shaft resistance forces along the pile shaft, the peak resistance and the load-settlement curve under static load. The results displayed highly varied distribution of the shaft resistance, extremely minimal peak resistances and a very high increase of resistances in terms of time.



16 Einwirkungen im Bauzustand „Endaushub“ mit Druckluft  
Effects in construction state “final excavation” with compressed air

- Bei einem Druckabfall bis 0,00 bar darf die Decke nicht einstürzen und ausserhalb des Endaushubbereichs die Decke nicht einsinken, weshalb in diesem Bereich Vertikalsprieße mitgeführt werden.

#### 4.4 Herausforderungen im Stahlbetonbau

In den verschiedenen Bauzuständen wirken auf alle Bauteile unterschiedlichste Belastungen. In den folgenden Abschnitten werden 2 interessante Elemente erläutert.

##### 4.4.1 Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Anschlusses Spundwand–Tunneldecke

Die Dimensionierung des Anschlusses der Spundwand an die Tunneldecke gestaltete sich äusserst komplex, wobei die Spundwandbohlen im Kopfbereich möglichst biegesteif mit der Tunneldecke zu verbinden und die je nach Bauphase auftretenden Zug- und Druckkräfte in die Bohlen abzugeben waren. Zudem sollten in diesem Bereich keine Luftverluste durch Öffnungen des Anschlusses und Umläufigkeit entlang der im Beton eingebundenen Spundwand eintreten.

Der Anschluss wurde mit einer entsprechenden Bewehrung sowie Bewehrungsdurchdringungen durch die Spundwände und mit auf die Spundwände geschweissten Kopfbolzendübeln gewährleistet (Bild 17).

#### 4.3.2 Model Analyses with negative Earth Pressure Angles of Inclination

In the selected construction method with the installation of the ceiling on the sheet pile wall the construction pit closure is considerably influenced by tension and compressive force apart from horizontal load. In this connection the findings published by the EAB were taken into account for creating the model (Fig. 15).

#### 4.3.3 Findings from other Overpressure Construction Sites

The findings from earlier overpressure construction sites revealed that the pressure conditions in the working chamber can be assured in a range of  $\pm 0.03$  bar with high demands placed on controlling the compressed air compressors.

Fig. 16 shows the influences, which must be in equilibrium with each other. The vertical forces constitute the uplift from the fill, the tunnel ceiling's intrinsic weight, the uplift force from air overpressure as well as the shaft friction and the peak resistance of the sheet pile walls. The horizontal forces result from the active earth and water pressure. These forces counteract the overpressure and the passive earth and water pressures once pressure builds up in the working chamber.

Da dieser Rahmenecken nur für den Bauzustand massgebend war, wurden Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit akzeptiert. Um sicherzustellen, dass diese zu keinen Problemen in der Bauausführung unter Druckluft führen, wurde ein 1 zu 1 Versuch durchgeführt, bei dem im Startbereich des Druckluftabschnittes 4 Etappen à je 10 m auf das Endaushubniveau ausgehoben wurden, wie dies später unter Überdruck erfolgen würde. Nach jeder Aushub-Etappe wurden die Magerbetonsole und die Bodenplatte erstellt, wobei während der ganzen Arbeiten eine tägliche Überwachung und Einmessung der Spundwände sowie eine Bodenbeurteilung stattfand, um bei allfälligen Anzeichen von zu grossen Deformationen oder eines hydraulischen Grundbruchs sofort Gegenmassnahmen einzuleiten und den Aushub stoppen zu können. Die gemessenen Deformationen lagen deutlich unter den Rechenwerten. Nach Abschluss des Versuchs konnte festgestellt werden, dass in keinem Punkt des Decken-Spundwandanschlusses Probleme infolge von Deformationen oder Abplatzungen aufgetreten waren. Aufgrund der Berechnungen und des Versuchs wurden der „Schlupf“ in den stark beanspruchten Spundwandschlössern und mögliche lokale Betonabplatzungen im Rahmenecken akzeptiert.

### 4.4.2 Beanspruchung der Tunneldecke

Die Tunneldecke musste auf die unterschiedlichsten Bemessungssituationen und Bauzustände dimensioniert werden:



17 Detail Anschluss Spundwand/Tunneldecke  
Details of sheet pile wall – tunnel ceiling connection

In summing up the various calculations and safety considerations the following basic principles were defined:

1. Removal of the cover in the event of overpressure can result in the entire system failing. As a consequence given maximum pressure the resultant force from all loads must be directed downwards. In other words the prevailing shaft friction forces correspond with the existing reserves against removal.
2. Settlements affecting the cover in the event of greater overpressure or special subsurface or load conditions cannot be exactly determined and vary to a large extent. As a settlement reserve the bracing cover was concreted using twice the calculated value of the settlements, i.e. 10 cm over the intended value.
3. In the event of a drop in pressure of up to 0.00 bar the cover must not collapse and the cover must not sink in outside the final excavation area, towards which end vertical bracing is incorporated in this area.

### 4.4 Challenges in reinforced Concrete Construction

All kinds of loads act on all structural parts in the various construction states. In the following sections 2 interesting elements are dealt with.

#### 4.4.1 Bearing Capacity and Usability of the Sheet Pile Wall – Tunnel Ceiling Connection

The dimensioning of the connection of the sheet pile wall to the tunnel ceiling turned out to be highly complex, with the sheet wall piles in the overhead area having to be connected flexurally resistant with the tunnel ceiling as far as possible and the tensile and compressive forces occurring depending on the construction phase to be transferred into the piles. In addition no air losses should occur in this area resulting from openings in the connection and infiltration along the sheet pile wall incorporated in the concrete.

The connection was assured with a corresponding reinforcement as well as reinforcement penetrations through the sheet pile walls and shear studs welded to the walls (Fig. 17).

As these frame corners were only determining for the construction state, limitations in usability were accepted. In order to ensure that these would not lead to any problems in executing construction under compressed air, a 1 to 1 test was carried out, in the case of which in the start-up area of the compressed air sector 4 phases each of 10 m were excavated to the final excavation level, as was to subsequently occur under overpressure. After each excavation phase the lean concrete base and the base slab were produced, with daily monitoring and measuring of the sheet pile walls as well as a soil assessment being undertaken so that countermeasures could be introduced at once and excavation ceased

1. Eigengewicht der Decke mit Vorschüttung
2. Maximaler Überdruck mit max. Rahmeneckeinspannung
3. Minimaler Überdruck mit min. Rahmeneckeinspannung
4. Aussergewöhnliche Einwirkung bei Druck  $p = 0$  bar und keiner Rahmeneckeinspannung
5. Wände betoniert, Druck abgelassen, Wände noch nicht fertig hinterfüllt.

Diese zahlreichen Anforderungen führten zu einer sehr massiven Bewehrung der Tunneldecke (Bild 18).

### 4.5 Zusammenhänge der verschiedenen Gleichgewichtsfaktoren

Bild 19 zeigt auf, wie die verschiedenen beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Faktoren für das statische Gleichgewicht zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Die Folge daraus war, dass die Projektierung sehr enge Randbedingungen vorgab, welche die Unternehmung in der AVOR-Phase intensiv beschäftigten. Kapitel 5 zeigt einige wichtige Punkte der AVOR für die Ausführungsphase auf.

## 5 Herausforderungen AVOR Ausführung (TU)

### 5.1 Risikoanalyse

Die im Rahmen der Evaluation der Bestvariante in den Vordergrund gerückte Lösung mit dem Deckelbauverfahren unter Druckluft wurde bereits früh einer umfassenden Risikobetrachtung unterzogen, da sie eine zuverlässige, dauerhafte Druckluftversorgung voraussetzte. Folgende Gefährdungsbilder fanden besondere Beachtung:

- rascher oder langsamer Druckabfall
- Druckanstieg
- Menge der Überschüttung (Auflast) in verändertem Baugrund
- Anstieg der beiden Grundwasserspiegel
- Gefährdungsbilder gemäss SUVA (Feuer etc.).

Die daraus resultierenden Massnahmen stellen die wichtigsten Herausforderungen für die Ausführung dar und wurden deshalb in der Vorbereitungsphase besonders intensiv bearbeitet.

### 5.2 Systemsicherheit Druckluft- und Schleusenanlage

Zentrales Element der angebotenen Variante ist die Aufrechterhaltung des Überdrucks in der Arbeitskammer zwischen 0,4 und 0,6 bar im Regelprofil und später von 0,71 bar für den Bereich der Aufweitung der Haltestelle Allmend. Ein Abfall der Druckluft unter 0,4 bar würde zu einem Kollaps des Systems führen, wobei insbesondere die Tunneldecke mit den Spundwänden infolge der Auflast in den Baugrund einsinken würde. Für diesen Fall werden vertikale Spriesse zwischen der Tunneldecke und der

should there be any indications of major deformations or a hydraulic fracture. The measured deformations lay considerably below the calculated values. After conclusion of the test it was determined that problems resulting from deformations or spalling had not occurred at any point of the ceiling-sheet pile wall connection. On the basis of the calculations and the test the "slip" in the highly stressed sheet pile wall interlocks and possible local concrete spalling in the frame corners were accepted.

### 4.4.2 Stress on the Tunnel Ceiling

The tunnel ceiling had to be dimensioned to cope with all kinds of situations and construction states:

1. Intrinsic weight of the ceiling with fill
2. Maximum overpressure with max. frame corner tensioning
3. Minimum overpressure with min. frame corner tensioning
4. Out-of-the-ordinary effect given pressure  $p = 0$  bar and no frame corner tensioning
5. Walls concreted, pressure released, walls still not completely backfilled.

These numerous requirements led to an extremely massive reinforcement of the tunnel ceiling (Fig. 18).



18 Massive Deckenbewehrung  
Massive ceiling reinforcement

### 4.5 Interrelationships of the various Equilibrium Factors

Fig. 19 indicates that the various influenceable and non-influenceable factors for the static equilibrium are linked and mutually influence each other. The consequence of this was that the design foresaw extremely narrow general conditions, which preoccupied the contractor intensively during the work preparation phase. Chapter 5 shows a number of

Bodenplatte vorgehalten, welche diese Setzungen verhindern würden. Diese Vertikalsprieße sind im Bereich des Endaushubes bis zur Erstellung der Seitenwände erforderlich. Die umfangreichen Massnahmen zur Verhinderung des unzulässigen Druckabfalls werden in den folgenden Kapiteln kurz erläutert.

### 5.2.1 Druckluftanlage

Die Druckluftanlage mit Kompressorenhalle wurde durch die Spezialfirma Pressluft Frantz geliefert und eingerichtet. In der 10 x 41 m grossen Halle werden 9 ölfrei verdichtende Kompressoren sowie die dazugehörige Kühlanlage (Druckluft-Nachkühler) mit Kühlwasserbecken eingerichtet. Drei dieser Kompressoren des Typs VML 60 sind mit Frequenzumrichtern ausgerüstet. Der maximale Luftbedarf in der bis zu 623 m langen, 14 m breiten und 9 m hohen Arbeitskammer wurde aufgrund von Leckageversuchen auf 296 m<sup>3</sup>/min zuzüglich 50 % Sicherheitsmenge gemäss Druckluftrichtlinie festgelegt. Zum schnelleren Belüften der Materialschleuse wird ein separater Kompressor beigestellt. Insgesamt stehen 9 Kompressoren mit einer Fördermenge von max. je 72 m<sup>3</sup>/min bei 0,7 bar Überdruck zur Verfügung. 5 Kompressoren decken den maximal zu erwartenden Luftbedarf ab, 4 Stück dienen als Reservemaschinen. Als letzte Sicherheit wird beim Lieferanten ein baugleicher Kompressor vorgehalten, der innerhalb von 48 Stunden auf die Baustelle geliefert und eingebaut werden kann. Die Personenschleuse wird von einem weiteren Kompressor (10 bar, 20 m<sup>3</sup>/min) mit zwischengeschaltetem Windkessel und Atemluftfilter versorgt.

Ab der Kompressorenhalle werden sämtliche für den Druckluftbetrieb erforderlichen Leitungen und Steuerkabel aus Sicherheitsgründen doppelt geführt. Auch die computergestützte Steuerung der Anlage wird zweifach installiert und eingerichtet. Sie alarmiert bei einem Druckabfall unter vorgängig definierte Interventionswerte den baustelleninternen Pikettdienst sowie die druckluftbefähigten Bauführer. Zur Begrenzung des Überdrucks nach oben ist ein Überdruckventil vorgesehen.

Die Kompressoren weisen einen Strombedarf von je 250 kW auf, welcher über zwei 20-kV-Trafos abgedeckt und bei einem Stromausfall mit zwei 1000-kVA-Notstromaggregaten abgesichert wird. An jedem Kompressor ist ein wassergekühlter Druckluft-Nachkühler montiert, welcher die Austrittstemperatur der komprimierten Luft von 115 °C auf 25 °C abkühlt. Im Normalbetrieb sind 30 bis 50 m<sup>3</sup>/h Kühlwasser erforderlich. Dieses wird aus den Filterbrunnen der Grundwasserhaltung bezogen und den Wärmetauschern über einen redundant eingerichteten Kühlwasserkreislauf zugeführt. Die Steuerung der Druckluftanlage erfolgt aufgrund der Drucksensoren in der Arbeitskammer und in der Materialschleuse. Die Regelpgenauigkeit des Gesamtsystems garantiert maximale Druckabweichungen von ± 30 mbar.

important points for work preparation at the execution phase.

## 5 Challenges for Work Preparation for Execution (TU)

### 5.1 Risk Analysis

The solution with the top cover method under compressed air which had emerged within the scope of evaluating the best alternatives was subjected to an extensive risk analysis at an early stage as it depended on a reliable, constant compressed air supply. The following danger scenarios received particular attention:

- Rapid or slow drop in pressure
- Rise in pressure
- Amount of fill (superimposed load) in changed subsurface
- Rise of the two groundwater tables
- Danger scenarios in keeping with SUVA (fire etc.)

The resultant measures represent the most important challenges for the execution and were thus particularly intensively processed during the preparatory phase.

### 5.2 Systematic compressed Air and Lock Facility

The central element of the offered alternative relates to maintaining overpressure in the working chamber between 0.4 and 0.6 bar in the standard profile and subsequently 0.71 bar for the enlargement area for the Allmend rail stop. If the compressed air were to drop below 0.4 bar this would lead to the system collapsing, which would above all result in the tunnel ceiling together with the sheet pile walls sinking into the subsurface on account of the superimposed load. For this scenario vertical braces are installed between the tunnel ceiling and the base slab, which would prevent settlements of this nature. These vertical braces are necessary in the final excavation area until the side walls are produced. The extensive measures to prevent an impermissible drop in pressure are explained in the following chapter.

#### 5.2.1 Compressed Air Plant

The compressed air plant with compressor hall was supplied and set up by the specialised company Pressluft Frantz. In the 10 x 41 m large hall 9 oil-free compressing compressors as well as the related cooling unit (compressed air aftercooler) with cooling water basin were installed. Three of these compressors – Type VMI 60 – are fitted with frequency converters. The maximum air requirement in the up to 623 m long, 14 m wide and 9 m high working chamber was established at 296 m<sup>3</sup>/min plus a 50 % safety figure on account of leakage tests in accordance with compressed air guidelines. A separate compressor is made available for more rapidly ventilating the material lock. Altogether 9 compressors each with a maximum output of 72 m<sup>3</sup>/min at 0.7 bar overpressure are available. 5 compressors cover the anticipated maximum air

### 5.2.2 Schleusenanlage

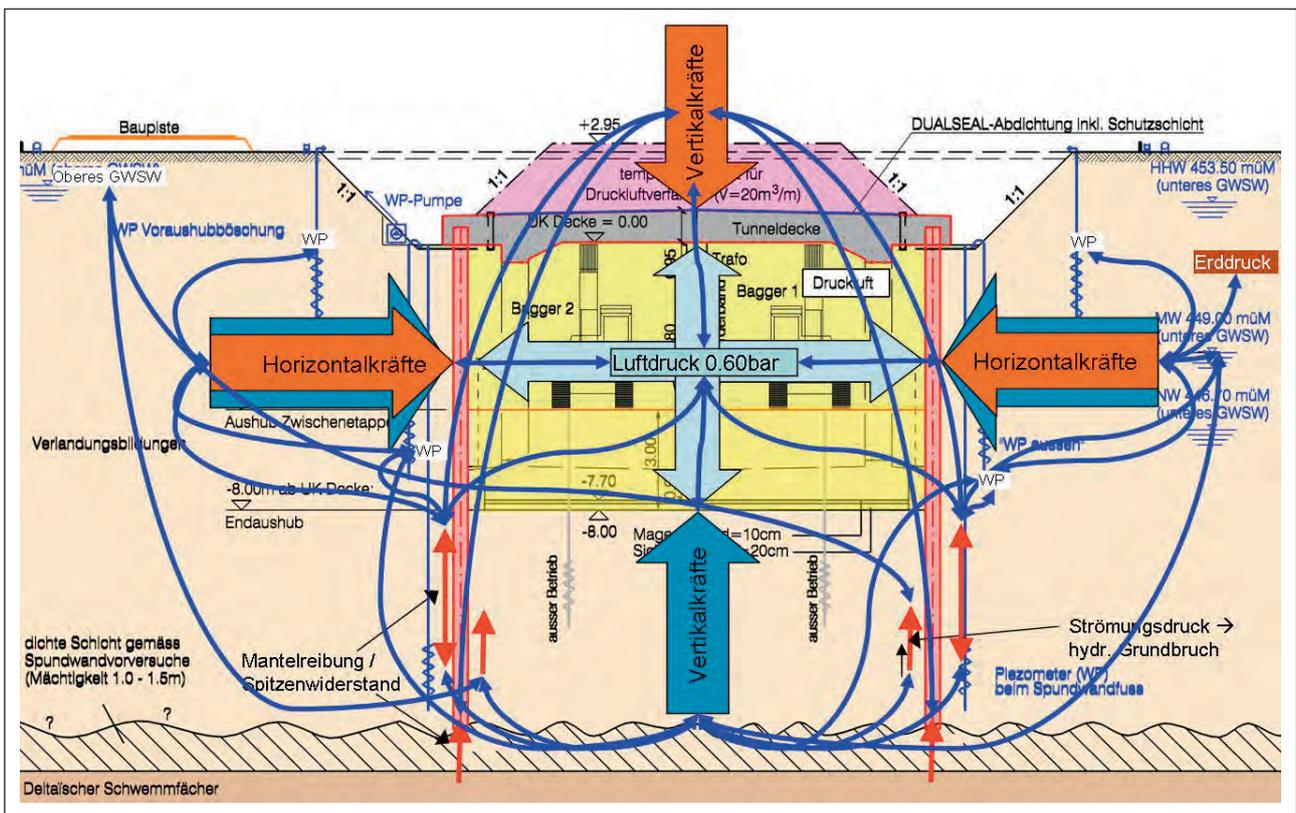
Sowohl die hufeisenförmige, 30 m lange Materialschleuse mit einem Durchmesser von über 4 m, als auch die Personenschleuse wurden von der Firma Haux-Life-Support GmbH geliefert. Um den Montageaufwand vor Ort zu minimieren, wurde als revolutionäre Neuerung im Werk in Cuxhaven zum ersten Mal eine Materialschleuse aus Stahl gefertigt und in zwei 15 m langen Teilen als Ausnahmetransport durch ganz Deutschland auf die Baustelle in Luzern transportiert.

Durch die werkseitige Vorfertigung der Schleuse konnte eine hohe Qualität der Verschweißung der einzelnen Stahlblech-Segmente erzielt werden. Um eine Beschädigung der Schleusentore durch den Zugbetrieb und den damit verbundenen unkontrollierten Druckabbau zu verhindern, wurden beidseitig der Schleusentore hydraulisch gesteuerte, massive Stahlbalken errichtet. Diese widerstehen einem Zuganprall (80 t) mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h und schützen die Schleusentore vor Beschädigungen. Die gesamte Drucklufteinrichtung in der Kompressorenhalle, die Druckluftleitungen sowie die Schleusenanlagen werden mittels diverser Alarmsysteme gegen Sabotage gesichert. Sämtliches Personal, welches die Druckluft- und Schleusenanlagen bedient, wurde gemäss der einschlägigen Richtlinien und Verordnungen geschult und instruiert.

requirement, 4 serve as reserve units. As a final resort a similar compressor is held in reserve by the supplier, which can be delivered and set up on site within 48 h. The man lock is supplied via a further compressor (10 bar, 20 m<sup>3</sup>/min) with interposed air receiver and breathing air filter.

From the compressor hall all the pipes and control cables required for the compressed air operation are equipped with back-ups for safety reasons. The computer-supported control system for the plant is also installed and set up twofold. In the event of a drop in pressure that falls below previously defined intervention values it alarms the site's own on-call service as well as the foreman in charge of compressed air operations. An overpressure valve is installed to restrict overpressure from rising excessively.

The compressors each require a power supply amounting to 250 kW, which is covered via two 20 kV transformers and backed-up by two 1,000 kVA emergency power aggregates in the event of a cut-off. A water-cooled compressed air after-cooler is mounted to each compressor, which cools down the discharge temperature of the compressed air from 115 to 25° C. 30 to 50 m<sup>3</sup>/h of cooling water is required in standard mode. This is obtained from the filter wells for the groundwater table and fed to the heat exchangers via a redundantly set up cooling water circuit. The compressed air plant is controlled via pressure sensors in the working chamber and in the



19 Abhängigkeiten der verschiedenen Einflussfaktoren für das „Gleichgewicht“  
Relationships of the various factors of influence for the “equilibrium”

### 5.3 Systemsicherheit Baugrubenabschlüsse

#### 5.3.1 Dichtigkeit Spundwände

Bislang wurden ähnliche Bau-Verfahren mit Druckluft immer im Zusammenhang mit Schlitzwänden oder einer überschnittenen Bohrfahlwand angewendet. Deshalb konnte niemand auf Erfahrungen betreffend Luftdichtigkeit von Spundwänden in den Schlössern zurückgreifen. Man war jedoch überzeugt, dass mittels zusätzlicher Abdichtungsmassnahmen unter Überdruck die Spundwandschlösser im Bereich des erfolgten Aushubes abgedichtet werden können. Da auch unterhalb der Aushubkote mit Luftverlusten durch die Spundwandschlösser zu rechnen ist, entschied man sich im Herbst 2008 dazu, einen Versuch durchzuführen. Dafür wurde ein Spundwandkasten in den Boden gerammt und mit einer Betonplatte überdeckt, welche später als Fundament für den Turmdrehkran verwendet wurde. Der damit entstandene Caisson sollte dann mit bis zu 0,7 bar Überdruck beaufschlagt werden, wobei bewusst alte Spundwandprofile ohne jegliche Abdichtungen in den Schlössern verwendet wurden. Leider liess sich zu Beginn gar kein Druck aufbauen, weshalb mit verschiedenen Fugendichtungsmaterialien versucht wurde, die Spundwandschlösser nachträglich abzudichten. Da für den Versuch keine Schleuse zur Verfügung stand, musste die Abdichtung bei atmosphärischem Druck appliziert werden, was zur Folge hatte, dass bis zum nachfolgenden Druckaufbau das aufgebrachte Dichtmaterial jeweils vom äusseren Grundwasserzstrom weggeschwemmt und die vorgesehenen Drücke nie über längere Zeit aufgebracht werden konnten. Der Versuch wurde mit der Erkenntnis abgebrochen, dass für die vorgesehenen Arbeiten zwingend neue Spundwände mit Beltandichtungen in den Schlössern bestellt werden müssen. Durch diese bituminöse Dichtmasse sollte eine deutlich höhere Wasserdichtigkeit und damit auch Luftdichtigkeit erzielt werden. In kleinen Versuchsanordnungen wurden diverse Fugendichtungsmassen und weitere Abdichtungsmaterialien getestet, wobei auch hier das Problem war, dass man diese Materialien nie unter Überdruck applizieren konnte. So mussten weitere Abdichtungsversuche auf die Probeläufe in der ersten, 120 m langen Arbeitskammer, welche Anfang Dezember geplant waren, vertagt werden. Diese ersten Versuche zeigten deutlich geringere Luftverluste als erwartet. Trotzdem wurden die Spundwandschlösser aus wirtschaftlichen Überlegungen nachgedichtet.

#### 5.3.2 Dichtigkeit Spundwand-Deckenanschluss (biegesteifer Anschluss)

Auch der in Kapitel 4 erwähnte, biegesteife Spundwand-Deckenanschluss bedeutet eine latente Ausbläsergefahr. Aus statischen Gründen muss die untere Deckenbewehrung durch die Spundwände geführt werden. Die dafür erforderlichen Durchdringungslöcher liegen nur 40 mm oberhalb der Betonuntersicht (Betonüberdeckung). Es musste erwartet werden, dass selbst minimale Verformungen der Spundwände zu erheblichen Luftverlusten führen würden. Es war

material lock. The precision for regulating the entire system guarantees maximum pressure deviations of  $\pm 30$  mbar.

#### 5.2.2 Lock Facility

Both the horseshoe-shaped, 30 m long material lock with a diameter in excess of 4 m as well as the man lock was supplied by the firm of Haux Life-Support GmbH. In order to minimise the amount of assembly necessary on the spot, a material lock made of steel was manufactured as a revolutionary novelty at the factory in Cuxhaven and carried in the form of two 15 m long parts as a special transport through the whole of Germany to the construction site in Lucerne.

Thanks to the prefabrication of the lock at the factory, it was possible to attain a high quality in welding the individual steel plate segments. In order to prevent the lock doors being damaged by train operations and the in turn uncontrolled fall in pressure, hydraulically steered, massive steel beams were set up at either side of the lock doors. These withstood the impact of a train (80 t) with a speed of 5 km/h and protect the lock doors from damage. The entire compressed air plant in the compressor hall, the compressed air lines as well as the lock units are protected against sabotage by various alarm systems. All persons, who operate the compressed air and lock facilities, were trained and instructed in accordance with the pertinent guidelines and ordinances.

### 5.3 System Safety for the Construction Pit Closures

#### 5.3.1 Tightness of Sheet Pile Walls

So far similar construction procedures with compressed air have always been carried out in conjunction with diaphragm walls or an overcut drilled pile wall. As a result it was not possible to resort to experiences concerning the air tightness of sheet pile wall interlocks. However there was a conviction that the sheet wall pile at the excavation that had taken place can be sealed using additional sealing measures. As air losses were also to be reckoned with below the excavation level through the sheet pile wall interlocks, it was then decided in autumn 2008 to carry out a test. For this purpose a sheet pile wall caisson was rammed into the soil and covered with a concrete slab, which afterwards was used as the base for the tower slewing crane. The caisson formed in this way was subjected to up to 0.7 bar overpressure, with old pile wall profiles without any seals deliberately being used in the interlocks. Unfortunately it was not possible at first to build up any pressure so that various joint sealing materials were tried out in order to seal the sheet pile wall interlocks. As no lock was available for the test, the seal had to be applied at atmospheric pressure, which meant that until pressure subsequently built up the sealing material used was washed away by the external groundwater current and the intended pressures could never be attained over a long period. The test was ceased with the recognition that new sheet pile walls with Beltan seals in the interlocks had to be ordered

deshalb vorgesehen, den Deckenanschluss mit Folie abzudichten. Erste Erfahrungen anlässlich der Probeläufe zeigten jedoch, dass dieser Anschluss während der Druckluftarbeiten keine gravierenden Probleme bereiten sollte.

### 5.3.3 Dichtigkeit Schottwände

Um das Volumen der Druckluft-Arbeitskammer möglichst klein zu halten, werden auf dem Voraushubniveau in einem Abstand von jeweils 90 m Schottwände eingebaut. Diese werden als Rühlwände mit vertikalen Stahlträgern und einer Ausfachung mit Holzbohlen aufgebaut. Die horizontalen Kräfte werden oben mittels Stahlschuhen in die Betondecke und unten durch einen Betonriegel in eine Spriessplatte eingeleitet. Als Spriessplatte wird die Fundament der Deckenschalung auf einer Länge von 8 m stehen gelassen. Als Dichtung dient eine Plastikfolie, welche über die Schottwand gespannt und seitlich an Decke, Spundwand und Betonriegel abgeklebt wird. Anlässlich der Druckluftversuche zeigte sich, dass die Luft die Schottwand durch den Boden unterströmt. Es wurde deshalb eine ergänzende, bis unter das künftige Aushubniveau reichende Spundwandabschottung angeordnet.

### 5.4 CE-Konformität Druckluft- und Schleusenanlage

Eine weitere grosse Herausforderung war die Forderung der SUVA, dass für die Gesamtanlage eine Konformitätserklärung beizubringen war. Diese hatte die gesamte baustellen-spezifische Konzeption, die Druckluftproduktion, die Schleusenanlagen, den Rohrleitungsbau sowie die Bauten der Arbeitskammer inkl. aller Überwachungs- und Steuerungselemente zu beurteilen. In der Folge mussten umfangreiche Risikoanalysen und Sicherheitskonzepte ausgearbeitet werden.

In enger Zusammenarbeit mit der Swiss TS wurden auf Basis der geltenden Schweizer, resp. EU-Verordnungen, Richtlinien und Normen (Maschinenrichtlinien, Druckgeräteverordnung, Druckluftverordnung und weiteren ca. 50 Grundlagendokumenten) die geforderten Dokumente erarbeitet, geprüft und die CE-Konformität bescheinigt. Damit sollte der definitiven Erlangung der Betriebsbewilligung nichts mehr im Wege stehen. Eine ausführliche Erläuterung der Anforderungen zur Erreichung dieser „Betriebsbewilligung“ würde den Rahmen dieses Beitrags definitiv sprengen, weshalb hierauf verzichtet wird.

## 6 Schlussfolgerungen

Tagbautunnel im Deckelbauverfahren mit Überdruck wurden bereits bis ins 19. Jahrhundert zurück in vereinfachter Form in Deutschland und England erstellt, wobei die Tunneldecke stets auf Schlitzwänden oder einer Bohrpfahlwand abgestützt wurde oder mit Stahl-Caissons gearbeitet wurde. Die Kombination mit Spundwänden als luftdichtem Baugrubenabschluss ist jedoch mit speziellen Herausforderungen

urgently for the intended work. Thanks to this bituminous sealing mass a considerably higher watertightness and in turn air tightness was to be attained. In small series of tests various joint sealing agents and further sealing materials were tried out although the problem here as well was that these materials could never be tested under overpressure. As a result further sealing trials scheduled for the test runs over the first 120 m long working chamber, which were planned for the beginning of December, had to be postponed. These initial tests clearly revealed considerably lower air losses than anticipated. Nonetheless the sheet pile wall interlocks were sealed for economic reasons.

### 5.3.2 Tightness of Sheet Pile Wall – Ceiling Connection (flexural resistant Connection)

The flexural resistant sheet pile wall-ceiling connection mentioned in Chapter 4 also represented a latent blow-out hazard. For static reasons the lower ceiling reinforcement has to be guided through the sheet pile walls. The penetration holes needed for this purpose are located only 40 mm above the concrete underside (concrete covering). It had to be expected that even minimal deformations of the sheet pile walls would lead to substantial air losses. As a result it was intended to seal the ceiling connection with membrane. Initial findings during the trial runs showed however that this connection would not present any serious problems during the compressed air operations.

### 5.3.3 Tightness of the Bulkheads

In order to keep the volume of the compressed air working chamber as small as possible, bulkheads were installed at excavation level at 90 m gaps. These were set up in the form of retaining walls with vertical steel girders and infilled with wooden piling. The horizontal forces were transferred upwards into the concrete ceiling via steel shoes and downwards via a concrete member into a bracing slab. The foundation of the ceiling formwork was left standing over a length of 8 m to act as bracing slab. A plastic membrane, which is spanned over the bulkhead and adhered to the ceiling, sheet pile wall and concrete member at the sides, served as seal. During the compressed air tests it was revealed that air escaped through the soil under the bulkhead. As a consequence an additional sheet pile wall seal was installed extending down below the future excavation level.

### 5.4 CE Conformity for compressed Air and Lock Facility

A further major challenge was SUVA's demand that a conformity declaration was essential for the complete facility. This had to assess the entire conception pertaining to the construction site, compressed air production, the lock facilities, pipeline construction as well as the buildings for the working chamber incl. all monitoring and control elements.

rungen verbunden, welche mangels Erfahrung eine umfassende und langwierige Vorbereitungsphase bedingen.

Mit der gewählten Variante hat die Implenia Bau AG als Totalunternehmung diese Aufwendungen auf sich genommen und zusammen mit der Ingenieurgesellschaft Mut zu einem neuartigen Bauverfahren bewiesen. Dieser Mut ist in der heutigen Zeit notwendig, um mit innovativen – für den Kunden kostengünstigen – Ideen umwelt- und termingerechte Lösungen anbieten zu können. Wir sind überzeugt, dass sich der Mut lohnen wird!

### Quellennachweise

- [1] Nutzungsvereinbarung Ausbau Zentralbahn, Doppelspur und Tieflegung Luzern
- [2] Besondere Bestimmungen Ausbau Zentralbahn, Doppelspur und Tieflegung Luzern
- [3] Erdwissenschaftlicher Bericht zum Ausbau Zentralbahn der Mengis+Lorenz AG (heute Keller+Lorenz AG) vom 17. Juli 2007
- [4] Technischer Bericht Bauprojekt des Anbieters Implenia Bau AG
- [5] Technischer Bericht Auflageprojekt

This resulted in extensive risk analyses and safety concepts having to be drafted.

In close collaboration with the Swiss TS (Technical Services) the required documents were compiled, scrutinised and attested in compliance with CE conformity on the basis of valid Swiss and EU ordinances, guidelines and norms (engineering guidelines, pressure equipment ordinance, compressed air ordinance and a further roughly 50 basic documents). In this way nothing more should stand in the way of attaining definitive approval. A lengthy explanation of how approval was obtained would certainly exceed the limits of this report so that it will not be dealt with here.

### 6 Conclusions

Cut-and-cover tunnels using the top cover method with compressed air were produced in Germany and the UK in simplified form as far back as the 19th century, with the tunnel ceiling always supported by diaphragm walls or a drilled piling wall or applying steel caissons. The combination with sheet pile walls as airtight construction pit closure is however associated with special challenges, which bring about an extensive and protracted preparatory phase on account of a lack of experience.

Thanks to the selected alternative the Implenia Bau AG as total contractor took on these challenges and proved to have the courage to tackle a novel construction method in conjunction with the JV. Such courage is essential nowadays to be able to provide environmentally appropriate solutions according to schedule for the customer by dint of innovative ideas. We are convinced that this courage will turn out to be worthwhile!



# SWISS TUNNEL COLLOQUIUM 2010

**Betontechnologie • Concrete Technology**

9. Juni 2010



**FGU** Fachgruppe für Untertagbau  
**GTS** Groupe spécialisé pour les travaux souterrains  
**GLS** Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo  
**STS** Swiss Tunnelling Society

*Eugen Brühwiler, Professor, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, Lehrstuhl für Erhaltung und Sicherheit von Bauwerken, ETH Lausanne (EPFL), Lausanne/CH*

# Einführung

## Tendenzen im Betonbau

Der Trend im Betonbau geht dahin, Bewährtes durch neuartige Baustoffe zu verbessern. Stichworte sind die Herstellung von Zementen unter Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission, Recyclingbeton, hochfeste Betone oder hochleistungsfähige Faserbetone. Obwohl mit dem heutigen Fachwissen eine genügende Dauerhaftigkeit von Betonbauten ohne Weiteres erreicht werden kann, bleibt die Dauerhaftigkeit weiterhin ein zentrales Thema. Ultrahochleistungsfähige Faserbetone (UHFB) öffnen das Feld für neuartige Konzepte für die Erhaltung und den Neubau von Betonbauten. Die Grundidee ist, den besseren Baustoff UHFB dort zu verwenden, wo die Beanspruchung hoch ist. Der Beitrag zeigt auf, was in Zukunft für den Untertagebau relevant sein dürfte.

# Introduction

## Trends in Concrete Construction

The trend in concrete construction foresees novel construction materials improving tried-and-tested ones. Key issues here relate to the production of cements with reduced CO<sub>2</sub> emission, recycling concrete, high-strength concretes or high performance fiber reinforced concretes. Although adequate durability of concrete structures can certainly be arrived at by the specialised knowledge available today, durability remains a central theme. Ultra-high performance fiber reinforced concretes (UHPFRC) open up the field for novel concepts for the maintenance of concrete structures and building new ones. The fundamental idea is to utilise the better construction material UHPFRC there where stress is high. This report indicates what will probably be relevant for underground engineering in future.

### 1 Einleitung

Bis zur Erfindung des Baustoffs Stahlbeton im 19. Jahrhundert war Beton relativ wenig gebräuchlich. Der Mauerwerksbau und dann auch der Stahlbau waren die dominierenden Bauweisen. Ab den 1890er-Jahren wurden vereinzelte, erste Stahlbetonbauten gebaut. Mit der Einführung der ersten Betonnorm in der Schweiz im Jahre 1903 fand die Betonbauweise vermehrt, jedoch zunächst nur zögerlich, eine breitere Anwendung. Ingenieure und Unternehmer wie François Hennebique oder Robert Maillart verhalfen der Bauweise durch neue Entwurfs- und Ausführungsideen zu einer immer stärkeren Anwendung, wobei das Hauptargument für den Einsatz von Stahlbeton die vergleichsweise geringen Baukosten gegenüber den Bauweisen Stahlbau und Mauerwerksbau waren. Seit den 1950er-Jahren ist der Betonbau die volumenmässig mit Abstand wichtigste Bauweise in der Schweiz.

Betonbau wird heute als eine traditionelle Bauweise gesehen. Doch sind weitere Entwicklungsschritte notwendig, um den Anforderungen an Tragvermögen und Dauerhaftigkeit der Bauwerke möglichst effizient zu begegnen. Neue Heraus-

### 1 Introduction

Concrete was not used particularly much until reinforced concrete was invented as a construction material in the 19th century. Building using masonry as well as structural steel were the dominating construction methods. As from the 1890s the first reinforced concrete buildings were gradually being erected. With the introduction of the first concrete norm in Switzerland in 1903 construction with concrete increasingly found wider application albeit first with hesitation. Engineers and contractors such as François Hennebique or Robert Maillart helped the construction method gain popularity thanks to new ideas for design and execution, whereby the main argument for the application of reinforced concrete were the relatively low construction costs as compared to structural steel and masonry construction methods. Since the 1950s concrete construction has represented by far the most important construction method in Switzerland in terms of volume.

Building with concrete is nowadays regarded as a traditional construction method. However further steps in development are needed in order to effectively counter requirements with

## Introduction

### Les tendances dans la construction en béton

Dans la construction en béton, la tendance va vers l'amélioration de l'acquis au profit de nouveaux matériaux. Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans la fabrication des ciments, béton recyclé, bétons à haute performance ou bétons fibrés ultra performants sont les mots clés de l'actualité. Bien que le savoir-faire actuel permette certainement d'obtenir une durabilité suffisante des ouvrages en béton, la durabilité reste toujours un sujet crucial. Les bétons fibrés ultra performants (BFUP) ouvrent la voie à de nouveaux concepts pour la maintenance et la construction des ouvrages en béton. L'idée de base est d'utiliser ce matériau BFUP plus performant là où les sollicitations sont élevées. L'article met en évidence les éléments qui devraient s'avérer significatifs à l'avenir pour la construction souterraine.

## Introduzione

### Tendenze nella costruzioni in calcestruzzo

L'attuale tendenza è quella di migliorare le tecniche note con materiali da costruzione innovativi. Particolare attenzione è dedicata alla produzione di cementi con una ridotta emissione di CO<sub>2</sub>, calcestruzzo riciclato, calcestruzzo ad alta tenuta o calcestruzzo sinfozzato con fibre con elevate prestazioni. Sebbene le attuali conoscenze tecniche permettano di ottenere strutture in calcestruzzo di sufficiente durata, quest'ultima caratteristica resta un punto fondamentale. Il calcestruzzo sinfozzato con fibre ultraresistenti (FU) apre la strada a nuove soluzioni per la costruzione di edifici e la conservazione di quelli esistenti. L'idea di base è di utilizzare il materiale da costruzione BFUP più performante per applicazioni con sollecitazioni elevate. Lo studio dimostra ciò che in futuro si rivelerà importante per le costruzioni sotterranee.

forderungen ergeben sich durch Veränderungen der Umwelt. Ein zentrales Thema ist dabei die Schonung der Ressourcen.

Dieser Beitrag hat das Ziel aufzuzeigen, was in der näheren oder weiteren Zukunft betontechnologisch für den Untertagebau relevant sein wird. Im ersten Teil werden die Tendenzen bei den Baustoffen Zement und Beton beschrieben. Es folgt im zweiten Teil eine Erläuterung der Grundsätze und Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Bauwerken aus Stahlbeton. Zum Schluss werden die Konzeptidee und Anwendungsmöglichkeiten von hochfestem Faserbeton, einem neuartigen Baustoff, bei der Erhaltung von Betonbauten dargestellt.

## 2 Zement und Beton

Bis in die 1990er-Jahre wurde fast ausschliesslich reiner Portlandzement des Typs CEM I produziert und verbaut. Seither werden zunehmend CEM-II-Zemente produziert. Der Anteil von CEM II am gesamten Zementverbrauch beträgt heute etwa 70 %. Die Gründe für diese Entwicklung sind eine Verbesserung und Optimierung anwendungsrelevanter Eigenschaften sowie die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für einen CEM II/B mit ungefähr 60 % Klinker beträgt noch 520 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement oder rd. 33 % weniger als für einen CEM I (mit einem Klinkeranteil von 90 %) [1].

Die Zementindustrie hat in den letzten Jahren wesentliche Anstrengungen unternommen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementherstellung zu reduzieren, indem fossile Brennstoffe durch alternative Brennstoffe (z. B. Abfälle) ersetzt und die Verfahrenstechnik bei Ofen- und Mahlanlagen optimiert wurden. Zudem wurde der Klinkeranteil durch einen ver-

regard to the bearing capacity and durability of structures as much as possible. New challenges result from environmental changes. In this connection a central theme is represented by caring for resources.

This report is concerned with putting forward just what will be relevant for concrete technology with regard to underground engineering in the short or long term. In the first part trends relating to the construction materials cement and concrete are described. The second part provides an explanation of the principles and measures devised to ensure the sustainability of buildings made of reinforced concrete. Finally the conceptual idea and possibilities of application for high-strength fibre concretes, a novel construction material, for the retention of concrete buildings, are presented.

## 2 Cement and Concrete

Up to the 1990s practically only pure Portland cement of Type CEM I was produced and installed. Since then CEM II cements have been increasingly manufactured. Today the share of CEM II with regard to total cement consumption amounts to roughly 70 %. The reasons for this development are an improvement and optimisation of properties relevant to application as well as the reduction of CO<sub>2</sub> emissions. The CO<sub>2</sub> emissions for a CEM II/B with roughly 60 % clinker still amounts to 520 kg of CO<sub>2</sub> per tonne of cement or around 33 % less than for a CEM I (with a clinker proportion of 90 %) [1].

The cement industry has undertaken enormous endeavours in recent years to reduce CO<sub>2</sub> emissions during the manufacture of cement by replacing fossil fuels by alternative ones (e.g. waste) and optimising the process technology for furnaces and grinding plants. Furthermore the amount of

stärkten Einsatz weiterer Hauptbestandteile wie Kalkstein, gebrannter Schiefer, Flugasche und Hüttensand reduziert. Daraus sind sogenannte Portlandkompositzemente entstanden, die unter der Bezeichnung CEM II in verschiedenen Produkten auf dem Markt sind. Die Vielfalt der Zemente ist damit gestiegen. Die Hauptbestandteile im Zement können heute durch optimierte Mahl- und Mischprozesse homogenisiert werden, um die gewünschte Betonleistungsfähigkeit zu erhalten. Dadurch können Vor- und Nachteile der Hauptbestandteile ausgeglichen werden [1].

Ausgehend von diesen neuen Zementen geht bei den Betonen die Entwicklung in Richtung einer verbesserten Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit. Mithilfe von Zusatzmitteln wie Hochleistungsverflüssiger und Zusatzstoffen wie Silicastaub oder Quarzmehl wurden über die letzten 20 Jahre wesentliche Fortschritte erzielt. Heute können Betone hergestellt werden, die es erlauben, die Bauteilgeometrie und -masse zu verringern. Dadurch können Emissionen und der Energieverbrauch reduziert, die Ressourcen geschont und die Dauerhaftigkeit erhöht werden.

Folgende neuartige Betone sind im Betonbau bereits eingeführt [1]:

- Der **hochfeste Beton** mit einem Zementgehalt von 380 bis 450 kg/m<sup>3</sup> weist eine Druckfestigkeit im Bereich von 70 bis 100 N/mm<sup>2</sup> auf. Dieser Beton wird beispielsweise für hochfeste Stützen oder stark beanspruchte vorgefertigte Elemente verwendet.
- **Selbstverdichtender** Beton ermöglicht die Beschleunigung des Betoniervorgangs. Auch kann erwartet werden, dass die Eigenschaften des Festbetons dadurch weniger streuen, dass die oft nicht fachgerecht ausgeführte Verdichtung des Frischbetons durch Vibrieren vermieden wird.
- **Recyclingbeton** wird aus einer rezyklierten Gesteinskörnung in Form von Betongranulat oder Mischabbruchgranulat hergestellt. Heute können Eigenschaften erhalten werden, die ähnlich einem Normalbeton sind. Entsprechend wird Recyclingbeton bereits heute auch für hochwertige Betonbauteile eingesetzt. Ein SIA-Merkblatt [2] wird demnächst publiziert.
- **Dämmbeton** ist ein Leichtbeton mit einer Rohdichte von 800 bis 1000 kg/m<sup>3</sup>, der aus Blähton- oder Blähglas-körnern mit einer speziellen Gesteinskörnung besteht. Die Druckfestigkeit liegt im Bereich von 7 bis 10 N/mm<sup>2</sup>. Mit Dämmbeton werden monolithische, massive Wände mit wärme- und schallisolierenden Eigenschaften für erhöhten Wohnkomfort hergestellt.

Die weiteren Entwicklungen gehen in Richtung verbesserter Faserbetone und hochfeste faserverstärkte Feinkornbetone (Kapitel 4). Dem Baustoff Zement und Beton sind in der Forschung und Entwicklung keine Grenzen gesetzt. Doch beruhen die Fortschritte nicht nur auf neuen oder verbesserten Baustoffen. Es braucht Ideen,

clinker has been reduced by increasingly using other main components such as limestone, burnt shale, fly ash and foundry sand. So-called Portland composite cements have originated from them, which are to be found on the market in various products under the designation CEM II. The diversity of cements has thus increased. The main components in cement nowadays can be homogenised by dint of optimised grinding and mixing processes in order to come up with the desired concrete capability. In this way pros and cons of the main components can be balanced out [1].

Based on these new cements, developments in concrete are moving in the direction of improved compressive strength and service life. With the aid of additives such as super plasticisers and admixtures such as silica dust or quartz powder, substantial progress has been achieved in the course of the last 20 years. Today concretes can be produced, which enable the geometry and mass of structural parts to be diminished. In this way emissions and energy consumption can be reduced, resources saved and durability enhanced.

The following novel concretes have already been introduced to concrete construction [1]:

- **High-strength concrete** with a cement content of 380 to 450 kg/m<sup>3</sup> possesses a compressive strength ranging from 70 to 100 N/mm<sup>2</sup>. This cement is used for instance for high-strength supports or highly stressed prefabricated elements.
- **Self-compacting concrete** enables the concreting process to be speeded up. It can also be expected that the properties of the solid concrete are not spread as much, in that the compacting of the fresh concrete through vibration, which is often not properly carried out, is avoided.
- **Recycling cement** is produced from recycled aggregate in the form of concrete granulate or mixed spoil granulate. Today properties can be attained, which are similar to a normal concrete. As a result recycling concrete is nowadays already being used for high-grade concrete structural parts as well. A SIA fact sheet [2] is to be published soon.
- **Insulating concrete** is a light concrete with a gross density of 800 to 1,000 kg/m<sup>3</sup>, which consists of expanded clay or expanded glass particles with a special aggregate. The compressive strength ranges from 7 to 10 N/mm<sup>2</sup>. Monolithic, massive walls with thermal and sound insulating properties for enhanced living comfort are produced with insulating concrete.

Further developments are heading towards improved fibre concretes and high-strength fibre reinforced fine-grained concretes (Chapter 4). The construction materials cement and concrete are not restricted to limitation in research and development. But progress does not simply relate to new or improved construction materials. Impulses are needed as well so that these materials can be optimally applied for buildings.

um diese Baustoffe für Bauwerke optimal einsetzen zu können.

Neben den Baustoffen Zement und Beton werden auch die Baustoffe Betonstahl und Stahlbeton weiterentwickelt. Dabei stellt der Einsatz von Betonstählen, die eine höhere Festigkeit aufweisen, einen Trend dar. Höherfeste Betonstähle können sehr effizient ausgenutzt werden, wenn die Betondruckzone umschnürt wird und so Druckfestigkeit und Bruchdehnung des Betons ebenfalls erhöht werden. Weitere sinnvolle Anwendungen ergeben sich insbesondere bei profilierten Biegeträgern, Betonzugelementen und Verstärkungsmassnahmen.

### 3 Dauerhaftigkeit

Mit dem heutigen Fachwissen lässt sich eine genügende Dauerhaftigkeit von Betonbauten ohne Weiteres erreichen, falls die am Bau Beteiligten diszipliniert und professionell zusammenarbeiten. Dieses Kapitel erläutert Grundsätze und Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Bauwerken aus herkömmlichem Beton. Dabei werden die entsprechenden Angaben in den heute gültigen Normen ergänzt und erweitert [3].

#### 3.1 Grundsätze

Aus volkswirtschaftlicher Sicht lautet das strategische Ziel für Bauwerke, neue Bauwerke dauerhaft zu bauen und bestehende Bauwerke nachhaltig zu verbessern. Damit kann der Aufwand für deren Erhaltung langfristig drastisch gesenkt werden. Gleichzeitig werden dadurch Geldmittel für Investitionen in neue Bausubstanz für Hochbauten und Infrastrukturanlagen mit einem echten volkswirtschaftlichen Mehrwert frei. Dauerhafte Bauwerke sind nicht nur volkswirtschaftlich interessant, sondern im Sinne der Nachhaltigkeit ein Erfordernis. Dieses strategische Ziel kann allerdings nur mit Fachleuten erreicht werden, die für neuartige Technologien und Baustoffe offen sind und diese für die Anwendung auch umsetzen.

Bauwerke sind dauerhaft, wenn deren Bestandteile „die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit im Rahmen der vorgesehenen Nutzung und der vorhersehbaren Einwirkungen ohne unvorhergesehenen Aufwand für den Unterhalt erfüllen“. Diese in den Normen verankerte Definition fordert, dass ein dauerhaftes Bauwerk, über die geplante Nutzungsdauer, keine die Tragsicherheit oder Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigende Schädigung erfährt. Dauerhaftigkeit ist eine dem Bauwerk innewohnende Leistungsfähigkeit über eine gewisse Zeitspanne und hat somit die physikalische Einheit Zeit.

Beim Erkennen von Gefährdungen für die Dauerhaftigkeit gilt es zu beachten, dass für die meisten Schädigungsprozesse sehr günstige Bedingungen bei direktem Wasserkontakt und

Apart from the construction materials cement and concrete, concrete reinforcing steel and reinforced concrete are other materials that are being further developed. In this connection, the application of concrete reinforcing steels, which possess a higher strength, represents a trend. Extremely strong concrete reinforcing steels can be exploited most efficiently providing that the concrete pressure zone is integrated so that the compressive strength and the breaking strain can also be increased. Further meaningful applications have resulted especially in the case of profilled beams, concrete tension elements and reinforcing measures.

### 3 Durability

Thanks to the considerable specialised knowledge available today it is relatively easy to attain sufficient durability for concrete buildings providing that those involved in construction collaborate in a disciplined and professional manner. This chapter concentrates on principles and measures aimed at securing the durability of structures made of conventional concrete. In this connection, the corresponding specifications contained in the norms valid today are amended and extended [3].

#### 3.1 Principles

Seen from the economic viewpoint the strategic target for structures is to construct new buildings sustainably and improve existing ones in a lasting manner. In this way the outlay for their upkeep can be drastically lowered in the long term. At the same time this signifies that funds are made available for investments in order to erect buildings and infrastructural facilities with a genuine additional economic value. Durable structures are not simply of interest in economic terms but represent a requirement in the interests of sustainability. This strategic aim can however only be achieved with experts, who are receptive to novel technologies and construction materials and also apply them.

Structures are durable providing their components “fulfil requirements pertaining to bearing safety and serviceability within the scope of the intended use and predictable effects without unforeseen outlay for maintenance”. This definition, which is anchored in the norms, requires that a durable structure does not sustain damage affecting the bearing safety or serviceability during the planned duration of use. Durability is a capability inherent in the structure during a certain time span and thus possesses the physical attribute – time.

For identifying dangers affecting durability it must be observed that extremely favourable conditions prevail for most damage processes given direct water contact and humidity in excess of 90 %. As a consequence most measures devised to safeguard durability are aimed at avoiding such situations. The efficacy of these measures is to be proved accordingly as follows during planning, execution and maintenance:

bei einer Feuchtigkeit grösser als 90 % vorherrschen. Demzufolge haben die meisten Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit zum Ziel, solche Situationen zu vermeiden. Die Wirksamkeit dieser Massnahmen ist bei der Projektierung, Ausführung und Erhaltung sinngemäss wie folgt nachzuweisen:

**Geplante Nutzungsdauer (als Anforderung)  $\leq$  Dauerhaftigkeit (als Leistungsvermögen).**

Dieser Nachweis erfolgt qualitativ, denn die erforderliche Dauerhaftigkeit eines neuen Bauwerks soll nicht berechnet, sondern durch ein vernünftig gewähltes „Vorhaltemass“ hergestellt werden.

Die erforderliche Dauerhaftigkeit kann grundsätzlich durch 2 Strategien hergestellt werden (Bild 1).

- Strategie A: Die Bauwerksteile werden so bemessen und konstruiert, dass sie während der Nutzungsdauer keine Instandsetzung benötigen. Diese Strategie ist in der Regel für das Tragwerk, für nicht zugängliche Bauteile sowie für feste Bestandteile von Ausrüstungsteilen zweckmässig.
- Strategie B: Während der Nutzungsdauer werden in regelmässigen Intervallen (geplante) Instandhaltungsarbeiten ausgeführt, beispielsweise für Verschleissteile von Ausrüstungsteilen, Oberflächenschutzsysteme oder Bestandteile, die einer Abnutzung ausgesetzt sind.

### 3.2 Massnahmen für dauerhafte Bauwerke aus Stahlbeton

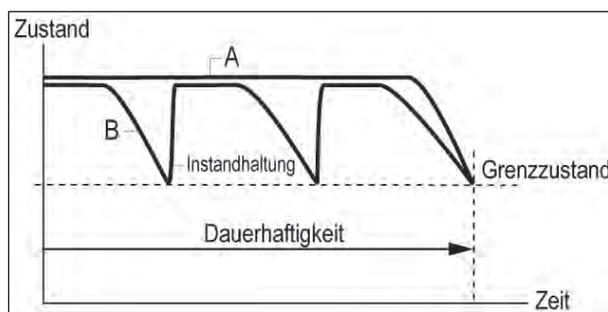
Die Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Betonbauten betreffen im Wesentlichen:

- einen möglichst dichten oberflächennahen Beton herzustellen,
- einen genügenden Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls zu gewährleisten und
- einen Oberflächenschutz zu applizieren.

#### 3.2.1 Dichtigkeit des oberflächennahen Betons

Je dichter der oberflächennahe Beton ist, umso grösser ist sein Widerstand gegenüber dem Eintrag von Wasser, Chloriden und anderen Stoffen. Dichter oberflächennaher Beton soll jedoch nicht nur gefordert, sondern auch bei der Qualitätssicherung nachgewiesen werden. Dies wurde als weltweites Novum in der Norm SIA 262 (2003), Ziffer 6.4.2 [4], verankert.

Die Dichtigkeit des oberflächennahen Betons kann gemäss 4 Permeabilitätsklassen (Bild 2) beschrieben werden, entsprechend dem Koeffizienten der Luftpermeabilität  $k_T$  nach der Torrent-Messmethode [5] gemäss Norm SIA 262/1 (2003) [6] und dem elektrischen Betonwiderstand  $\rho$ .



1 Strategien zur Herstellung der erforderlichen Dauerhaftigkeit  
Strategies to produce the necessary durability

**Planned duration of use (as requirement)  $\leq$  durability (as capability).**

Such proof follows qualitatively as the required durability of a new building should not be calculated but produced based on a sensibly chosen "allowance".

The required durability can essentially be attained by means of 2 strategies (Fig. 1).

- Strategy A: the structural parts are dimensioned and designed in such a way that they require no maintenance during the duration of use. This strategy is generally suitable for the bearing structure, for non-accessible structural elements as well as for fixed components of equipment parts.
- Strategy B: (scheduled) maintenance work is undertaken at regular intervals during the duration of use, for example for components subject to wear of equipment parts, surface protection systems or components, which are prone to wear.

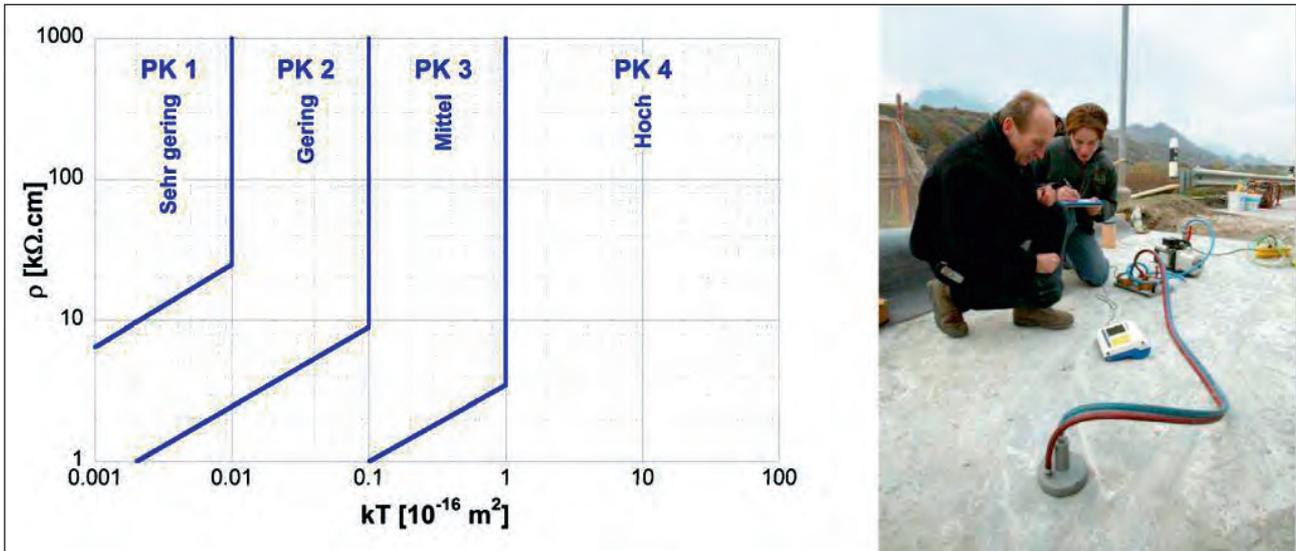
### 3.2 Measures for durable Structures made of reinforced Concrete

The measures devised to retain the durability of concrete buildings by and large relate to:

- producing a tight as possible concrete close to the surface,
- providing sufficient corrosion protection for the reinforcing steel and
- applying surface protection.

#### 3.2.1 Tightness of the Concrete close to the Surface

The tighter the concrete close to the surface is the greater is its resistance to ingressing water, chlorides and other substances. However tight concrete close to the surface should not just be demanded but also proved during quality control. This was anchored in Norm SIA 262 (2003), Section 6.4.2 [4], for the first time worldwide.



2 Permeabilitätsklassen PK für oberflächennahen Beton  
Permeability classes PK for concrete close to the surface

Die geforderte Permeabilitätsklasse (PK) wird in Abhängigkeit von der Expositionsklasse festgelegt. In jedem Fall ist heute wenigstens die Permeabilitätsklasse PK 3 zu fordern, was bei einer fachgerechten Ausführung mit herkömmlichem Beton ohne Weiteres erreichbar ist. Bei starker Exposition ist PK 2 zu fordern. Die Klasse PK 1 kann auch mit verbessertem, herkömmlichem Beton nicht erreicht werden. Falls die erreichte Dichtigkeit des oberflächennahen Betons den Anforderungen nicht genügt, kann beispielsweise mit einem Oberflächenschutz der erforderliche Widerstand gegen den Eintrag von Wasser und von chemischen Substanzen erreicht werden.

Die Dichtigkeit des oberflächennahen Betons sollte zusammen mit der Bewehrungsüberdeckung nicht nur bei der Bauausführung im Rahmen der Qualitätssicherung gemessen werden, sondern als wichtigste Kenngröße der Dauerhaftigkeit auch bei der Zustandserfassung von bestehenden Betonbauten systematisch aufgenommen werden.

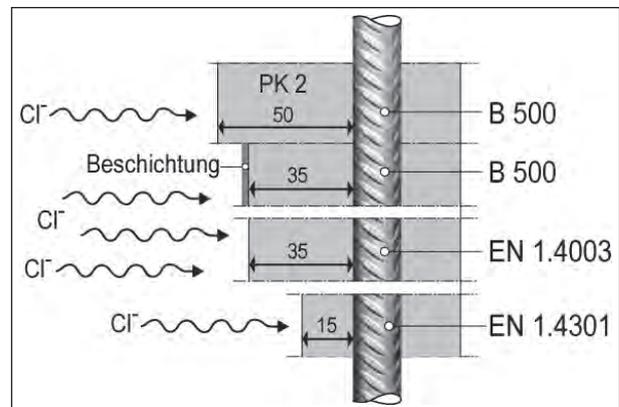
### 3.2.2 Korrosionsschutz der Stahlbewehrung

Um der Gefahr der Bewehrungskorrosion zu begegnen, werden in den heutigen Normen einzig Werte für die Dicke der Bewehrungsüberdeckung in Abhängigkeit von der Exposition angegeben. Ein genügender Korrosionsschutz der Bewehrung kann jedoch auf verschiedene Weise hergestellt werden. Bild 3 zeigt eine stark exponierte Wand und mögliche Korrosionsschutzmassnahmen:

- Seit ein paar Jahren werden vereinzelt hochlegierte, „nicht rostende“ Betonstähle (Stahl 1.4571, 1.4462, 1.4301) oder weniger hoch legierter Betonstahl (Stahl 1.4003) mit erhöhtem Korrosionswiderstand als direkt wirkende Massnahme für Bauteile eingesetzt, die starken Umwelteinflüssen ausgesetzt sind.

The tightness of the concrete close to the surface can be described according to 4 permeability classes (Fig. 2), in keeping with the air permeability coefficient  $kT$  according to the Torrent measuring method [5] in accordance with Norm SIA 262/1 (2003) [6] and the electric concrete resistance  $\rho$ .

The required permeability class (PK) is established in relationship to the exposure class. At any rate nowadays at least permeability class PK 3 must be called for, something that can easily be achieved when using conventional concrete in a professional manner. PK 2 should be called for given strong exposure. The class PK 1 cannot be attained even with improved, conventional concrete. Should the tightness arrived at by the concrete close to the surface not comply with requirements, the necessary resistance can be attained



3 Exposition (Spritzwasser) und mögliche Massnahmen  
(Bewehrungsüberdeckung in [mm])

Exposure (splash water) and possible measures (reinforcement covering in [mm])

Tabelle: Bewehrungsüberdeckung in Abhängigkeit der relevanten Parameter und für 100 Jahre

Exposition gemäss SIA 262 [4]	Permeabilität	Herkömmlicher Betonstahl B500/B450 [mm]	Stahl 1.4003 [mm]	Stahl 1.4301 oder besser [mm]
XD3	PK2	50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD2		50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD1		35	15 <sup>+</sup>	15 <sup>+</sup>
XD3	PK3	zusätzliche Massnahmen	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD2		zusätzliche Massnahmen	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD1		50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>

+ ) Die Betonüberdeckung darf aus Gründen der mechanischen Kraftübertragung 15 mm nicht unterschreiten.  
 ++ ) Betonstahl Typ EN 1.4003 mit erhöhtem Korrosionswiderstand muss sich bei Chlorideinwirkung immer im nicht karbonisierten Beton befinden, um seinen Korrosionswiderstand zu behalten.

- Indirekt wirkende Massnahmen betreffen den Überdeckungs- beton als Korrosionsschutzschicht für den Betonstahl, insbesondere seine Permeabilität und Schichtdicke, sowie verschiedene Oberflächenschutzmassnahmen. Indirekt wirkende Massnahmen unter Einsatz von herkömmlichem Betonstahl genügen in der Regel nur bei mittlerer und schwacher Exposition.

Die Tabelle zeigt die erforderliche Betonüberdeckung zur Gewährleistung eines über 100 Jahre genügenden Korrosionswiderstands für chloridbeanspruchte Bauteile in Abhängigkeit von der Stahlsorte, der Expositions- klasse sowie der Permeabilitätsklasse (PK) des oberflächennahen Betons. Die Werte wurden anhand von Simulationsrechnungen zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit der Initiierung der Bewehrungskorrosion erhalten [3, 7].

### 3.2.3 Oberflächenschutz

Bei stark aggressiven Einwirkungen ist es oft erforderlich, neben der Dichtigkeit des oberflächennahen Betons und der Bewehrungsüberdeckung, noch einen zusätzlichen Schutz herzustellen. Dies vor allem auch, weil bei der Bauausführung mit Fehlern zu rechnen ist. Die Applikation eines Schutzsystems an der Betonoberfläche kann dabei eine wirkungsvolle Massnahme sein. Solche Oberflächenschutzsysteme haben zum Ziel, den Feuchtigkeitszutritt zu begrenzen, um eine allfällige Bewehrungskorrosion und andere Schädigungen wegen ungenügender Betonfeuchtigkeit zu vermeiden.

Table: Reinforcement covering depending on the relevant parameters and for 100 years

Exposure according to SIA 262 [4]	Permeability	Conventional reinforcing steel B500/B450 [mm]	Steel 1.4003 [mm]	Steel 1.4301 or better [mm]
XD3	PK2	50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD2		50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD1		35	15 <sup>+</sup>	15 <sup>+</sup>
XD3	PK3	additional measures	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD2		additional measures	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>
XD1		50	35 <sup>++</sup>	15 <sup>+</sup>

+ ) The concrete covering must not exceed 15 mm for mechanical force transfer reasons.  
 ++ ) Reinforcing steel type EN 1.4003 with increased corrosion resistance must always be contained in non-carbonised concrete given the effect of chlorides in order to retain its corrosion resistance.

with surface protection against ingressing water and chemical substances.

The tightness of the concrete close to the surface should not simply be measured in conjunction with the reinforcement covering during the execution of construction within the framework of quality control but as essential parameters for the durability should also be systematically recorded when assessing the state of existing concrete buildings.

### 3.2.2 Corrosion Protection for the Steel Reinforcement

In order to counter danger presented by corrosion of the reinforcement, values are solely provided in today's standards for the thickness of the reinforcement covering related to the exposure. However sufficient corrosion protection for the reinforcement can be produced in various ways. Fig. 3 shows a pronouncedly exposed wall and possible corrosion protection measures:

- For a number of years occasionally high-alloyed "stainless" concrete reinforcing steels (steel 1.4571, 1.4462, 1.4301) or less high-alloyed reinforcing steels (steel 1.4003) with increased corrosion resistance have been deployed as directly acting measures for structural parts, which are subjected to strong environmental influences.
- Indirectly acting measures relate to the covering concrete as corrosion protection layer for the concrete reinforcing steel, particularly its permeability and layer thickness.

Junger Beton weist ein noch erhöhtes Wasseraufnahmevermögen auf und ist folglich vor allem gegenüber Frostschäden verletzbar. Eine Hydrophobierung des jungen Betons ist eine sinnvolle Schutzmassnahme, denn sie verhindert eine Wassersättigung des oberflächennahen Betons. Exponierte Betonflächen sollten deshalb heute systematisch hydrophobiert werden, wobei allerdings eine Tiefenhydrophobierung gefordert und auch anhand von Aufsaugversuchen nachgewiesen werden muss (Bild 4) [8].

#### 4 Mischbauweise mit hochleistungsfähigem Faserbeton, eine neuartige Bauweise

Bei sehr starker Exposition gegenüber Umwelteinwirkungen, bei Einwirkung grosser Kräfte und mechanischer Beanspruchung ist herkömmlicher Stahlbeton in der Regel nicht der richtige Baustoff. Er zeigt unerwartet früh Schäden, die oft aufwendige Instandsetzungen nach sich ziehen. Eine Antwort auf hohe Anforderungen bietet ein hochwertiger zementöser Baustoff, der ultrahochleistungsfähige Faserfeinkornbeton (kurz: hochleistungsfähiger Faserbeton).

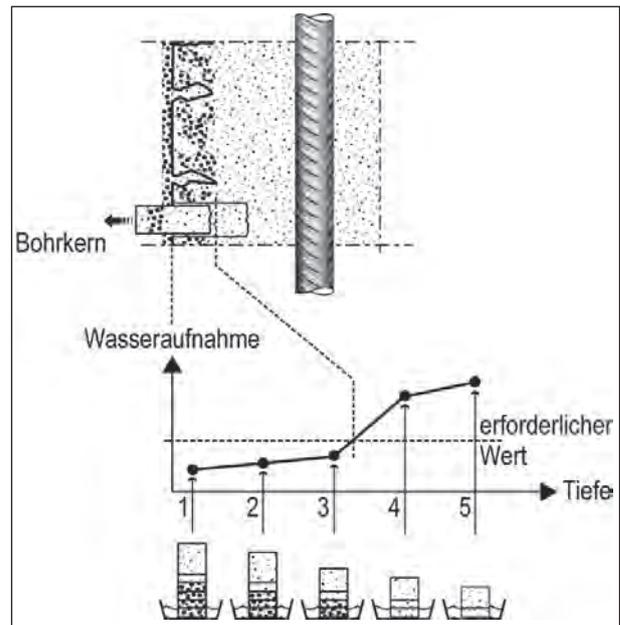
##### 4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Ist es sinnvoll, Stahlbetonbauten mit Querschnitten aus demselben Beton herzustellen? – Wenn man sich überlegt, welche Bereiche wie beansprucht sind, kommt man zum Schluss, dass die Verwendung nur einer Betonqualität nicht effizient sein kann. Turbinenschaukeln und andere technische Objekte bestehen auch aus unterschiedlichen Materialqualitäten.

Die Mischbauweise, bei der „edlere“ Baustoffe in stark beanspruchten Bereichen eingesetzt werden, ist ein neuartiges Konzept im Betonbau. Die Idee besteht darin, die als Schwachpunkte bekannten Bereiche eines Bauwerks mithilfe von verbesserten Baustoffen zu stärken.

Ultrahochleistungsfähiger Faserbeton (UHFB) ist ein solcher Baustoff. Er zeichnet sich durch eine hohe Dichtigkeit (Permeabilitätsklasse 1), hohe Festigkeiten und eine Rissfreiheit bis zu Verformungen von 1,5 bis 2,5 ‰ aus. Damit können gleichzeitig tragende und wasserdichte Membranen von 30 bis 60 mm Dicke auf diejenigen Bereiche aus herkömmlichem Stahlbeton aufgebracht werden, die durch Umwelteinflüsse oder hohe Kräfte stark beansprucht sind. Mit dem hochwertigen Baustoff können so die Schwachpunkte der Betonbauweise ausgemerzt und somit das Bauwerk insgesamt aufgewertet werden.

Das Potenzial dieser Idee besteht darin, den Bauvorgang zu vereinfachen, die Bauzeit zu verkürzen und insbesondere die Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit der Bauwerke deutlich zu verbessern. Dies ist vor allem bei Erhaltungsmaßnahmen interessant, denn dadurch können die Dauer der Baustelle und damit die Benutzerkosten wesentlich reduziert werden.



4 Nachweis der Tiefenhydrophobierung, nach [8]  
Proof of deep hydrophobicity according to [8]

Indirectly acting measures with the application of conventional reinforcing steel generally only suffice given average and weak exposure.

The Table displays the required concrete covering to ensure corrosion resistance sufficing for 100 years of service life for structural parts exposed to chlorides depending on the type of steel, the exposure class as well as the permeability class (PK) of the concrete close to the surface. The values are obtained through simulation analyses to determine the probability of the initiation of reinforcement corrosion [3, 7].

##### 3.2.3 Surface Protection

In the event of strongly aggressive effects it is often necessary to provide additional protection apart from the tightness of the concrete close to the surface and the reinforcement covering. This is necessary above all because mistakes in the carrying out of construction can be reckoned with. The application of a protective system on the concrete surface can act as an effective measure in this case. Such surface protection systems have the aim of limiting the penetration of moisture to avoid possible reinforcement corrosion and other damage owing to insufficient concrete moisture.

Young concrete still possesses an increased water absorption capacity and is thus primarily susceptible to damage by frost. Hydrophobicity of the young concrete represents a purposeful protective measure for it prevents water saturation of the concrete close to the surface. Exposed concrete surfaces should thus be systematically hydrophobi-

Obwohl der Materialpreis für UHFB sehr hoch ist, müssen bei dessen Anwendung die Baukosten nicht höher sein als bei den heute noch üblichen Methoden, denn die Bauweise bietet gegenüber den üblichen Baumethoden kostenwirksame Vorteile bei der Ausführung und später bei der Erhaltung. Denken in Systemen und Bauweisen ist mehr gefragt als das „m<sup>3</sup>-Materialpreis“-Denken!

#### 4.2 Konzeptidee

Die grundlegende Idee besteht darin, eine UHFB-Schicht von 30 bis 80 mm Dicke in denjenigen Bauwerkszonen einzusetzen, die starken mechanischen Einwirkungen und aggressiven Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Dadurch werden die bestehenden Betonbauten durch ein „Härten“ dieser stark exponierten Bereiche dauerhaft verbessert und falls notwendig verstärkt. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass das Tragwerk verstärkt werden kann, ohne dass es zu einer bedeutenden Erhöhung des Eigengewichts kommt. Verstärkungen anderer Tragwerksteile können so vermieden werden.

Das Ergänzen von bestehendem Stahlbeton mit UHFB führt zu Verbundbauteilen. Als Querschnitte ergeben sich 2 Grundkonfigurationen (Bild 5):

- In der Konfiguration P übt der UHFB eine Schutzfunktion aus und wirkt als Abdichtungsschicht. Der Querschnitt besteht aus einem Stahlbetonbauteil und einer dünnen UHFB-Schicht von 25 bis 35 mm.
- Die Konfiguration R besteht aus einer Stahlbeton- und einer bewehrten UHFB-Schicht von 30 bis maximal 80 mm Dicke. Mit dieser Konfiguration wird das Tragvermögen erhöht und gleichzeitig die Schutzfunktion erfüllt. So werden 2 Funktionen in einem Arbeitsgang hergestellt, womit bei der Ausführung ein wesentlicher Zeitgewinn erzielt werden kann.

cised nowadays, whereby deep hydrophobicity is required and must be proved on the basis of absorption tests (Fig. 4) [8].

#### 4 Composite Construction with high-strength Fibre Concrete, a novel Construction Method

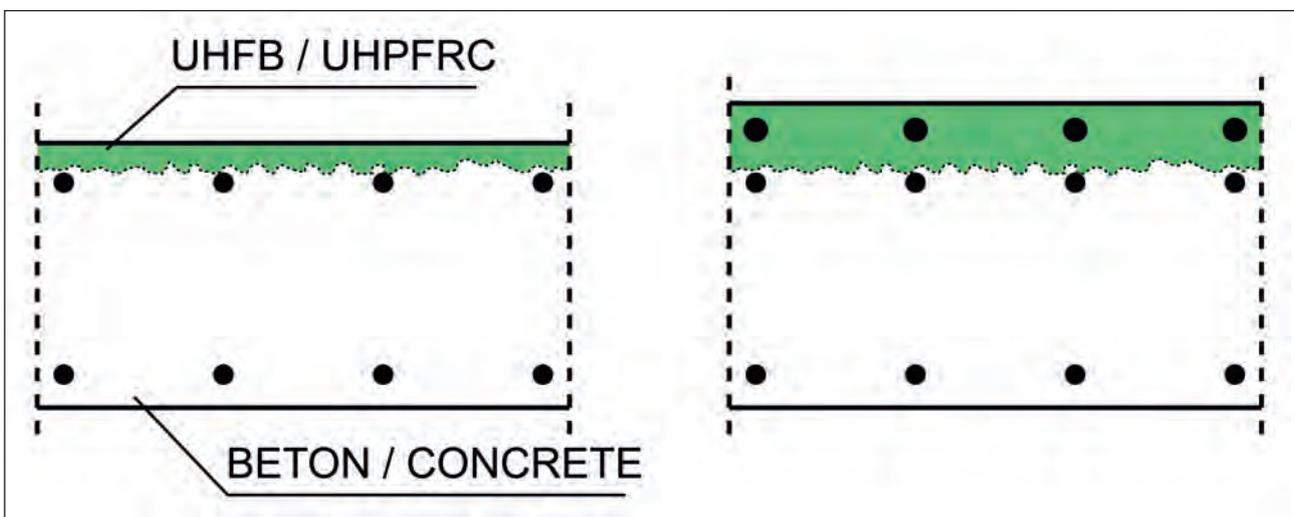
In the event of pronounced exposure to environmental influences, the action of major forces and mechanical stress, conventional reinforced concrete is generally not the proper construction material. It reveals unexpected damage at an early stage, which often involves complicated maintenance. A response to high demands is provided by a high-grade cementitious material, ultra high-performance fibre fine-grain concrete (known as ultra high-grade concrete for short).

#### 4.1 Fundamental Considerations

Does it make sense to produce reinforced concrete buildings with cross-sections made from the same concrete? If one considers which areas are subjected to stress, one reaches the conclusion that the application of only one concrete quality cannot be efficient. Turbine blades and other technical appliances also consist of different qualities of material.

The composite construction method, where “nobler” materials are used for highly stressed areas, represents a novel concept in concrete construction. The idea is to strengthen areas of a building recognised as weak points with the aid of improved construction materials.

Ultra high-performance fibre concrete (UHFB) is such a material. It is characterised by high tightness (permeability class 1), high strengths and is free of cracks up to deformations of 1.5 to 2.5 %. In this way bearing and watertight membranes some 30 to 60 mm thick can be installed on those areas comprising conventional reinforced concrete,



5 Konzeptidee Verbundbauteile aus UHFB und Stahlbeton  
Conceptual idea for composite structural parts made of UHFB and reinforced concrete

Die bisherigen Forschungsarbeiten an der ETH Lausanne (EPFL) seit rd. 10 Jahren [9] bestätigen, dass UHFB das Tragverhalten und die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen deutlich verbessern kann. Zudem wurden Ingenieurmodelle entwickelt, mit denen das Tragverhalten von UHFB-Stahlbeton-Verbundbauteilen zuverlässig vorhergesagt werden kann. Diese Erkenntnisse wurden bereits mehrmals bei Instandsetzungen und Verbesserungen von Bauteilen aus Stahlbeton (Fahrbahnplatten, Pfeiler und Leitmauern von Brücken, Hochbaudecke) unter Baustellenbedingungen umgesetzt [10].

Gemäss der in Bild 5 dargestellten Konzeptidee erscheint es zur weiteren Tragwiderstandssteigerung sinnvoll, UHFB vornehmlich in der Hauptbeanspruchungsrichtung mit Stabstählen zu bewehren. Um den Zuwachs an Eigengewicht gering zu halten, liegt das Augenmerk hauptsächlich auf UHFB-Bauteilen oder -Deckschichten geringer Dicke (30 bis 50 mm). Diese Abmessungen sind ausreichend, um Stabstähle bis 10 mm Durchmesser korrosionsgeschützt in UHFB einzubetten, da die Durchlässigkeit von UHFB von aggressiven Substanzen sehr gering ist.

Mit den genannten Abmessungen und Durchmessern können erhebliche Zugkräfte aufgenommen und deutliche Steigerungen des Tragwiderstands bei der Verwendung von bewehrtem UHFB in Verbundbauteilen erreicht werden. Verstärkungen mit bewehrtem UHFB erlauben – durch einen beachtlichen Steifigkeitsgewinn der Tragwerksteile – auch eine Steigerung der Gebrauchstauglichkeit. Die UHFB-Deckschicht kann aufgrund ihrer geringen Permeabilität als Abdichtungsschicht eingesetzt werden. Zudem wird die für UHFB-typische Streuung der mechanischen Eigenschaften aufgrund anisotroper Faserorientierung durch die Verwendung von Stabstählen deutlich reduziert. Bewehrter UHFB ist durch die ihm eigene Redundanz ebenfalls dazu geeignet, die Robustheit von Bauwerken zu steigern.

### 4.3 Beispiel einer Anwendung

Als Beispiel einer Anwendung im Tiefbau wird nachfolgend die Instandsetzung der Verschleisschicht eines 4,3 % geneigten Kanals einer Hochwasserentlastung beschrieben [6]. Der Bereich der Kanalsole wird durch den Geschiebetransport und den Wasserfluss sehr stark auf Abrasion beansprucht. Die bisher eingesetzten Oberflächensysteme vermochten dieser Beanspruchung nur über wenige Jahre standzuhalten. Aufgrund seiner Dichtigkeit und sehr hohen Festigkeit weist UHFB gegenüber herkömmlich eingesetzten Baustoffen einen vergleichsweise hohen Abriebwiderstand auf, was ihn für diese Anwendung prädestiniert.

Das Instandsetzungsprojekt besteht darin, die Sole des Kanals mit vorfabrizierten UHFB-Schalenelementen mit einer Dicke von 50 mm auszukleiden (Bild 6). Der Bauvorgang sieht vor, nach dem Entfernen der bestehenden

which is subjected to pronounced stresses resulting from environmental influences or high forces. Thanks to this high-grade construction material weak points in constructing with concrete can be eliminated and in turn the structure as such upgraded.

The potential provided by this idea relates to simplifying the construction procedure, shortening the construction period and especially considerably improving the durability and economy of buildings. This is particularly of interest for preservation measures for as a result the duration of a construction site and in turn the costs for usage can be considerably reduced.

Although the material price for UHFB is very high, construction costs for this application must not be any higher than for the usual methods applied today for the method offers cost-effective advantages compared to customary methods during its execution and later on during maintenance. Thinking in systems and construction methods is needed more than thinking in “m<sup>3</sup> of material price”.

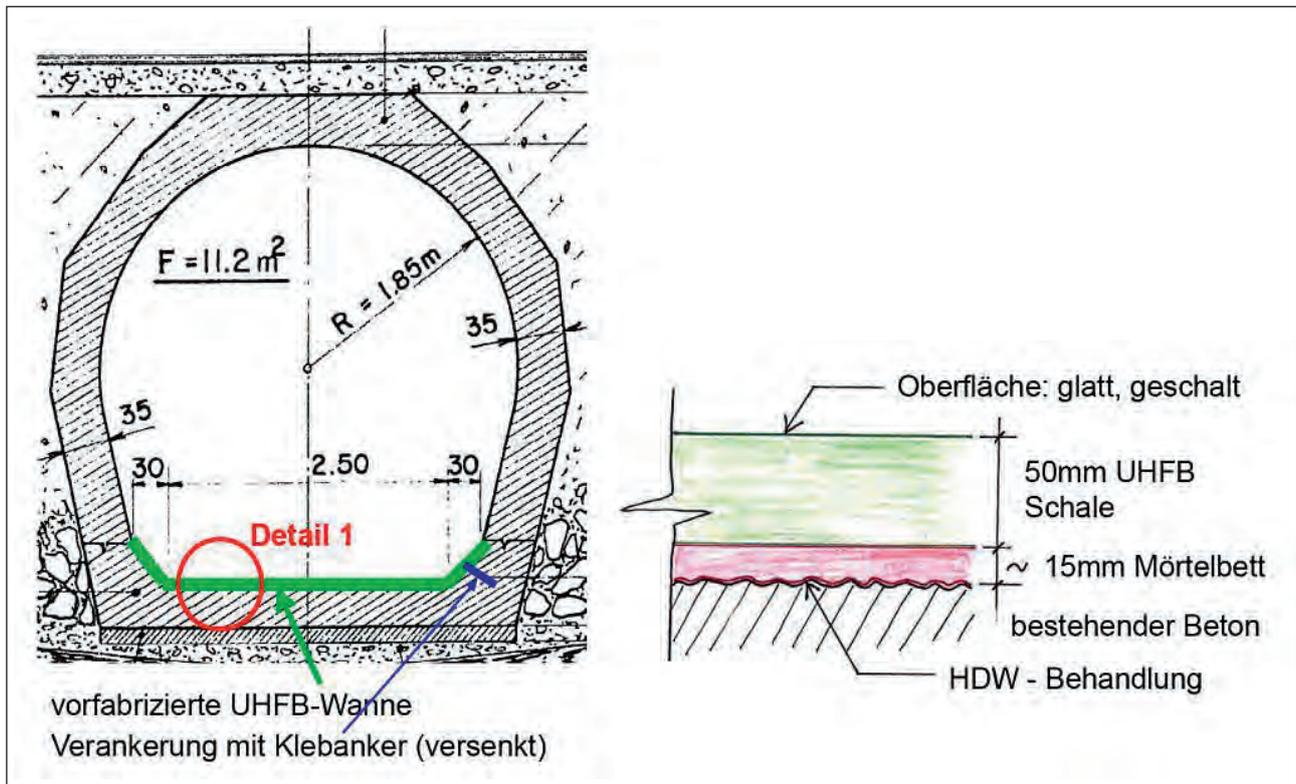
### 4.2 Conception

The basic idea constitutes installing a 30 to 80 mm thick UHFB layer in those structural zones, which are exposed to strong mechanical effects and aggressive environmental influences. In this way existing concrete buildings will be lastingly improved by the “hardening” of these exposed areas and strengthened if necessary. A further advantage relates to the fact that the bearing structure can be reinforced without its intrinsic weight being excessively increased. In this way the strengthening of other bearing structure parts can be avoided.

Adding UHFB to existing reinforced concrete leads to composite elements. Two basic configurations result as cross-sections (Fig. 5):

- In Configuration P the UHFB exerts a protective function and acts as a sealing layer. The cross-section consists of a reinforced concrete element and a thin UHFB layer of 25 to 35 mm.
- The Configuration R consists of a reinforced concrete and a reinforced UHFB layer of from 30 to a maximum of 80 mm thick. Thanks to this configuration the bearing capacity is increased and at the same time the protective function fulfilled. In this way 2 functions are produced in a single operation with a considerable amount of time being gained during its execution.

Research work carried out so far at the ETH Lausanne (EPFL) over a roughly 10 year period [9] confirms that UHFB can considerably improve the bearing capacity and durability of reinforced concrete parts. In addition engineering models were developed by means of which the bearing behaviour of UHFB-reinforced steel composite



6 Auskleidung der Sohle eines Hochwasserentlastungskanals mit UHFB  
Lining the floor of a flood discharge with UHFB

Beschichtung und der HDW-Behandlung der Betonoberfläche, zuerst eine Ausgleichsschicht aus Mörtel herzustellen und danach die vorfabrizierten UHFB-Schalenelemente auszulegen und im Beton des bestehenden Kanalrohrs zu verankern. Die Querfugen zwischen den UHFB-Elementen werden gemäss Detail 2 in Bild 7 verklebt oder vergossen.

## 5 Folgerungen

Der Haupttrend im Betonbau geht dahin, Bewährtes durch neuartige Baustoffe zu ergänzen und zu verbessern. Stichworte sind die Herstellung von Zementen und Betonen unter Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission, Recyclingbeton, Dämmbeton, hochfeste Betone oder hochleistungsfähige Faserbetone. Dadurch ist in den letzten 20 Jahren eine Vielfalt von Baustoffen entstanden, die je nach Anforderungen gezielt eingesetzt werden können.

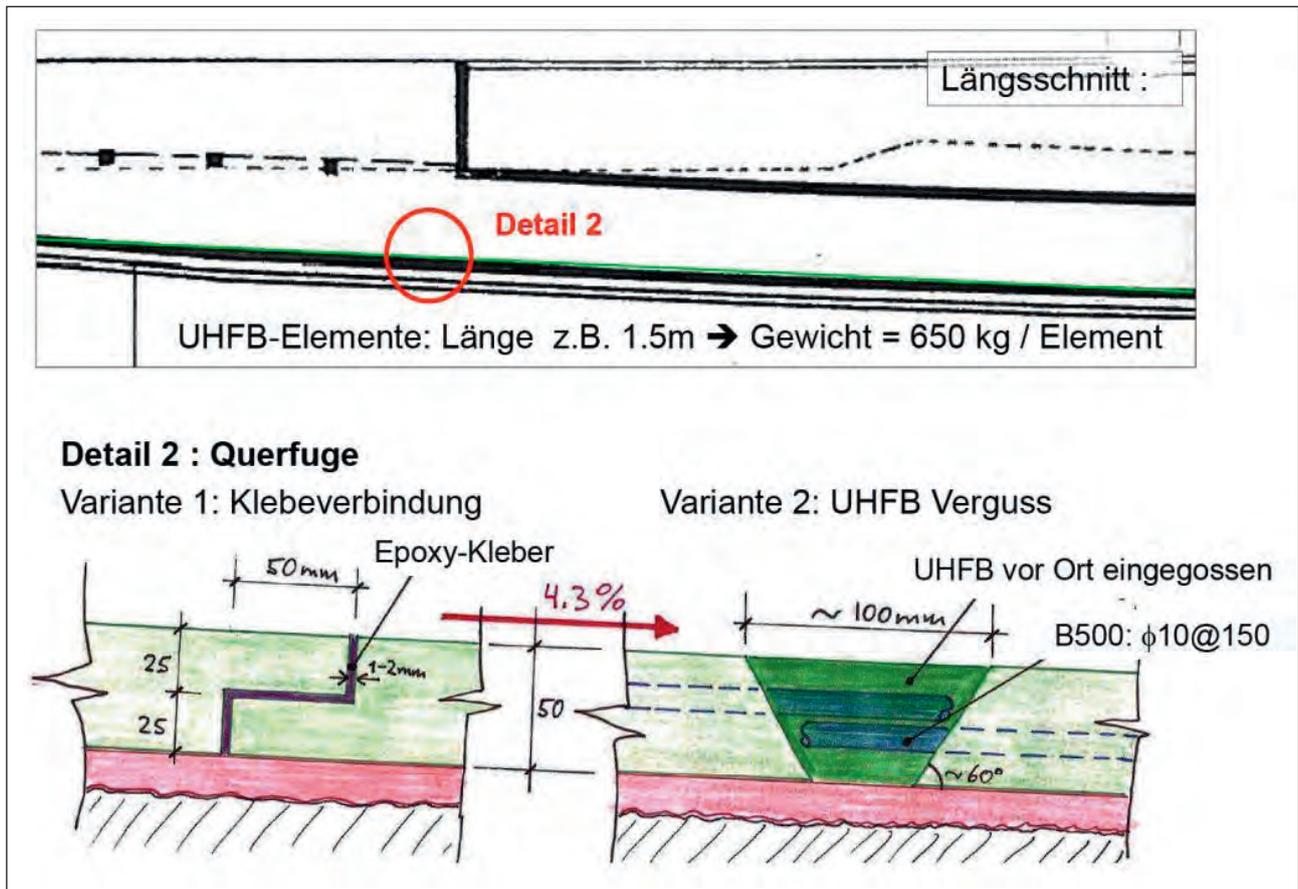
Die Dauerhaftigkeit von Beton und Betonbauten bleibt weiterhin ein zentrales Thema. Mit dem heutigen Fachwissen lässt sich eine genügende Dauerhaftigkeit von Betonbauten ohne Weiteres erreichen, falls die am Bau Beteiligten diszipliniert und professionell zusammenarbeiten.

Neuartige Baustoffe ermöglichen dauerhaftere und leistungsfähigere Bauwerke. Ultrahochleistungsfähige Faser-

elements can be reliably predicted. These findings have already been applied on several occasions for maintaining and improving structural elements made of reinforced concrete (carriageway slabs, pillars and guide walls of bridges, building floors) under on site conditions [10].

In accordance with the conceptual idea presented in Fig. 5 it appears to make sense in order to increase the bearing resistance even further to use UHFB primarily in the main direction of stress reinforced with steel bars. To ensure that the intrinsic weight remains low, the focus is largely on UHFB construction sites or covering layers, which are not particularly thick (30 to 50 mm). These dimensions suffice to embed steel bars of up to 10 mm diameter in UHFB protected against corrosion as the permeability of UHGB to aggressive substances is extremely low.

Substantial tensile forces can be accepted and evident increases in the bearing resistance attained when using reinforced UHFB in composite structural parts given the cited dimensions and diameters. Strengthening with reinforced UHFB caters for an increase in serviceability as well as a considerable gain in stiffness of the bearing structural parts. The UHFB covering layer can be regarded as a sealing layer on account of its low permeability. Furthermore the typical spread of mechanical properties on account of anisotropic fibre alignment is substantially reduced by using steel bars. Reinforced UHFB is also suitable for



7 Detail der Querfuge aus Bild 6  
The cross joint from Fig. 6 in detail

betone (UHFB) öffnen das Feld für neuartige Konzepte für die Erhaltung und den Neubau von Betonbauten. Die Grundidee ist, den besseren Baustoff UHFB dort zu verwenden, wo die Beanspruchung hoch ist. Die Verbindung von Schutzfunktion und Tragfunktion in einem Bauvorgang ist der Schlüssel zu einer wirtschaftlichen Bauweise.

### Literatur

- [1] Lunk, P.: Zement und Beton von morgen, Swiss Steel Fachtagung „Neue Wege im Stahlbetonbau II“, 20. 11. 2008, Emmenbrücke
- [2] Merkblatt SIA 2030 Recyclingbeton, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2010
- [3] Brühwiler, E.; Denarié, E.; Wälchli, T.; Maitre, M.; Conciatori, D.: Dauerhafte Kunstbauten bei geringem Unterhalt – Ausgewählte Kapitel. VSS-Bericht Nr. 587, VSS Zürich, 2005 (mit „Empfehlungen für dauerhafte Kunstbauten bei geringem Unterhalt“ [nicht veröffentlicht])
- [4] Norm SIA 262 Betonbau, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003
- [5] Torrent R.; Frenzer G.: Studie über Messmethoden zur Messung und Beurteilung der Kennwerte des Über-

increasing the robustness of buildings through its own redundancy.

### 4.3 Example of an Application

In the following repairing the wear layer of a 4.3 % inclined sewer for a flood discharge is described as an example in underground engineering [6]. The sewer's floor area is extremely affected by abrasion on account of bed-load transport and the flow of water. The surface systems so far deployed will only be able to cope with this load for a few years. Thanks to its tightness and very high strength UHFB possesses a comparatively high abrasion resistance compared to conventional construction materials, something which predestines it for this application.

The repair work relates to lining the floor of the sewer with prefabricated UHFB shell elements which are 50 mm thick (Fig. 6). The construction process first of all foresees the creation of a compensatory layer made of mortar and subsequently placing the prefabricated UHFB shell elements, anchoring them in the concrete of the existing sewer pipe after removing the existing coating and high-pressure water treatment of the concrete surface. The

deckungsbetons auf der Baustelle, VSS-Bericht Nr. 516, VSS Zürich, 1995

- [6] Norm SIA 262/1 Betonbau – Ergänzende Bestimmungen, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003
- [7] Conciatori, D.: Effet du microclimat sur l'initiation de la corrosion des aciers d'armature dans les ouvrages en béton armé, Thèse n° 3408, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 2005
- [8] Meier, S. J.; Wittmann, F. H.: Hydrophobieren von Betonoberflächen – Empfehlungen für Planung und Applikation, VSS-Bericht Nr. 591, VSS Zürich, 2005
- [9] mcs.epfl.ch 2010. <http://mcs.epfl.ch/> siehe unter Publikationen
- [10] Brühwiler, E.; Denarié, E.; Oesterlee, C.: Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton, VSS-Bericht, Forschungsauftrag AGB 2005/004, VSS Zürich, 2010

cross joints between the UHFB elements are according to detail 2 in Fig. 7 glued or moulded.

### 5 Conclusions

The main trend in constructing with concrete aims at complementing and improving established materials by new ones. Key issues here relate to the manufacture of cements and concretes while reducing CO<sub>2</sub> emission, recycling concrete, insulating concrete, high-strength concretes or high performance fibre concretes. As a consequence a diversity of construction materials has been evolved during the past 20 years, which can be purposefully applied depending on requirements.

The durability of concrete and buildings made of concrete still remains a central theme. With the amount of specialised knowledge available today sufficient durability of concrete buildings can certainly be arrived at providing those involved in the project collaborate in a disciplined and professional manner.

Novel construction materials facilitate more durable and outstanding buildings. Ultra high-grade fibre concretes (UHFB) open up opportunities for the maintenance of concrete buildings and the production of new ones. The basic idea in this case is to make use of the better material UHFB where high stress has to be contended with. The link between protective function and bearing function in a single construction procedure represents the key to an economic construction method.



Benedikt Schneider, Regionenleiter Bau- und Anwendungstechnik, Holcim (Schweiz) AG, Würenlingen/CH

# Beton im Untertagebau, Teil 1

## Bedeutung des Zementleims

Tunnelausbruch, welcher für die Betonherstellung eingesetzt wird, unterscheidet sich in vielen chemischen und physikalischen Beschaffenheiten gegenüber alluvial abgelagerten Gesteinskörnungen. Die nachfolgenden Ausführungen sollen aufzeigen, wie unter anderem auch mit Tunnelausbruchmaterial die geplante Verarbeitbarkeit des Betons erreicht wird.

# Concrete in Underground Construction, Part 1

## Significance of Cement Paste

Tunnel aggregate, which is used for producing concrete, differs in many chemical and physical ways compared to alluvially deposited aggregates. The following report is intended to show among other things how excavated material from tunnels can be employed to attain the planned workability of the concrete.

### 1 Einleitung

Die Verwendung von Tunnelausbruchmaterial für die Betonherstellung ist heute Stand der Technik. Am Gotthard-Basistunnel wird täglich bewiesen, dass die an den Festbeton gestellten Anforderungen auch mit Tunnelausbruchmaterial sicher erreicht werden, einige Anforderungen sogar mit grossen Reserven. Ein Grund dafür sind sicher die umfassenden Vorabklärungen mit verschiedensten Tunnelausbruchmaterialien und dem von der AlpTransit Gotthard AG durchgeführten Betonsystem 96.

Bei Tunnelvortrieben in den Alpen wird selten nur ein Gesteinstyp aufgefahren. Sehr oft, manchmal sogar täglich, wechseln die petrografischen Zusammensetzungen der Gesteinskörnung. Diese Wechsel beeinflussen häufig die Verarbeitbarkeit des Betons. Mit einer an den Tunnelausbruch angepassten Betonzusammensetzung können einige auf die Verarbeitbarkeit wirkende Einflüsse reduziert oder gar ausgeschaltet werden.

Tabelle 1: 5-Stoff-System Beton

5-Stoff-System Beton		
Bezeichnung		Betonausgangsstoffe
Matrix	Mehlkornleim	Zement
		Wasser
		Zusatzmittel
	Mehlkornmatrix (fest)	Zusatzstoffe
		Gesteinskörner $\leq 0,125$ mm
Korngerüst		Gesteinskörner $\geq 0,25$ mm

### 1 Introduction

The application of tunnel excavated material for producing concrete is state of the art nowadays. It is proved daily at the Gotthard Base Tunnel that the demands placed on solid concrete can safely be arrived at with excavated material from tunnels as well, some requirements in fact are fulfilled with a great deal to spare. The reasons for this are the essential pre-clarifications involving all kinds of excavated materials and the Concrete System 96 carried out by the AlpTransit Gotthard AG.

It is rare to only come across one type of rock when driving in the Alps. Extremely often, even daily the petrographical compositions of the aggregates change. Such changes often influence the concrete's workability. With a concrete composition adapted to the excavated material certain influences having an effect on workability can be reduced or even eliminated.

Table 1: 5-Material System Concrete

5-Material System Concrete		
Description		Concrete basic materials
Matrix	Powder paste	Cement
		Water
		Admixtures
	Powder matrix (solid)	Additives
		Aggregates $\leq 0.125$ mm
Granular structure		Aggregates $\geq 0.25$ mm

## Le béton dans la construction souterraine, 1ère partie

### L'importance de la pâte de ciment

Le matériel d'excavation de tunnel utilisé pour la fabrication de béton se différencie des granulats de sédiments alluviaux par de nombreuses particularités chimiques et physiques. Les présentations suivantes ont pour but de montrer comment l'aptitude de mise en œuvre prévue pour le béton est également obtenue entre autres avec du matériel d'excavation de tunnel.

## Il calcestruzzo nella costruzione in sotterraneo, parte 1

### Importanza della pasta di cemento

Il materiale di scavo da gallerie impiegato per la produzione di calcestruzzo si differenzia per molte caratteristiche fisiche e chimiche dagli aggregati di deposito alluvionale. Le seguenti presentazioni intendono dimostrare come anche con il materiale di scavo di galleria si possano ottenere le caratteristiche di lavorabilità previste per il calcestruzzo.

## 2 Beton: ein 5-Stoff-System

Mit den vielen Kombinationsmöglichkeiten der Betonausgangsstoffe können die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen für die Bauausführung erfüllt werden (Tabelle 1).

Jeder einzelne Bestandteil – oder in Kombination auch mehrere – kann sich sowohl positiv als auch negativ auf Verarbeitung, Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit auswirken.

### 2.1 Frischbeton

Frischbeton ist ein Gemenge aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen, dessen rheologisches Verhalten durch das Zusammenwirken dieser 3 Stoffphasen bestimmt wird. Bei Bewegung und Verformung des Frischbetons bewegen sich die groben Gesteinskörnungen in einem mehr oder weniger fließfähigen Leim. Das bedeutet, dass sich eine Suspension aus Wasser, Zement, Betonzusatzstoffen, Betonzusatzmittel, feiner Gesteinskörner und Luftporen bildet.

### 2.2 Kornzusammensetzung

Sand und grobe Gesteinskörnung des Betons sollen so zusammengesetzt sein, dass die erforderliche Konsistenz mit einem möglichst geringen Wassergehalt erreicht wird. Günstig sind Kornzusammensetzungen, also Sieblinien, bei welchen die Zwickel im Beton zwischen den groben Körnern durch feinere ausgefüllt werden. Erkennbar sind solche Kornzusammensetzungen an einer grösstmöglichen Packungsdichte. Das heisst, dass das Volumen der Gesteinskörnungen der Schüttung bezogen auf das Gesamtvolumen möglichst gross und daher das Volumen der in den Zwickelräumen verbleibenden Luft möglichst klein ist (Bild 1, Tabelle 2).

Für die Zusammensetzung des Sandes und der groben Gesteinskörnungen haben sich in der Praxis die „günstigen“ (A/B) und „brauchbaren“ (B/C) Sieblinienbereiche als besser geeignet erwiesen. Da die gröberen Gesteinskörnungen im

## 2 Concrete: a 5-Material System

The technical and economic requirements for executing construction can be fulfilled with the many combination possibilities of the basic materials for concrete (Table 1):

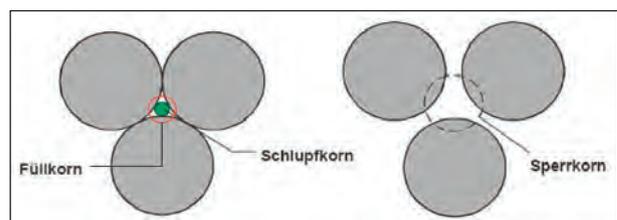
Each individual component or combinations of several of them can exert a positive or negative influence on the workability, compressive strength and durability.

### 2.1 Fresh Concrete

Fresh concrete represents a mix of solid, liquid and gas-form components, whose rheological behaviour is governed by the interaction of these 3 material phases. The coarse aggregates move in what is a more or less flowable paste while the fresh concrete is in motion and forming. The outcome is the formation of a suspension consisting of water, cement, concrete additives, concrete admixtures, fine aggregates and air pores.

### 2.2 Granular Composition

Sand and coarse aggregate of the concrete should be constituted in such a way that the required consistency is attained with as little water content as possible. Advantageous are such granular compositions or grading curves, in the case of which the gaps between the coarse grains are filled up with finer ones. Such granular compositions are recognisable when they possess the greatest possible packing density. In



1 Füllkorn, Schlupfkorn und Sperrkorn  
Filler, slipping and blocking grains

Tabelle 2: Füllkorn, Schlupfkorn und Sperrkorn

Füllkorn	Korngrösse, die gerade in die Zwikel zwischen den nächstgrösseren Körnern passt, wenn sie nacheinander eingebracht werden kann (Modell von Kugelpackungen)
Schlupfkorn	Korngrösse, die in die Zwikel zwischen den nächstgrösseren Körnern eingerüttelt werden kann, wenn die grobe Schüttung zuerst eingebracht wurde
Sperrkorn	Korngrösse, die etwas grösser als das Füllkorn ist und daher die dichteste Lagerung der grösseren Körner verhindert

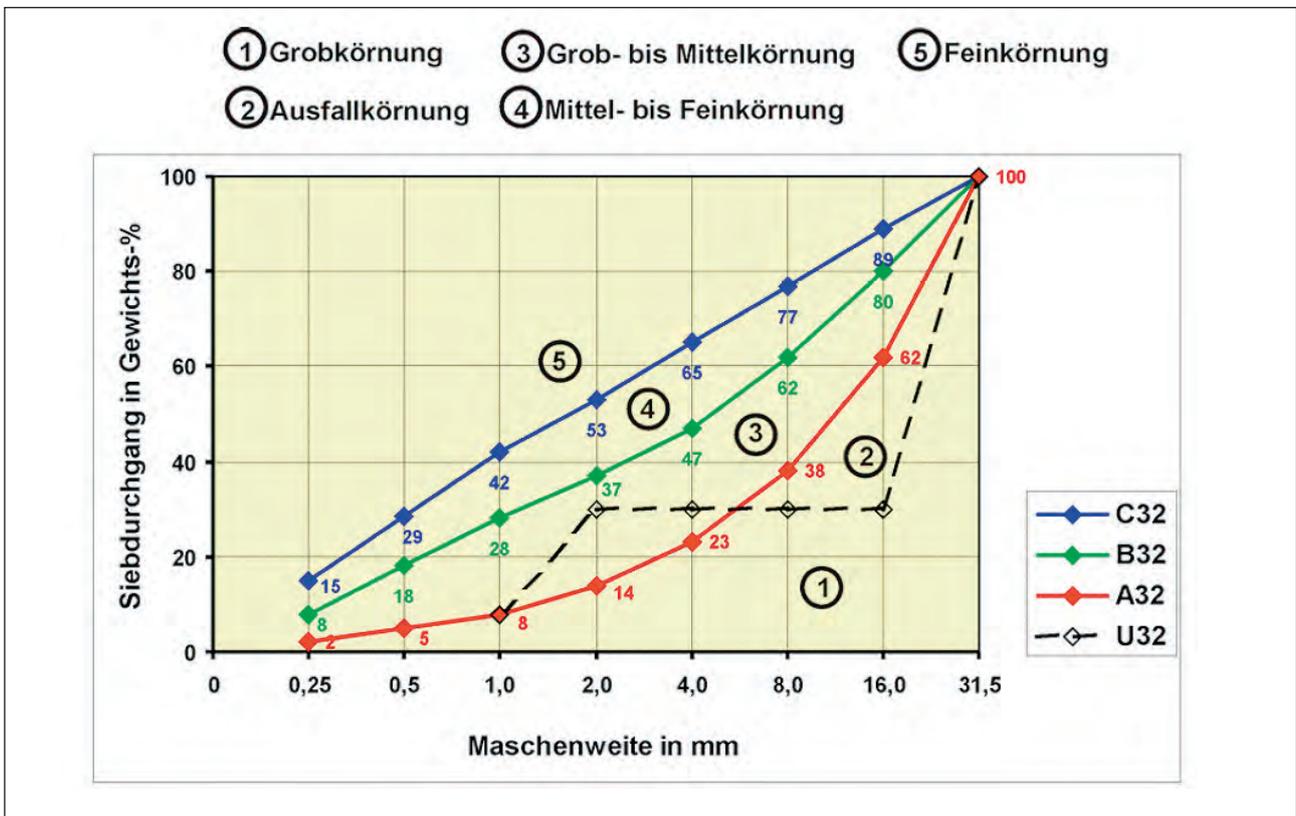
Table 2: Filler, Slipping and Blocking Grain

Filler grain	Grain size, which just fits into the gap between the next largest grains, providing they can be placed one after the other (model of cubic packing)
Slipping grain	Grain size, which can be vibrated into the gap between the next largest grains, once the coarse material has been placed
Blocking grain	Grain size, which is slightly larger than filler grain thus preventing the most compact bedding of the coarser grains

Vergleich zum Sand oder gar Mehlkorn weniger Wasser erfordern, um die nötige Konsistenz zu erzielen, wählt man in der Regel eine möglichst grobkörnige Kornzusammensetzung. Bei 32 mm Grösstkorn und einer Kornzusammensetzung in der Mitte des günstigen Bereiches (Sieblinie AB 32) sowie rundlichen, gedrunenen Gesteinskörnern verbleibt in den Zwickeln zwischen den Gesteinskörnern ein Hohlraum von nur etwa 27 %, der mit Mehlkornleim gefüllt werden muss. Werden Gesteinskörnungen aus Tunnelausbruchmaterial verwendet, kann der Hohlraum bei gleicher Sieblinie bis auf 35 % steigen. Das bedeutet eine Wasserzunahme von 270 auf 350 l/m<sup>3</sup> (Bild 2).

other words that the volume of the aggregates from the fill is as large as possible relating to the total volume and consequently the air remaining in the intervening gaps is as small as possible (Fig. 1, Table 2).

For the composition of the sand and the coarse aggregates in practice the "advantageous" (A/B) and "suitable" (B/C) grading curve sectors have turned out to be more beneficial. As the coarser aggregates require less water compared to sand or even powder normally an as large as possible granular composition is selected in order to attain the required consistency. Given 32 mm maximum grain and a granular composition



2 Sieblinie 32 mm  
32 mm grading curve

### 2.2.1 Hohlraumgehalt – Kornform

Der Hohlraumgehalt beträgt bei gleich grossen Kugeln mit gegenseitiger „Tuchföhlung“ – gegenseitige Beröhrung – bei kubischer Mittelpunktstellung der Kugeln ca. 48 % und bei oktaedrischer und tetraedischer Mittelpunktstellung ca. 26 %. Die Tuchföhlung wird verhindert, wenn zu den Einkornkugeln Kugeln einer anderen Grössenordnung, sogenannte „Sperrkugeln“, hinzukommen. Das Minimum des Hohlraumgehaltes kann erreicht werden, wenn bei einer „gesetzmässigen Ausfallkörnung“ die Sandkorngruppe ein echtes „Schlupfkorn“ ist. Das bedeutet, dass die Sandkorngruppe durch alle Engpässe der grösseren Korngruppen hindurchschlüpfen kann.

Bei Gesteinskörnung, welche aus Tunnelausbruch gewonnen wird, wird die Kornform von der Petrografie und der Art der Aufbereitung stark beeinflusst. Die Art des Brechens, z. B. Hammerbrecher, Kegelbrecher etc., und der Einsatz einer Kornrundungsmaschine können den Hohlraumgehalt stark beeinflussen bzw. reduzieren.

### 2.2.2 Bestimmung des Hohlraumgehaltes

Als Erstes wird die Schüttdichte ermittelt. Die getrocknete Gesteinskörnung wird mit der gewünschten Kornzusammensetzung in einen Behälter mit einem bekannten Volumen (z. B. 10 l) geschüttet. Die Gesteinskörnung wird auf der Oberkante des Behälters sauber abgestrichen. Danach wird das Gewicht der Gesteinskörnung gemessen und für das Volumen von 1 m<sup>3</sup> umgerechnet: Zur Bestimmung des Hohlraumgehaltes ist der Mittelwert aus 3 Messungen zu ermitteln. Bei Gesteinskörnungen aus dem Schweizer Mittelland kann von einer Dichte von 2650 bis 2700 kg/m<sup>3</sup> ausgegangen werden. Bei Tunnelmaterial muss die Dichte regelmässig geprüft werden, da diese sehr stark schwanken kann. Der Hohlraumgehalt der Gesteinskörnung lässt sich folgendermassen berechnen:

- 10 l Gesteinskörnung wiegen 19,1 kg
- Schüttdichte:  $(19,1 \text{ kg}/10 \text{ l}) \times 1000 \text{ l}/\text{m}^3 = 1910 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Hohlraumgehalt:  
 $100 \% - (1910 \text{ kg}/\text{m}^3 \div 2650 \text{ kg}/\text{m}^3) \times 100 = 28 \%$

### 2.3 Wasseranspruch

Die für einen bestimmten Beton erforderliche Gesamtwassermenge, der sogenannte Wasserbedarf, ist einerseits von den Ausgangsstoffen Zement, Gesteinskörnung und Zusatzstoffe, andererseits von der geplanten Konsistenz resp. vom W/Z-Wert abhängig. Ein durchfeuchteter Zuschlag erhöht mit seinem Oberflächenwasser den tatsächlich vorhandenen Wassergehalt im Frischbeton. Hingegen entzieht ein völlig trockener Zuschlag dem Frischbeton Anmachwasser. Dies gilt für mehr oder weniger gefügedichte Gesteinskörnungen. Glimmerhaltige Gesteinskörner können in erhöhtem Masse Wasser und auch Zusatzmittel

situated in the middle of the advantageous sector (grading curve AB 32) as well as roundish, compact aggregates a void of only some 27 % remains in the gaps between the aggregates, which has to be filled with powder paste. If aggregates from tunnel spoil are used, the void can increase up to 35 % given the same grading curve. This signifies an increase of water from 270 to 350 l/m<sup>3</sup> (Fig. 2).

### 2.2.1 Void Content – Grain Form

The void content equals roughly 48 % given similarly large particles with mutual “body contact” – mutual physical contact – in the case of cubic central positioning of the particles and roughly 26 % given octaedric and tetraedric central positioning. Physical contact is prevented once particles of a different magnitude known as “blocking particles” are added to the single grain particles. The minimum of void content can be attained if the sand grain group is a genuine “slipping grain” in the case of a “legitimate gap grading”. This signifies that the sand grain group can slip through all bottlenecks in the larger grain groups.

In the case of aggregate won from tunnel spoil the grain form is strongly influenced by the petrography and the nature of preparation. The type of crusher, e.g. hammer crusher, cone crusher etc. and the application of a grain rounding machine can greatly influence or reduce the void content.

### 2.2.2 Determining the Void Content

First of all the bulk density is determined. The dry aggregate is poured into a container with a known volume (e.g. 10 l) with the desired granular composition. The aggregate is cleanly levelled off at the upper edge of the container. Then the weight of the aggregate is measured and recalculated for the volume of 1 m<sup>3</sup>: the average value from 3 measurements must be obtained to determine the void content. In the case of aggregates from the Swiss Midlands a density of 2,650 to 2,700 kg/m<sup>3</sup> can be assumed. The density of tunnel material has to be regularly checked as this can fluctuate very greatly. The void content for the aggregate can be calculated as follows:

- 10 l of aggregate weighs 19.1 kg
- bulk density:  $(19.1 \text{ kg}/10 \text{ l}) \times 1,000 \text{ l}/\text{m}^3 = 1,910 \text{ kg}/\text{m}^3$
- void content:  
 $100 \% - (1,910 \text{ kg}/\text{m}^3 \div 2,650 \text{ kg}/\text{m}^3) \times 100 = 28 \%$

### 2.3 Water Requirement

The total amount of water needed for a certain concrete, known as the water requirement, depends on the one hand on the basic materials cement, aggregate and additives, on the other on the planned consistency or W/C value. A moist aggregate with its surface water increases the actual amount of water present in fresh concrete. On the other hand a completely dry aggregate deprives the fresh con-

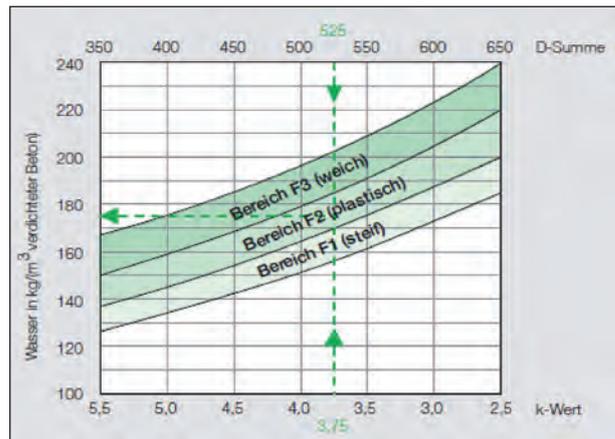
absorbieren, welches dann für die Verarbeitung des Betons fehlt (Tabelle 3, Bild 3 und 4).

Bei gebrochenen Gesteinskörnungen kann der Wasseranspruch bis 15 % höher sein!

### 3 Mehlkornleim

Der Mehlkornleim besteht aus allen mehlfeinen ( $\leq 0,25$  mm) und flüssigen Betonkomponenten. Dies sind Zement, Zusatzstoffe, Zusatzmittel, Gesteismehl und Wasser. Die Menge des Mehlkornleims wird als Volumen angegeben.

Bei 32 mm Grösstkorn und einer Kornzusammensetzung in der Mitte des günstigen Bereiches (Sieblinie AB 32) sowie rundlichen, gedrungenen Gesteinskörnern verbleibt in den Zwickeln zwischen den Gesteinskörnern ein Hohlraum von etwa 27 %, welcher mit Mehlkornleim gefüllt werden muss.



3 Wasseranspruch  
Water requirement

Tabelle 3: Berechnung von k-Wert und D-Summe für Sieblinie A/B16 (Beispiel)

Sieb-loch-weite [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	Summe
Sieb-rück-stand [%]	92	81	70	60	47	25	0	0	0	375
Sieb-durch-gang [%]	8	19	30	40	53	75	100	100	100	525

Table 3: Calculating the k-Value and D-Sum for Grading Curve A/B 16 (Example)

Screen hole width [mm]	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	Sum
Screen residue [%]	92	81	70	60	47	25	0	0	0	375
Screen under-size [%]	8	19	30	40	53	75	100	100	100	525

Kornform	natürlich		gebrochen	
	kugelig	nicht kugelig (stengelig/plattig)	kubisch	nicht kubisch
Kantigkeit	rund		kantig	
Oberflächen- rauhigkeit	glatt		rau	
Kornoberfläche Wasserbedarf	gering		hoch	
Verarbeitbarkeit Verdichtbarkeit	optimal		erschwert	
Hohlraumgehalt	gering		hoch	

4 Einfluss der Gesteinskörnung auf Wasseranspruch, Verarbeitbarkeit und Hohlraumgehalt  
Influence of the aggregate on the water requirement, workability and void content

Tabelle 4: Volumen des Mehlkornleims

Betonzusammensetzung		Vibrierter Beton				Pumpbeton ATG			SCC		
		Dichte [kg/l]	[%]	Masse [kg]	Volumen [l]	[%]	Masse [kg]	Volumen [l]	[%]	Masse [kg]	Volumen [l]
Zement	CEM I 42.5 N	3,06		300	98		375	122		380	124
Zusatzstoffe	Flugasche	2,24					70	31		70	31
Zusatzmittel	FM	1,10				1,2	4,50	4,09	1,6	6,08	5,53
	ST	1,05							0,2	0,76	0,72
Gesteins- körnung	0/4	2,68	36	687	256	43	752	*276	50	849	317
	4/8	2,70	5	95	36	7	123	*45	15	256	95
	8/16	2,70	24	458	171	20	350	*129	35	599	222
	16/32	2,70	35	668	249	30	525	*193			
	Gesamt- gehalt			1908			1750			1704	
<b>Kornform</b>				<b>rund/kugelig</b>		<b>gebrochen/nicht kubisch</b>		<b>rund/kugelig</b>			
Wasser		1,0		170	170		180	180		185	185
Luft			2,0		20	2,0		20	2,0		20
Frischbetonrohddichte				2378			2380			2346	
w/z eq-Wert				0,57				0,45		0,47	
<b>Konsistenzklasse</b>				<b>F3</b>		<b>F5</b>		<b>SF2</b>			
<b>Mehlkornleimvolumen</b>					<b>268</b>			<b>337</b>			<b>346</b>

\*Dichte 2,72 kg/l

Kornzusammensetzungen, die kein Grobkorn enthalten und statt eines Anteils von 50 % Kies 8/16 und 16/32 zusätzlich noch einmal das gleiche Volumen an Sand 0/2 und Kies 2/8 enthalten, haben auch viel mehr Zwickelhohlraum.

Feinkörnige, pumpfähige, weiche, fließfähige und selbstverdichtende Betonmischungen benötigen immer einen erhöhten Mehlkornleimgehalt als steife und grobkörnige Betonmischungen.

#### 4 Einfluss der Mehlkornleimmenge (Feinstmörtel) auf die Verarbeitbarkeit

Die Menge des Mehlkornleims ist abhängig von:

- Hohlraumgehalt der Gesteinskörnungsmischung
- Grösstkorn
- Verarbeitungsmethode
- Konsistenz.

Um die unterschiedlichen volumetrischen Anteile von vibriertem ATG-Pumpbeton und selbstverdichtendem Beton zu verdeutlichen, sind in [Tabelle 4](#) typische Betonzusammensetzungen aufgeführt.

Die Verarbeitbarkeit des Frischbetons (Konsistenz) wird im Wesentlichen durch die rheologischen Eigenschaften (Bluten, Sedimentieren, Viskosität), den Volumenanteil des Mehlkornleims sowie durch die Art und Form der Gesteinskörnung beeinflusst. Einen wichtigen Parameter für die Stabilität des

crete of mixing water. This applies for more or less densely textured aggregates. Aggregates containing mica are capable of absorbing water and admixtures to a higher degree, which are then lacking for processing the concrete ([Table 3](#), [Figs. 3 and 4](#)).

In the case of broken aggregates the water requirement can be up to 15 % higher!

#### 3 Powder Paste

The powder paste consists of all finely powdered ( $\leq 0.25$  mm) and liquid concrete components. These are cement, additives, admixtures, rock powder and water. The amount of powder paste is presented as a volume.

In the case of 32 mm maximum grain and a granular composition derived from the middle of the advantageous sector (grading curve AB 32) as well as roundish, compact aggregates a void of roughly 27 % remains in the gaps between the aggregates, which has to be filled with powder paste.

Granular compositions, which do not contain coarse grain and have the same volume of sand 0/2 and gravel 2/8 instead of a 50 % share of gravel 8/16 and 16/32, also possess far more gap voids.

Fine grained, pumpable, soft, flowable and self-compacting concrete mixes always need a greater powder paste content than coarse grained concrete mixes.

Table 4: Volume of Powder Paste

Concrete composition		Vibrated concrete				Pump concrete ATG			SCC		
		Density [kg/l]	[%]	Mass [kg]	Volume [l]	[%]	Mass [kg]	Volume [l]	[%]	Mass [kg]	Volume [l]
Cement	CEM I 42.5 N	3.06		300	98		375	122		380	124
Additives	Fly ash	2.24					70	31		70	31
Admixtures	FM	1.10				1.2	4.50	4.09	1.6	6.08	5.53
	ST	1.05							0.2	0.76	0.72
Aggregate	0/4	2.68	36	687	256	43	752	*276	50	849	317
	4/8	2.70	5	95	36	7	123	*45	15	256	95
	8/16	2.70	24	458	171	20	350	*129	35	599	222
	16/32	2.70	35	668	249	30	525	*193			
	Total content			1908			1750			1704	
<b>Grain form</b>				<b>round/spherical</b>		<b>broken/non-cubic</b>		<b>round/spherical</b>			
Water		1.0		170	170		180	180		185	185
Air			2.0		20	2.0		20	2.0		20
Fresh concrete bulk density				2378			2380			2346	
W/C eq-value				0.57				0.45		0.47	
<b>Consistency class</b>				<b>F3</b>		<b>F5</b>		<b>SF2</b>			
<b>Powder paste volume</b>					<b>268</b>			<b>337</b>			<b>346</b>

\*Density 2.72 kg/l

Mehlkornleimes ist das Wasser-Mehlkorn-Verhältnis. Dieses sollte zwischen 0,35 und 0,40 liegen. Ab einem Leimvolumen von rd. 280 l/m<sup>3</sup> lässt sich die Konsistenz auch erfolgreich mit verflüssigenden Zusatzmitteln steigern.

## Literatur

- [1] Betonpraxis – Der Weg zum dauerhaften Beton, Holcim (Schweiz) AG (Hrsg.), Eigenverlag, 2008, 5. Auflage
- [2] Zement-Taschenbuch 2008, 51. Ausgabe, Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg.) Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2008
- [3] Von Eckardstein, Karl Ernst: Pumpbeton und Betonpumpen, Friedrich Wilh. Schwing GmbH (Hrsg.), D-4690 Herne 2, Eigenverlag
- [4] Springenschmid, Rupert: Betontechnologie für die Praxis, Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2007

## 4 Influence of the Amount of Powder Paste (Ultra-fine Mortar) on the Workability

The amount of powder paste depends on:

- Void content of the aggregate mix
- Maximum grain
- Processing method
- Consistency.

In order to clarify the various volumetric proportions of vibrated ATG pump concrete and self-compacting concrete typical concrete compositions are provided in [Table 4](#).

The workability of the fresh concrete (consistency) is influenced by and large by the rheological properties (bleeding, sedimenting, viscosity), the volume of powder paste as well as the nature and form of the aggregate. An important parameter for the stability of the powder paste is the water – powder ratio. This should lie between 0.35 and 0.40. As from a paste volume of roughly 280 l/m<sup>3</sup> the consistency can also be successfully increased with plasticising admixtures.



*Erich Ritschard, Dipl. Chemiker HTL, Leiter Produktmanagement Zement, Holcim (Schweiz) AG, Zürich/CH*

## Beton im Untertagebau, Teil 2

### Bedeutung des Zementsteins

Sehr viele Eigenschaften des Betons und speziell auch Festigkeit und Dichtheit hängen vom Verhältnis Wassermenge zu Zementmenge (W/Z-Wert) ab. Da die Gesteinskörnungen üblicherweise eine höhere Festigkeit als der Zementstein aufweisen, ist das schwächste Glied im Gesamtsystem Beton der Zementstein und verlangt darum besondere Aufmerksamkeit.

## Concrete in Underground Construction, Part 2

### Significance of hydrated Cement

Very many properties of concrete and the strength and tightness in particular depend on the water to cement ratio (W/C value). As the aggregates usually possess a higher strength than the hydrated cement, the latter is normally the weakest link in concrete as a complete system and this requires particular attention.

#### 1 Einleitung

Die Betonqualität ist weitgehend von der Qualität des Zementleims resp. -steins abhängig, insbesondere vom W/Z-Wert. Der Zementleim im Beton ist aus dem Zement inkl. Zusatzstoffen bzw. dem Mehlkorn und Wasser gebildet. Nach dem Mischen der Betonausgangsstoffe beginnt eine chemische Reaktion des Zementes mit dem Wasser. Diese chemische Reaktion nennt man Hydratation. Dabei geht der Zementleim über verschiedene Hydratationsphasen in den Zementstein über. Insbesondere sind beim 5-Stoff-System Beton auch die Komponenten Zusatzstoffe und Zusatzmittel von grosser Bedeutung. Sehr viele Eigenschaften des Betons und speziell auch Festigkeit und Dichtheit hängen vom Verhältnis Wassermenge zu Zementmenge (W/Z-Wert) ab. Da die Gesteinskörnungen üblicherweise eine höhere Festigkeit als der Zementstein aufweisen, ist das schwächste Glied im Gesamtsystem Beton der Zementstein und verlangt darum besondere Aufmerksamkeit.

#### 2 Hydratation des Zements

Aus der Reaktion zwischen Zement und dem Anmachwasser entstehen wasserhaltige Verbindungen, die sogenannten Hydratphasen, die das Erstarren und anschliessende Erhärten des Zementleims zum Zementstein bewirken. Dabei ist der Portlandzementklinker der wichtigste, hydraulisch reagierende Hauptbestandteil. Portlandzementklinker besteht im Wesentlichen aus den Klinkerphasen Tricalciumsilicat ( $C_3S$ ), Dicalciumsilicat ( $C_2S$ ), Tricalciumaluminat ( $C_3A$ ) und Calciumaluminatferriten ( $C_4AF$ ), die beim Brennen der Ausgangsstoffe entstehen. Die verschiedenen Klinkerphasen unterscheiden sich sowohl in ihrer Reaktionsgeschwindigkeit als auch in

#### 1 Introduction

The concrete quality largely depends on the quality of the cement paste or hydrated cement, especially the W/C value. The cement paste in concrete is formed from the cement including additives along with powder and water. Once the basic materials for concrete are mixed, a chemical reaction of the cement with water commences. This chemical reaction is known as hydration. In the process the cement paste is transformed into hydrated cement via various hydration phases. The components additives and admixtures are also of great significance for the 5-material system concrete. Very many properties of concrete and the strength and tightness in particular depend on the water to cement ratio (W/C value). As the aggregates usually possess a higher strength than the hydrated cement, the latter is normally the weakest link in concrete as a complete system and this requires particular attention.

#### 2 Hydration of Cement

The reaction between cement and the mixing water result in compounds containing water, the so-called hydrate phases, which cause the cement paste to set and then harden to become hydrated cement. In this connection Portland cement clinker represents the most important, hydraulically reacting main component. Portland cement clinker by and large constitutes the clinker phases tricalcium silicate ( $C_3S$ ), dicalcium silicate ( $C_2S$ ), tricalcium aluminate ( $C_3A$ ) and calcium aluminate ferrites ( $C_4AF$ ), which are produced by burning the basic materials. The various clinker phases differ from each other both with regard to their reaction speed as well as in their contribution towards the strength development of

## Le béton dans la construction souterraine, 2ème partie

### L'importance de la pâte de ciment

De très nombreuses propriétés du béton et tout spécialement, sa résistance et sa compacité, dépendent de la proportion entre la quantité d'eau et la quantité de ciment (rapport E/C). Les granulats présentant habituellement une plus grande résistance que la pâte de ciment durcie, celle-ci est le maillon le plus faible de tout le système béton et demande donc une attention toute particulière.

## Il calcestruzzo nella costruzione in sotterraneo, parte 2

### Importanza della pasta di cemento

Molte delle caratteristiche del calcestruzzo, e in particolare anche la resistenza e la compattezza, dipendono dal rapporto tra quantità d'acqua e quantità di cemento (valore A/C). Poiché gli aggregati presentano di norma una resistenza maggiore della pasta di cemento, nel complesso del sistema calcestruzzo quest'ultima rappresenta l'anello più debole e richiede pertanto un'attenzione particolare.

ihrem Beitrag zur Festigkeitsentwicklung des Zementsteins.  $C_3A$  ist die bestimmende Phase für das Erstarren und Verarbeiten, während  $C_3S$  und  $C_2S$  für die Festigkeitsbildung von Bedeutung sind. Zur Regelung des Erstarrungsverlaufs wird den Zementen Calciumsulfat (z. B. natürlicher Gips) zugegeben (Bild 1).

### 2.1 Hydratphasen

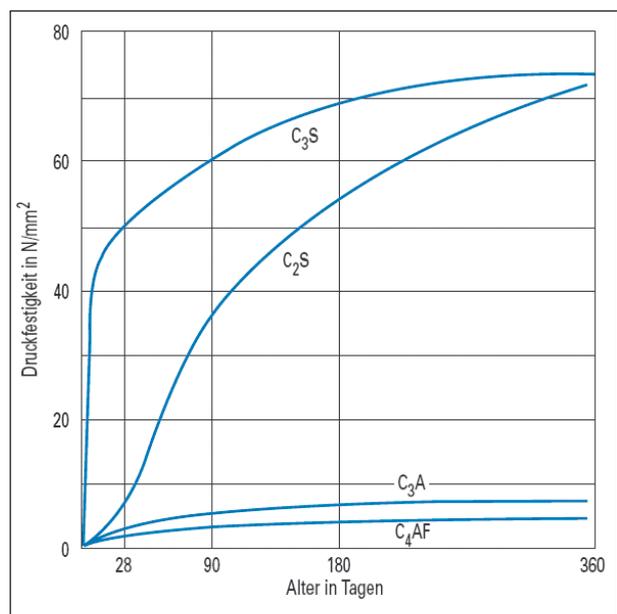
Die wesentlichen wasserhaltigen Verbindungen, die bei der Hydratation der Portlandzemente entstehen, sind die Calciumsilicathydrate (CSH-Phasen). Sie entstehen aus den silicatischen Klinkerphasen  $C_3S$  und  $C_2S$ . Entscheidend für die Zusammensetzung der sich bildenden Hydrate ist die zugegebene Wassermenge im Verhältnis zur Zementmenge, der W/Z-Wert. Üblicherweise liegt der W/Z-Wert bei der Betonherstellung zwischen 0,4 und 0,6. Dabei bilden sich sehr feinkörnige Calciumsilicathydrate, die man auch als CSH-Phase oder CSH-Gel bezeichnet. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zeigten, dass die sich bildenden CSH-Phasen die Form kleiner spitznadeliger, verzahnender Fasern haben. Aufgrund dieses „Reissverschlussprinzips“ wird die hohe Festigkeitsbildung des Betons durch die Hydratphasen des  $C_3S$  und  $C_2S$  erklärbar. Bei der Entstehung der Calciumsilicathydrate entsteht auch Calciumhydroxid (CH). CH spielt bei der Reaktion der reaktiven Betonzusatzstoffe und dem Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton eine bedeutende Rolle (Bild 2).

Von allen Klinkerphasen weist das  $C_3A$  die höchste Reaktionsgeschwindigkeit auf und dominiert damit den Hydrationsverlauf in den ersten Stunden. Je nach Sulfatangebot im Zementleim bilden sich unterschiedliche Hydratphasen. In der Regel liegen sulfatreiche Porenlösungen vor und es bilden sich dann prismatisch nadelförmige Trisulfate ( $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 \cdot 32 H_2O$ ), besser bekannt als Ettringit. Die Bildung des Ettringits ist der Schlüsselprozess des Erstarrungsverhaltens und damit entscheidend für die Verarbeitungsdauer des Frischbetons (Bild 3).

the hydrated cement.  $C_3A$  represents the determining phase for setting and processing whereas  $C_3S$  and  $C_2S$  are of significance for strength development. Calcium sulphate (e.g. natural gypsum) is added to cements to regulate the course of setting (Fig. 1).

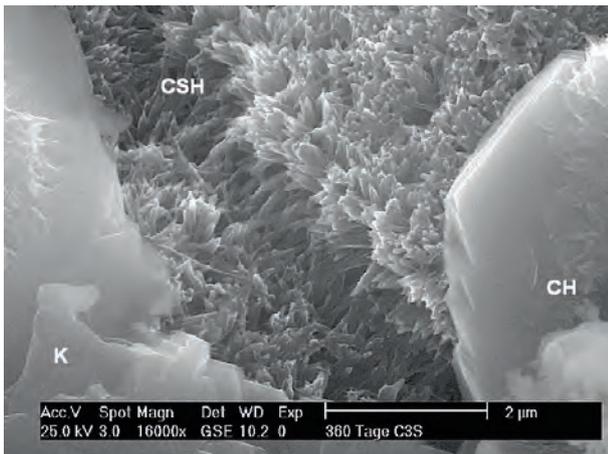
### 2.1 Hydrate Phases

The essential compounds containing water, which are produced during the hydration of Portland cements, are calcium silicate hydrates (CSH phases). They evolve from the silicatic clinker phases  $C_3S$  and  $C_2S$ . The amount of water added as a ratio to the amount of cement, the W/C value, is decisive for



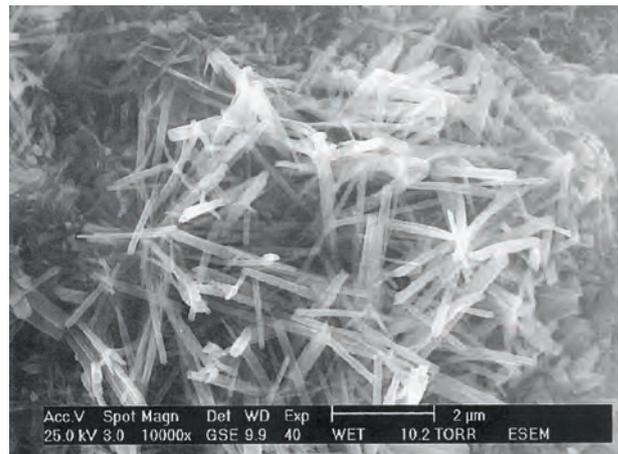
1 Druckfestigkeiten der reinen Klinkerphasen bis zum Alter von 360 Tagen (nach R. H. Bogue und W. Lerch)

Compressive strengths during the pure clinker phases up to an age of 360 days (according to R. H. Bogue and W. Lerch)



**2** Verzahnte, spitznadelige CSH-Phasen und grosser Calciumhydroxid-Kristall (CH) am Zementklinkerkorn (K), Hydrationsdauer 360 d

*Indented, pointed CSH phases and large calcium hydroxide crystals (CH) on the hydrated cement grain (K). Hydration period 360 d (ESEM photo FIB Weimar)*



**3** Ettringit-Nadeln, Hydrationsdauer 75 min

*Ettringite needles. Hydration period 75 min*

*(ESEM photo FIB Weimar)*

## 2.2 Hydrationsablauf

Zementleim besitzt anfangs eine plastische Konsistenz. Unmittelbar nach Wasserzugabe beginnen die ersten kurzen, aber intensiven Hydrationsreaktionen. An der Oberfläche der Zementkörner reagiert das  $C_3A$  mit Calciumsulfat und bildet eine Hülle aus Ettringit. Diese Hülle verhindert das weitere Eindringen von Wasser und damit dessen Reaktion mit  $C_3A$ , wodurch schnelles Abbinden verhindert wird. Gleichzeitig bildet sich auch eine erste dünne Lage von Calciumsilicathydraten. Diese ersten Reaktionen verebben und es kommt zu einer Ruheperiode (dormante Phase), während der praktisch keine weitere Hydratation stattfindet. Die ersten Hydrationsprodukte sind noch zu klein, um ein festes Gefüge aufzubauen. Damit bleiben die Zementpartikel noch gegeneinander beweglich und der Zementleim ist nur wenig steifer geworden. Nach etwa 1 bis 3 Stunden bricht die Ettringithülle um die Zementkörner auf und die Klinkerminerale können weiter mit Wasser reagieren. Es bildet sich ein Netzwerk von Calciumsilicathydraten (CSH-Gel), wodurch das Erstarren beginnt. Durch die grösseren Kristalle werden die Räume zwischen den Zementpartikeln überbrückt. Die fortschreitende Verfestigung des Gefüges wird als Erhärten des Betons bezeichnet. Im weiteren Hydrationsverlauf nimmt die Verfestigung stetig zu, aber mit reduzierter Hydrationsrate. Das Gefüge verdichtet sich, die Poren werden immer stärker ausgefüllt und entsprechend erhöht sich die Festigkeit (Bild 4).

## 2.3 Beschleunigung resp. Verzögerung des Hydrationsprozesses

Der Hydrationsprozess kann durch verschiedene Massnahmen beschleunigt oder verzögert werden:

the composition of the hydrates that are formed. Usually the W/C value lies between 0.4 and 0.6 for concrete production. In this connection extremely fine grained calcium silicate hydrates are formed, also described as the CSH phase or CSH gel. Electron microscopic investigations have revealed that the CSH phases that are produced possess the form of small pointed, indented fibres. As a result of this “zip principle” the high strength formation of the concrete during the  $C_3S$  and  $C_2S$  hydrate phases can be explained. When the calcium silicate hydrates are created calcium hydroxide (CH) is also produced. CH has a significant role to play for the reaction of the reactive concrete additives and corrosion protection of the reinforcement in concrete (Fig. 2).

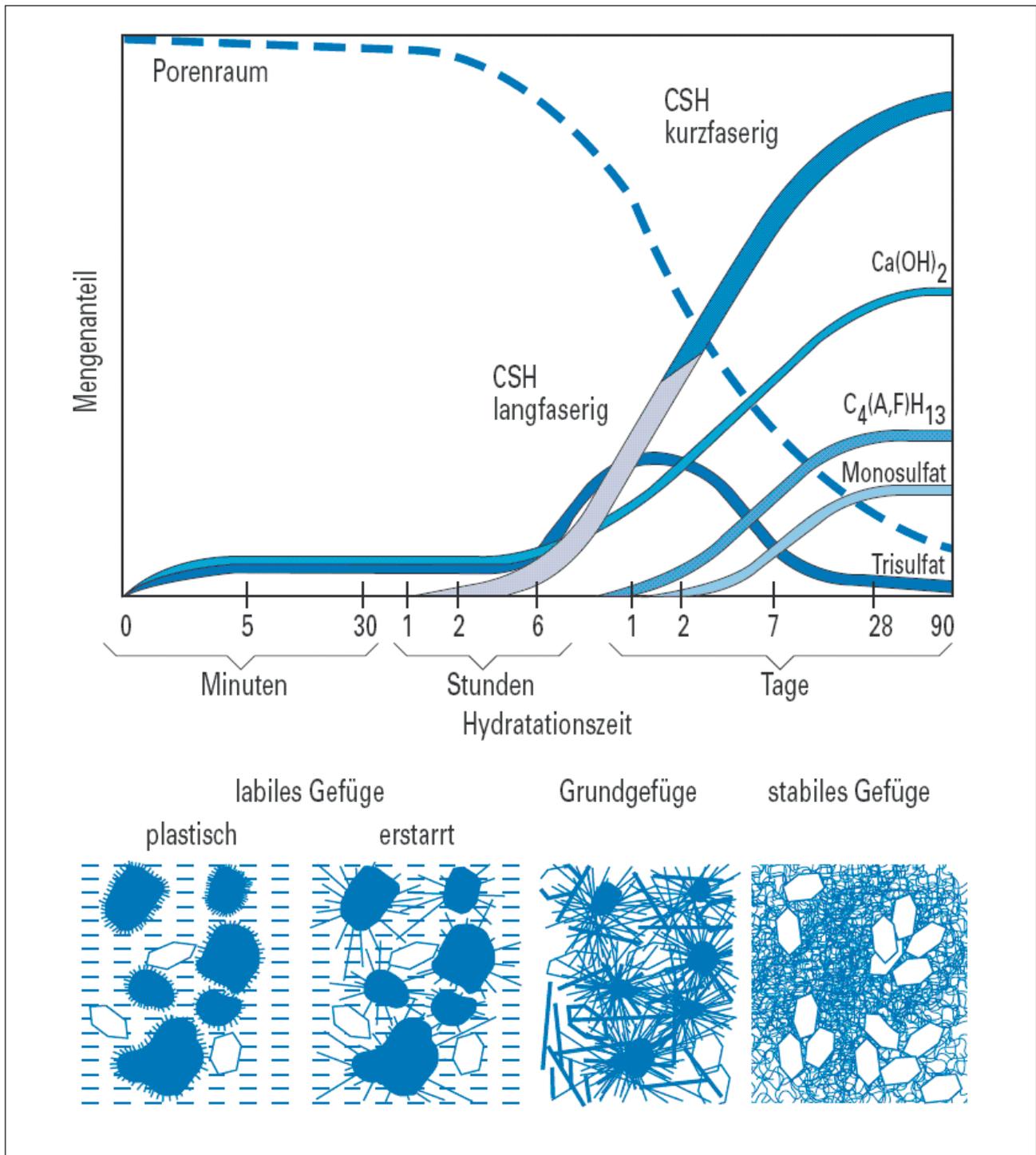
From all the clinker phases the  $C_3A$  reveals the highest reaction speed and thus dominates the course of hydration in the first few hours. Depending on the quantity of sulphate in the cement paste different hydrate phases result. Generally sulphate-rich pore solutions are prevalent and then prismatic pointed trisulphates form ( $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 \cdot 32 H_2O$ ), better known as ettringite. The formation of ettringite represents the key process for the setting behaviour and is thus also decisive for the duration of workability for the fresh concrete (Fig. 3).

## 2.2 Hydration Cycle

Cement paste initially possesses a plastic consistency. Immediately after water is added the first, short but intensive hydration reactions begin. On the surface of the grains of cement the  $C_3A$  reacts with calcium sulphate and forms a sheath of ettringite. This sheath prevents water from penetrating any further and in turn reacting with  $C_3A$  so that rapid hardening is prevented. At the same time an initial thin layer

- Zugabe von chemischen Beschleunigern oder Verzögerern; allgemein gilt: je höher die Calciumkonzentration in der Lösung, umso höher ist die Hydratationsgeschwindigkeit des  $C_3S$  und damit umso rascher die Erhärtung.
- Änderung der Hydratationstemperatur; die Hydratationsgeschwindigkeit wird durch Erhöhung der Temperatur um  $10\text{ °C}$  etwa verdoppelt.

of calcium silicate hydrates is formed. These first reactions gradually cease thus resulting in a dormant phase during which practically no further hydration takes place. The first hydration products are still too small to establish a solid texture. As a result the cement particles are still free to move and the cement paste has only become slightly stiffer. After 1 to 3 hours the ettringite sheath breaks around the cement grains and the clinker minerals are able to react with water



4 Schematische Darstellung der Bildung der Hydratphasen und der Gefügeentwicklung bei der Hydratation des Zements  
Schematic presentation of the forming of the hydrate phases and the textural development during the hydration of the cement

- Änderung der Zementfeinheit; je höher die Feinheit der Körner, umso grösser ist die der Reaktion zugängliche Oberfläche, und umso rascher läuft die Hydrationsreaktion ab.
- Verwendung von reaktiven Zusatzstoffen; puzzolanisch resp. latent hydraulisch reagierende Zusatzstoffe verlangsamen einerseits die Bildung der Frühfestigkeiten, bilden aber zusätzliche Hydrationsprodukte. Damit werden das Porenvolumen reduziert und die Endfestigkeiten gesteigert.

### 2.4 Hydratation zusatzstoffhaltiger Zemente

Ersetzen Zusatzstoffe teilweise den hydraulischen Portlandzementklinker, so verlangsamt sich i. a. die Hydrationswärmeeentwicklung. Daher werden solche Zemente vor allem bei der Errichtung massiger Bauwerke eingesetzt. Eine verlängerte Nachbehandlungsdauer ist dabei zu berücksichtigen. Will man vergleichbare Normfestigkeiten erhalten, muss man die Zusatzstoffzemente i. d. R. feiner aufmahlen, da sie weniger reaktionsfähig als Portlandzemente sind. Je weniger reaktionsfähig der Zusatzstoff und je höher sein Anteil im Zement ist, umso feiner muss der Zement aufgemahlen werden.

Bei den reaktiven Zusatzstoffen wird zwischen latent-hydraulischen und puzzolanischen Stoffen unterschieden. Inerte Stoffe wie Kalksteinmehl reagieren nicht oder nur geringfügig im Verlauf der Hydratation. Sie werden vorwiegend zur Ergänzung der Kornzusammensetzung des Zements genutzt, um entstehende Hohlräume zwischen den Zementpartikeln auszufüllen und somit das Gefüge zu optimieren.

Latent-hydraulische Stoffe können bei der Reaktion eines Portlandzementes mit Wasser festigkeitsbildend wirken. Dazu ist eine alkalische Anregung der Stoffe notwendig. Nach der Anregung können latent-hydraulische Stoffe selbstständig hydratisieren und es entstehen ähnliche Reaktionsprodukte wie bei der Portlandzementhydratation. Der wichtigste latent-hydraulische Stoff ist Hüttensand, ein Nebenprodukt der Roheisenherstellung.

Puzzolanische Stoffe haben keine unmittelbaren hydraulischen Eigenschaften. Den Puzzolanen werden alle natürlichen und künstlichen Stoffe zugerechnet, welche reaktionsfähige Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) enthalten. Diese Kieselsäure kann mit dem gelösten Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) aus den Klinkerphasen zu den festigkeitsbildenden Calciumsilicathydraten reagieren. Ausserdem enthalten Puzzolane meist reaktionsfähiges Aluminiumoxid welches ebenfalls mit gelösten  $\text{Ca(OH)}_2$  Calciumaluminathydrate bilden kann. Alle Puzzolane haben daher einen markanten Verbrauch an  $\text{Ca(OH)}_2$ , um hydraulisch erhärten zu können.

Flugasche, gebrannter Schiefer und Silicastaub sind die gebräuchlichsten, künstlichen Puzzolane. Bei den Flugaschen sind die Steinkohlenflugaschen von besonderer Bedeutung. Sie entstehen als Nebenprodukt bei der Verbrennung von

again. A network of calcium silicate hydrates (CSH gel) is formed, which prompts the solidifying process. The gaps between the cement particles are spanned by the larger crystals. The progressing consolidation of the texture is described as the hardening of concrete. During the further hydration cycle, consolidation constantly increases albeit at a reduced rate of hydration. The texture becomes more consolidated, the pores become increasingly filled out and in turn the strength increases (Fig. 4).

### 2.3 Accelerating or Retarding the Hydration Process

The hydration process can be accelerated or retarded by means of various measures:

- By adding chemical accelerators or retarders; it generally applies that: the higher the calcium concentration in the solution is the higher is the hydration speed of the  $\text{C}_3\text{S}$  and in turn setting.
- Change of hydration temperature; the hydration speed is roughly doubled by increasing the temperature by  $10^\circ\text{C}$ .
- Change in concrete fineness; the higher the fineness of the grains is the greater is the surface accessible to the reaction and subsequently the speed of the hydration reaction.
- Using reactive additives. Pozzolanic or latent-hydraulic reacting additives on the one hand slow down the formation of early strengths, however, form additional hydration products and in this way the pore volume is reduced and the final strengths increased.

### 2.4 Hydration of Cements containing Additives

If additives partially replace the hydraulic Portland cement clinker generally the development of hydration heat is slowed down. As a consequence such cements are applied principally for building massive structures. An extended subsequent curing process has to be taken into consideration in this case. If comparable norm strengths are required, usually the binding cements have to be more finely ground as they are less prone to react than Portland cements. The less the binding agent is prone to react and the higher proportion it constitutes in the cement the finer the cement has to be ground.

As far as reactive additives are concerned a distinction is drawn between latent-hydraulic and pozzolanitic agents. Inert materials such as limestone powder do not react or only slightly at the most during the hydration cycle. They are mainly used to supplement the granular composition of the cement in order to fill existing voids between the cement particles and thus optimise the texture.

Latent-hydraulic agents can act to enhance the strength when a Portland cement reacts with water. Towards this end alkaline stimulation of the agents is necessary. Following

Steinkohle zur Energieerzeugung. Gebrannte Schiefer zeichnen sich nicht nur durch eine hohe Pozzolanität, sondern auch durch einen bedeutungsvollen hydraulischen Reaktionsanteil aus. Gebrannte Schiefer werden gezielt in Wirbelschichtöfen hergestellt und fein aufgemahlen. Silicastaube sind sehr reaktive Pozzolane und werden speziell zur Herstellung von sehr dichten resp. hochfesten Betonen eingesetzt. Sie entstehen als Nebenprodukt bei der Herstellung von Silicium und Siliciumlegierungen.

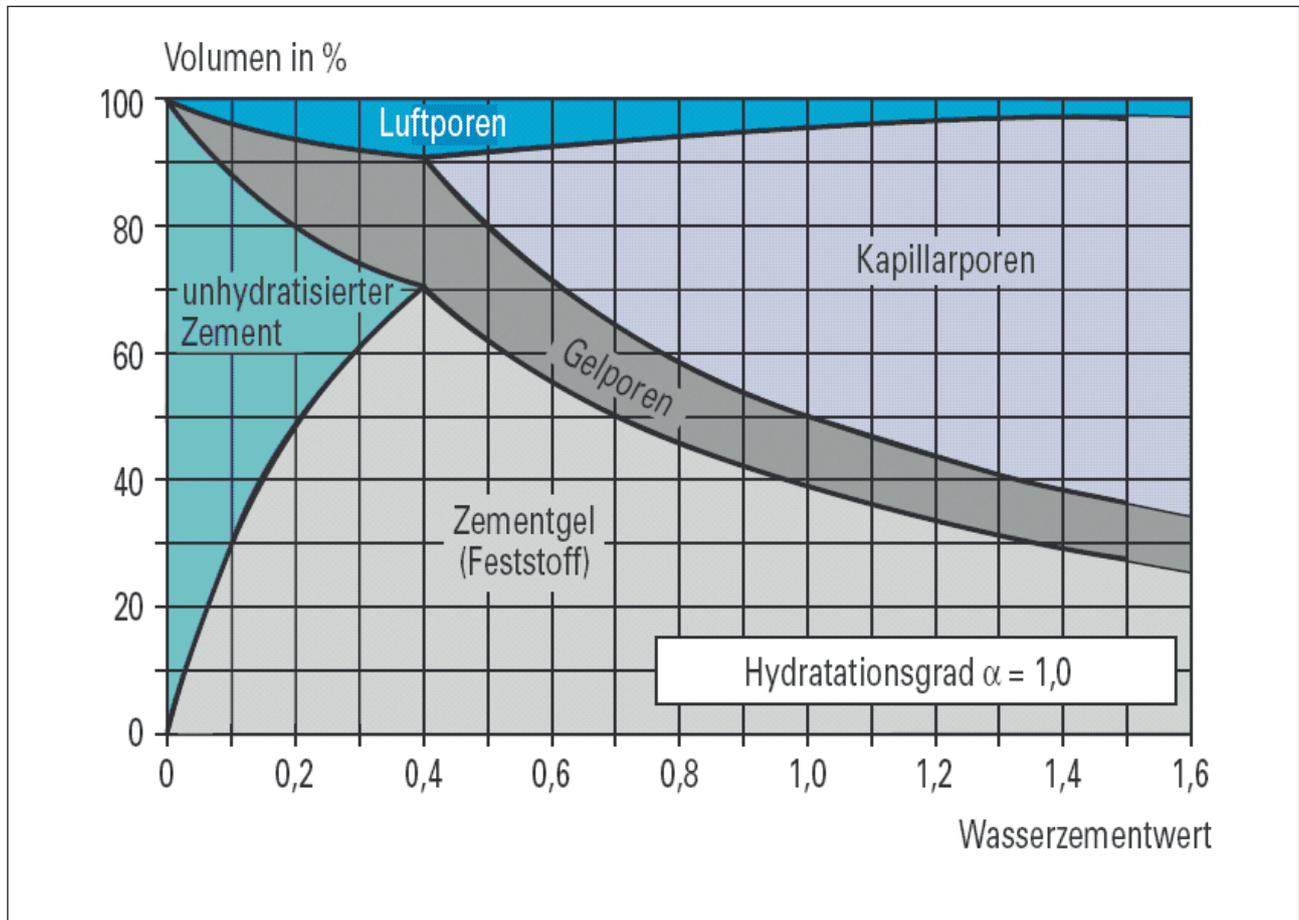
### 3 Gefüge des Zementsteins

Die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit, einschliesslich der Dichtigkeit, sind die wichtigsten Qualitätsmerkmale eines Betons. Wenn die Zuschläge praktisch porenfrei sind, eine ausreichende Festigkeit besitzen und durch eine optimale Verdichtung grobe Gefügestörungen ausgeschlossen sind, dann hängen Festigkeit und Dichtigkeit des Betons ausschliesslich von den Eigenschaften des Zementsteins ab. Zementstein besteht aus den Hydratationsprodukten sowie aus den noch nicht hydratisierten Bestandteilen. Entscheidend für alle Eigenschaften des Zementsteins sind Art und Grösse der bei der Hydratation entstehenden Poren. Der W/Z-Wert, der Hydratationsgrad, die Zementart und die auf den

stimulation latent-hydraulic agents can hydrate of their own accord and similar reaction products are created as result from Portland cement hydration. The most important latent-hydraulic agent is blast furnace slag, a by-product of manufacturing crude iron.

Pozzolanic agents possess no direct hydraulic properties. All natural and synthetic agents, which contain silicic acid ( $\text{SiO}_2$ ), are numbered among Pozzolans. This silicic acid can react with the calcium hydroxide ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) released from the clinker phases to create strength-forming calcium silicate hydrates. Furthermore Pozzolans usually contain aluminium oxide capable of reacting with dissolved  $\text{Ca(OH)}_2$  to form calcium aluminate hydrates. All Pozzolans thus require a distinctive amount of  $\text{Ca(OH)}_2$  in order to harden hydraulically.

Fly ash, burnt shale and silica dust are the commonest synthetic Pozzolans. As far as fly ashes are concerned hard coal fly ashes are of especial importance. They are generated as a by-product when hard coal is burned to produce energy. Burnt shales are distinguished both by a high pozzolanity as well as a significant hydraulic reaction ratio. Burnt shales are specifically produced in fluidised bed furnaces and finely ground. Silica dusts are extremely reactive Pozzolans and are



5 Zusammensetzung des Zementsteinvolumens in Abhängigkeit vom W/Z-Wert  
Composition of the hydrated cement volume depending on the W/C value

Zementstein einwirkenden Umwelteinflüsse begründen diese Zementsteineigenschaften.

Ein vollständig hydratisierter Zementstein besitzt eine rel. hohe Porosität. Zum Beispiel entsteht bei einem W/Z-Wert von 0,50 ein Porenvolumen von 40 bis 45 Vol.-%. Somit besteht fast die Hälfte des Zementsteinvolumens aus Poren. Trotzdem ist dieser Zementstein so undurchlässig wie ein guter Naturstein mit einem Porenvolumen von 0 Vol.-%, da ein Grossteil der Poren kleiner als 10 nm ist. Das Wasser in diesen Poren wirkt wie ein Dichtungsmittel (Bild 5).

Um eine ausreichende Verarbeitbarkeit des Betons zu erreichen, ist der Anmachwassergehalt oft grösser als die chemisch und physikalisch zur Hydratation erforderliche Wassermenge. Bei der Erhärtung entstehen dann je nach Lagerung des Betons (Luft-, Wasser- oder Feuchtlagerung) leere bzw. mehr oder weniger mit Wasser gefüllte Poren. Über das chemisch gebundene Wasser hinaus wird noch ein Teil des Wassers in den Gelporen physikalisch als Gelwasser gebunden. Bei einer vollständigen Hydratation machen das chemisch gebundene Wasser und das Gelwasser ca. 38 % der Zementmasse aus. Das entspricht einem W/Z-Wert von 0,38. Wird der W/Z-Wert grösser gewählt, so entstehen im Zementstein Kapillarporosität. Diese Kapillarporosität ist bedeutend für alle Dauerhaftigkeitsaspekte, da über die Kapillarporosität Lösungen und Gase eindringen und den Beton allenfalls schädigen können.

Durch Zugabe von Zusatzstoffen wie z. B. Silicastaub, Flugasche, gebrannter Schiefer und Hüttensand kann durch Bildung zusätzlicher Hydratationsprodukte die Porengrössenverteilung des Zementsteins nachhaltig positiv verändert werden.

### Literatur

- [1] Betonpraxis – Der Weg zum dauerhaften Beton, Holcim (Schweiz) AG (Hrsg.), Eigenverlag, 2008, 5. Auflage
- [2] Zement-Taschenbuch 2008, 51. Ausgabe, Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg.) Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2008
- [3] Stark, Jochen: Zement und Kalk: Der Baustoff als Werkstoff; F.-A.-Finger-Institut der Bauhaus-Universität Weimar; Berlin: Birkhäuser Verlag, 2000
- [4] Locher, Friedrich W.: Zement: Grundlagen der Herstellung und Verwendung; Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, 2000

used particularly for creating very dense or high-strength concretes. Silica dusts result as by-products when manufacturing silicon and silicon alloys.

### 3 Texture of hydrated Cement

The strength and durability including the tightness represent the most essential quality criteria for a concrete. If the aggregates are practically pore-free, possess sufficient strength and coarse textural faults are precluded thanks to optimal compaction, then the strength and tightness of the concrete solely depend on the properties of the hydrated cement. Hydrated cement consists of hydration products as well as the components still to be hydrated. The nature and size of the pores created during hydration are decisive for all the hydrated cement's properties. The W/C value, the degree of hydration, the type of cement and the environmental influences acting on the hydrated cement bring about these hydrated cement properties.

Completely hydrated cement possesses a relatively high porosity. For example given a W/C value of 0.50 the outcome is a pore volume of 40 to 45 Vol.-%. Thus almost the half of the hydrated cement's volume consists of pores. Nonetheless this hydrated cement is as impermeable as a good natural stone with a pore volume amounting to 0 Vol. per cent, as a large number of the pores are smaller than 10 nm. The water in these pores acts as a sealing agent (Fig. 5).

In order to attain adequate workability of the concrete the mixing water content is often larger than the quantity of water required chemically and physically for hydration. During the hardening process empty pores or in some cases pores filled with water are created depending on the storage of the concrete (air, water or moist storage). In addition to the chemically bound water a part of the water is bound physically in the gel pores as gel water. Given complete hydration the chemically bound water and the gel water account for roughly 38 % of the cement mass. This corresponds to a W/C value of 0.38. If a larger W/C value is selected, capillary pores are produced in the hydrated cement. This capillary porosity is of significance for all durability aspects as solutions and gases penetrate via the capillary pores, which can possibly damage the concrete.

By adding additives such as e.g. silica dust, fly ash, burnt shale and blast furnace slag, the pore size distribution of the hydrated cement can be positively changed through the formation of additional hydration products.



Patrick Beeler, Dipl. Bauing. ETH, Lombardi AG,  
Luzern/CH

Roland Weiss, Bauing. ETH/SIA,  
VSH VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums/CH

# Spannungsfeld neue Normen

## Projektierung, Ausschreibung und Qualitätssicherung

Mit der Einführung der neuen Betonnormen hat sich die Sprache der Betondefinition gewandelt. Das gemeinsame Verständnis dieser Sprache zwischen Bauherr, Projektverfasser, Betonproduzent und Unternehmer ist zentral. Nur aufgrund von klaren Anforderungen zwischen Bauherr und Projektverfasser, eindeutigen Ausschreibungsunterlagen sowie zertifizierten Produktionskontrollen des Betonproduzenten und einer fachgerechten Ausführung durch den Unternehmer können dauerhafte Bauwerke entstehen.

# New Codes – a Field of Tension

## Planning, Tendering and Quality Assurance

As a result of the introduction of the new concrete codes the language used to define concrete has changed. The joint understanding of this language is a central issue among client, project compiler, concrete manufacturer and contractor. It is only possible to produce lasting structures thanks to clear requirements expressed between client and project compiler, unequivocal tendering documents as well as certificated production control of the concrete manufacturer and proper execution on the part of the contractor.

### 1 Einleitung

Seit Anfang 2003 ist in der Schweiz eine neue Generation von Betonnormen in Kraft: Die neuen Normen SIA 262 Betonbau, SIA 262/1 Betonbau – Ergänzende Festlegungen, SN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und SN EN 12620 Gesteinskörnung für Beton haben die SIA 162 und 162/1 abgelöst.

Im Rahmen dieses Beitrags wird, ausgehend von der Projektierung über die Ausschreibung, Produktion und Ausführung, das Spannungsfeld der neuen Betonnormen beleuchtet. Das sehr umfangreiche und komplexe Thema der Betontechnologie kann nur in ausgewählten Punkten gestreift werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Betrachtung der Ortbetondefinition – ausgehend von der Projektierung bis hin zur Ausführung. Neben den unterschiedlichen Verantwortlichkeiten von Bauherr, Projektverfasser, Betonproduzent und Unternehmer werden die unterschiedlichen Anforderungen, die Schnittstellen und die Qualitätssicherung besprochen. Auf Spritzbeton sowie Spezialitäten wie Tübbingproduktion oder den gesamten Bereich der Instandsetzung wird nicht eingegangen.

### 2 Projektierung – Festlegen der Anforderungen

Der Bauherr beabsichtigt die Erstellung eines Tunnelbauwerkes und beauftragt in einem ersten Schritt einen Fachplaner

### 1 Introduction

A new generation of concrete codes has been in force in Switzerland since the beginning of 2003: the new standards SIA 262 Concrete Construction, SIA 262/1 Concrete Construction – Additional Provisions, SN EN 206-1 Concrete – Part 1: Definition, Properties, Production and Conformity and SN EN 12620 Aggregate for Concrete have replaced the SIA 162 and 162/1.

Within the scope of this report the field of tension of new concrete norms is examined starting from the planning by way of tendering, production and execution. The extremely extensive and complex topic of concrete technology can only be touched on in selected aspects. Attention is mainly directed at considering the definition of in situ concrete starting from planning right up to execution. Apart from the various responsibilities on the part of the client, project compiler, concrete manufacturer and contractor the different requirements, the interfaces and quality assurance will receive attention. Shotcrete as well as specialities such as segment production or the entire maintenance sector will not be dealt with.

### 2 Planning – Determining the Requirements

The client wishes a tunnel to be built and as a first step commissions a planning expert to tackle planning. This expert as

## Zone de tension: les nouvelles normes

### Montage de projet, appel d'offres et assurance qualité

L'instauration des nouvelles normes sur le béton a changé le langage de définition du béton. La compréhension mutuelle de ce langage entre maître d'ouvrage, rédacteur de projet, producteur de béton et entrepreneur est d'une importance capitale. Ce n'est que sur la base d'exigences clairement formulées entre maître d'ouvrage et rédacteur de projet, avec des documents de soumission précis, un contrôle certifié de la production du fabricant de béton et une exécution dans les règles de l'art par l'entrepreneur que des ouvrages durables peuvent être construits.

## Ambiti conflittuali: nuove norme

### Progettazione, appalti e qualità

Con l'introduzione di nuove norme sul calcestruzzo il linguaggio relativo a questo materiale è cambiato. L'utilizzo di un linguaggio comune tra committente, progettista, produttore di calcestruzzo e imprenditore si rileva fondamentale. Oggi, grazie a esigenze formulate in modo chiaro tra committente e progettista, a documenti con indicazioni univoche, a controlli di produzione del calcestruzzo e infine a un'esecuzione a regola d'arte da parte dell'imprenditore, è possibile realizzare opere durevoli.

für die Projektierung. Der Fachplaner erstellt als Projektverfasser phasenweise die erforderlichen Dokumente und Pläne des zu erstellenden Bauwerks.

Nach der Durchführung von Variantenstudien zum Vortriebs- und Ausbaukonzept definiert sich daraus das neue Tunnelbauwerk. Aufgrund der Charakteristik des zu durchfahrenden Baugrunds (Fels, Lockergestein), des Vortriebskonzepts (maschineller oder konventioneller Vortrieb) und der Einwirkungen auf den definitiven Ausbau aus der Betriebsphase ergeben sich typischerweise unterschiedlichste Normalprofile bei ein und demselben Tunnelbauwerk: Rechteckige Tagbaustrecken im Portalbereich gehen über in die vom bergmännischen Vortrieb geprägten runden Querschnitte. Ergänzend kommen bei jedem Tunnelbauwerk weitere Spezialbauwerke wie Tunnelwechsel, lokale Aufweitungen, Querverbindungen zwischen Tunnelröhren mit entsprechenden Einmündungsbereichen oder Nischen dazu (Bilder 1–4).

Der Bauherr legt seine Qualitätsschwerpunkte für das Bauwerk fest und verlangt ein qualitativ gutes, dauerhaftes

the project compiler devises the required documents and plans step by step regarding the structure being produced.

Following the completion of alternative studies relating to the driving and support concept the new tunnel is defined. On account of the characteristics of the subsurface to be penetrated (rock, soft ground), the driving concepts (mechanised or conventional excavation) and the influences on the definitive support from the operational phase very different standard profiles typically emerge for the one and the same tunnel: rectangular cut-and-cover sections in the portal zone transform into round cross-sections resulting from driving by mining means. In addition there are other special structures such as tunnel change-overs, local enlargements, cross-passages between tunnel bores with corresponding intersecting areas or recesses (Figs. 1–4).

The client lays down his quality priorities for the structure and expects a qualitatively good, permanent structure for overall costs (production and service costs) that are as low as possible. Relevant specifications on the part of the client pertaining to the concrete quality generally result indirectly



1 Querschnittsbeispiel Gewölbe  
Example of vault cross-section



2 Verzweigungsbauwerk  
Forked structure



**3** Stark bewehrter Gewölbefuss im Sohlstollen  
Strongly reinforced vault foot in the floor heading



**4** Querschlag  
Cross-passage

Bauwerk zu möglichst geringen Gesamtkosten (Erstellungs- und Unterhaltskosten). Relevante Vorgaben des Bauherrn in Bezug auf die Betonqualität ergeben sich in der Regel indirekt aus der Nutzungsdauer der Tragstruktur sowie aus allfällig einzuhaltenden Richtlinien und sind in der Nutzungsvereinbarung festzulegen.

Die Wahl der Baustoffe durch den Projektverfasser ist auf die Anforderungen aus dem Entwurf und die Möglichkeiten der Herstellung abzustimmen. Die geforderten Eigenschaften und Anforderungen sind in der Projektbasis festzuhalten.

Aufgrund der durchgeführten Tragwerksanalyse erhält der Projektverfasser die Anforderungen an die minimal erforderliche Druckfestigkeitsklasse sowie untergeordnet den Nennwert des zulässigen Grösstkorns. Andererseits ergeben sich bezüglich der Gebrauchstauglichkeit die Anforderungen an das Rissbild und an die Dichtigkeit (u. a. aus Bauteilabmessungen, Oberflächenschutz, Bau- und Betonieretappen) des Betons. Im Weiteren hat der projektierende Ingenieur allen Aspekten der konstruktiven Durchbildung (Überdeckung, Stösse, Verankerungen, Umlenkungen) Rechnung zu tragen.

### 3 Ausschreibung – Definition der Betonsorten

Aus diesen unterschiedlichen Anforderungen heraus erfolgt für die Ausschreibung durch den Projektverfasser die Definition des Baustoffes Beton, welche gemäss Norm SIA 262 in der Regel mittels „Beton nach Eigenschaften“ zu erfolgen hat.

Systematisch werden durch den Projektverfasser die minimal erforderlichen Eigenschaften je Bauteil definiert: Aufgrund der unterschiedlichen Querschnitte und Bauteile (z. B. Sohlen- oder Gewölbebeton) können aus statischer Sicht-

from the service life of the bearing structure as well as from possible guidelines that have to be adhered to and must be included in the terms of use.

The choice of construction materials by the project compiler has to be geared to the requirements posed in the draft and production possibilities. The required characteristics and requirements serve as the basis for the project.

On account of the analysis of the bearing structure that is undertaken the project compiler is provided with the requirements for the minimal compressive strength class required as well as in turn the nominal value of the permissible maximum grain size. On the other hand requirements on the crack pattern and the tightness (incl. component dimensions, surface protection, construction and concreting stages) of the concrete result from the serviceability. Furthermore the planning engineer must take into account all aspects of the constructional design (overburden, impacts, anchorages, deflections).

### 3 Tendering – Definition of the Types of Concrete

The definition of the construction material concrete, which according to Norm SIA 262 generally must be in keeping with “concrete according to properties” follows for the tender from these various requirements as provided by the project compiler.

The project compiler systematically defines the minimal properties required per structural element: on the basis of the different cross-sections and structural parts (e.g. floor or vault concrete) a number of compressive strength classes can be advisable for static reasons. Normally the largest grain size for lining concrete amounts to 32 mm.

weise mehrere Druckfestigkeitsklassen zweckmässig sein. Das Grösstkorn beträgt für Verkleidungsbeton normalerweise 32 mm. Da im Tunnelbau sowohl unbewehrte als auch bewehrte Bauteile zum Einsatz kommen, sind nach Norm SIA 262 zwei unterschiedliche Klassen des Chloridgehalts möglich.

**Bild 5** zeigt anhand eines schematischen Tunnelaufbaus die diversen relevanten Expositionsklassen: Neben dem chemischen Angriff durch Gebirgschwässer (XA) und der gegebenenfalls durch die Tunnelatmosphäre verstärkten Karbonatisierung (XC) benötigen die Betone im Portalbereich einen ausreichenden Frost-, bei Strassentunneln sogar Frost-Tausalz-Widerstand (XF) und eine hohe Dichtigkeit gegen eindringendes Chlorid (XD). Die Anforderungen an die Expositionsklassen variieren zum einen zwischen Portalbereich und restlichem Tunnelabschnitt und zum anderen zwischen Sohlen- und Gewölbebeton.

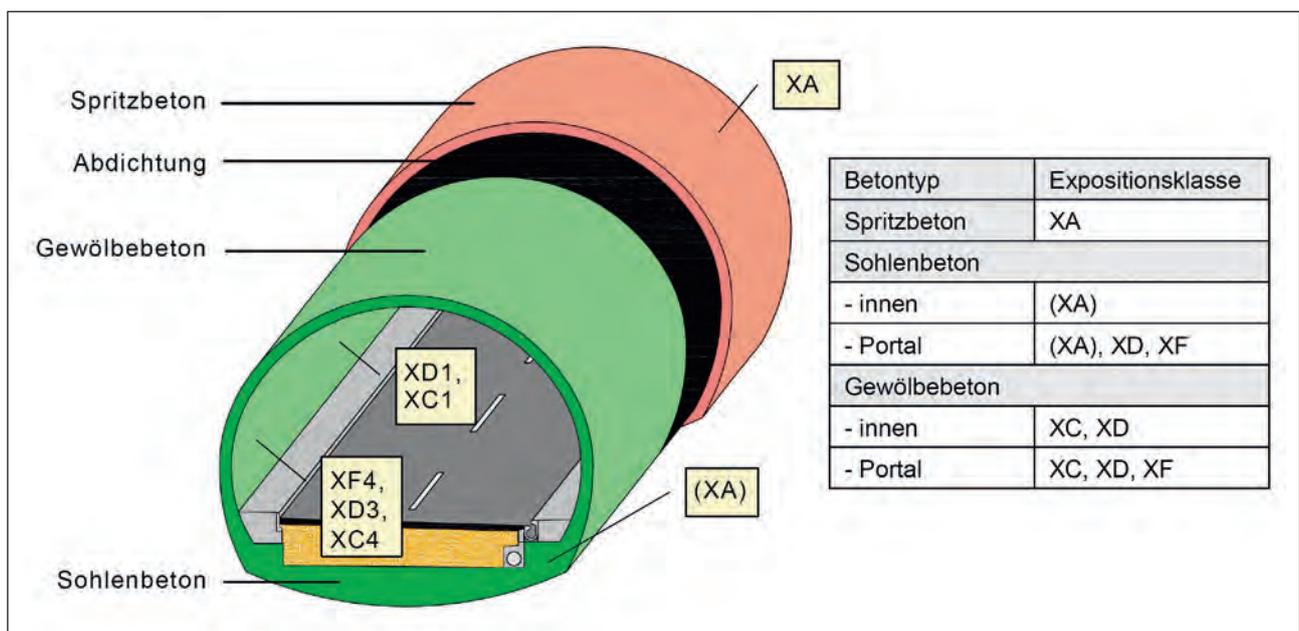
Die Anforderungen an die Konsistenz sind im Tunnelbau weniger eine Bedingung aus der Projektierung als aus der Ausführung und somit im Verantwortungsbereich des Unternehmers. Der einzubringende Beton muss eine derartige Konsistenz aufweisen, dass er über weite Strecken pumpfähig ist, ohne zu entmischen. Gleichzeitig müssen die Schwindneigung und die Entwicklung der Hydratationswärme (insbesondere bei den im Tunnelbau massigen Bauteilen) gering gehalten werden, um eine möglichst rissarme Tunnelschale herstellen zu können. Aus diesen Anforderungen heraus wird in der Regel eine sehr weiche Konsistenz gefordert (Klasse C3). Die Konsistenz kann in der Ausführung in Absprache zwischen Bauherr, Unternehmer und Betonhersteller angepasst werden.

However as both unreinforced as well as reinforced structural elements are used in tunnelling, two different chloride content classes are possible according to Norm SIA 262.

**Fig. 5** shows the various relevant exposure classes based on a schematic tunnel set-up: Apart from chemical attack resulting from underground water (XA) and enhanced carbonisation (XC) caused by the tunnel atmosphere the concretes in the portal zone need sufficient frost protection resistance, in the case of road tunnels in fact, frost thawing salt resistance (XF) and high tightness against the intrusion of chloride (XD). The requirements on the exposure class vary on the one hand between the portal zone and the remaining section of the tunnel and one the other between the floor and vault concrete.

The demands on consistency in tunnelling are less a condition derived from planning as from the execution so that it is thus the responsibility of the contractor. The concrete being placed must possess such consistency that it is pumpable over long distances without demixing. At the same time the tendency to shrink and the development of the hydration heat (particularly given the massive structural elements used in tunnelling) must be kept low so that a tunnel shell can be produced with as few cracks as possible. Generally an extremely soft consistency (class C3) is called for on the basis of these requirements. The consistency can be adapted during execution after consultations between client, contractor and concrete manufacturer.

In addition to these properties the project compiler can lay down further requirements in accordance with Norm SIA 262



**5** Schematische Darstellung eines Tunnelaufbaus mit den relevanten Expositionsklassen  
Schematic presentation of a tunnel lay-out with the relevant exposure classes

Neben den Eigenschaften kann der Projektverfasser gemäss Norm SIA 262 zusätzliche Anforderungen wie Widerstand gegen Frost- und Taumittleinwirkung, Wassereindringwiderstand oder Festigkeitsentwicklung mit entsprechenden Prüfverfahren festlegen. Diese zusätzlichen Anforderungen sind explizit bei der Bezeichnung der Betonsorte aufzuführen.

Aus diesem breiten Fächer an unterschiedlichsten Anforderungen an den einzubauenden Beton gilt es für den Projektverfasser in Diskussion mit dem Bauherrn, die effektiv sinnvoll erforderliche Anzahl verschiedener Betonsorten für die Ausschreibung zu definieren.

Zusammen mit der Ausschreibung der Betonsorten ist der Projektverfasser verantwortlich für das Festlegen der Eigenschaften des Frisch- und Festbetons. Entsprechende Prüfungen sind im Kontrollplan vorzusehen. Frischbetonkontrollen sind nur bei Bedarf auszuschreiben und durchzuführen. Insbesondere im Tunnelbau ist eine hohe Präsenz einer erfahrenen und fachkundigen Bauleitung während der Betonierarbeiten oft zielführender als systematische Frischbetonprüfungen, um die Qualitätssicherung sicherzustellen. Die Festbetonprüfungen sind in Art und Umfang sowie der Vergütungsregelung im Kontrollplan festzuhalten. Minimal einzuhaltende Anforderungen an die Betonnachbehandlung sind ebenso in den Kontrollplan aufzunehmen.

**Eine klare und projektspezifische Definition der Eigenschaften der geforderten Betonsorten ist die Ausgangslage für die Erstellung eines dauerhaften Bauwerks von hoher Qualität.**

Seit Inkraftsetzung der SN EN 206-1 sind für die üblichen Anwendungen im Tiefbau von Bauherren und Projektverfassern aufgrund des breiten Fächers an Anforderungen unterschiedlichste Betonsorten definiert worden. Einige Kantone definierten im Sinne einer Vereinheitlichung „ihren“ Kantonsbeton, welcher sowohl bei vorgespannten Brücken als auch bei unbewehrten Tunnelgewölben zum Einsatz kommen soll. Praktisch jeder Projektverfasser sowie SBB und ASTRA hatten wiederum unterschiedliche Ansichten und Philosophien. Diese Entwicklung war unbefriedigend.

Ab Januar 2010 soll mit den neuen Regelungen für Tiefbaubetone eine Vereinheitlichung für einzelne zweckmässige Betonsorten in Kraft treten. Der Projektverfasser hat in sämtlichen Dokumenten der Ausschreibungsunterlagen die Betonsorten eindeutig auszuschreiben (wie in EN 206-1 grundsätzlich definiert), sodass die Schnittstellen zwischen den Beteiligten (Bauherr, Unternehmer, Betonproduzent) klar sind. Wenn eine Ausschreibung mit dem NPK erstellt wird, sollte die Betonfestlegung spezifisch ausgeschrieben (BE) werden und nicht mittels vordefinierten NPK-Betonen (A-G). Durch eine spezifische Festlegung können alle Eigenschaften und allfällig zusätzliche erforderliche Eigenschaften (wie AAR-Widerstand, Sulfatwiderstand etc.) explizit definiert werden. Eine vordefinierte NPK-Betonsorte ist unter Umständen

such as resistance against frost and thawing agent effects, water penetration resistance or strength development with corresponding testing methods. These additional demands must be determined explicitly when the type of concrete is described.

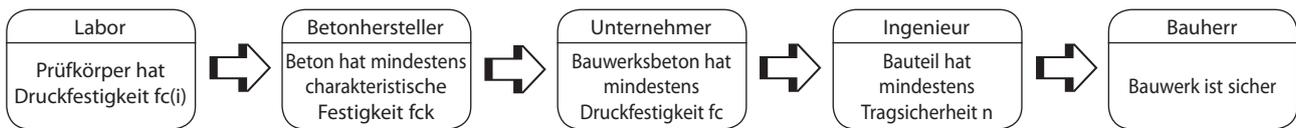
Based on this wide range of various requirements for the concrete to be placed it is up to the project compiler in collaboration with the client to define the effectively purposeful number of different types of cement needed for the tender.

In conjunction with the types of concrete for the tender the project compiler is also responsible for determining the properties of the fresh and solid concrete. Corresponding tests have to be laid down in the control plan. Checks on fresh concrete have only to be prescribed and carried out if need be. In tunnelling the frequent presence of an experienced and knowledgeable construction management during the concreting operations often serves greater purpose than systematic fresh concrete tests during the concreting work in order to assure the quality. The solid concrete tests must be laid down in the control plan with respect to their nature and extent as well as regulating recompensation. Minimal requirements to be adhered to for curing the concrete must also be included in the control plan.

**A clear and project-specific definition of the properties of the required types of concrete represents the starting point for producing a high-quality lasting structure.**

Since the SN EN 206-1 came into force the most varied types of concrete have been defined on the basis of the huge catalogue of requirements by clients and project compilers for standard applications in underground construction. Various cantons put forward a definition favouring standardisation of “their” cantonal concrete, which is to be used both for prestressed bridges as well as unreinforced tunnel vaults. Practically every project compiler as well as SBB and ASTRA for his part had different views and philosophies. This was an unsatisfactory development.

As from January 2010 with the new regulations for underground engineering, concrete standardisation for individual practicable types of concrete is to come into force. The project compiler is obliged to display the types of concrete unequivocally in all parts of the tendering documents (as defined fundamentally in EN 206-1) so that the interfaces between those involved (client, contractor, concrete manufacturer) are clear. If a tender is produced via NPK the determining of the concrete must be specifically laid down (BE) and not by means of pre-defined NPK concretes (A-G). Thanks to specifically establishing all properties and possible additionally required characteristics (such as AAR resistance, sulphate resistance etc.) can be explicitly defined. A pre-defined NPK type of concrete is under certain circumstances unequivocal as additional characteristics can be



6 Übersicht Qualitätskontrolle  
Overview of quality control

nicht eindeutig, da zusätzliche Eigenschaften gefordert sein können. Dies erschwert das Verständnis aller Beteiligten und Missverständnisse sind vorprogrammiert.

**Klarheit und gemeinsames Verständnis an den Schnittstellen ist mit höchster Priorität anzustreben.**

#### 4 Qualitätskontrolle

Die verschiedenen Stufen der Qualitätskontrolle (Bild 6) sind am Beispiel der am meisten durchgeführten Festbetonprüfung, der Würfeldruckfestigkeit, im Folgenden dargestellt.

Alle Involvierten haben sich zu vergewissern, dass ihre Aussage bzw. ihr Produkt stimmt.

Im Labor wird die Druckfestigkeit des Würfels bestimmt. Das Labor muss sicherstellen, dass die Abmessungen stimmen, die Prüfgeräte korrekt arbeiten und der Prüfablauf eingehalten wird.

Die Aussage des Labors betrifft die Druckfestigkeit  $f_{c(i)}$  des geprüften Würfels.

Der Betonhersteller schliesst von den Werten  $f_{c(i)}$  der einzelnen Würfel auf seinen Beton. Der Betonhersteller muss deshalb sicherstellen, dass die Werte repräsentativ für seinen Beton sind und dass Änderungen in der Produktion erkannt werden. Die SN EN 206-1 beschreibt diese Tätigkeiten in der Produktionskontrolle. Die Aussage des Betonherstellers betrifft die Festigkeitsklasse bzw. die charakteristische Festigkeit seiner Betonzusammensetzung.

Der Unternehmer als Verarbeiter des Betons schliesst auf die Festigkeit des Bauwerksbetons. Er muss deshalb sicherstellen, dass der richtige Beton im korrekten Zustand geliefert wird. Der Unternehmer muss zudem sicherstellen, dass der Einbau, das Verdichten, die Nachbehandlung und allenfalls weitere Massnahmen korrekt ausgeführt werden. Stimmt diese Kette, so kann er davon ausgehen, dass der Bauwerksbeton mindestens die geforderte Druckfestigkeit  $f_c$  hat.

Der Ingenieur muss für die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Bauteils bzw. Bauwerks sicherstellen, dass die Faktoren wie Belastungsannahmen, Modellbildung, statisches System stimmen und beim Beton die korrekte Festigkeitsklasse festgelegt wurde. Wurde konformer Beton geliefert und korrekt verarbeitet, kann er davon ausgehen, dass die Unterschiede der Betonqualität zwischen dem

called for. This makes understanding among all those involved more difficult so that misunderstandings are inevitable.

**Clarity and common understanding at interfaces must be strived for and accorded highest priority.**

#### 4 Quality Control

The various stages of quality control (Fig. 6) are presented in the following taking the example of the solid concrete test, the cube compressive strength test, which is most frequently carried out.

All those involved must convince themselves that their conclusions and in turn their products are correct.

In the lab the cube compressive strength is determined. The lab must ensure that the dimensions are correct, the testing appliances function properly and that the test cycle is adhered to.

The laboratory's conclusion relates to the compressive strength  $f_{c(i)}$  of the tested cube.

The concrete manufacturer reaches conclusions about his concrete from the values  $f_{c(i)}$  of the individual cubes. As a result the concrete manufacturer must make sure that the values are representative for his concrete and that changes in production are taken into consideration. The SN EN 206-1 describes these activities in production control. The concrete manufacturer's assertion concerns the strength class and the characteristic strength of the composition of his concrete.

The contractor as processor of the concrete is concerned with the strength of the structural concrete. As a consequence he must ensure that the right concrete is delivered in the proper state. The contractor must also make sure that placing, compacting, curing and possible other measures are carried out correctly. If this chain of measures is alright then he can presuppose that the structural concrete at least possesses the required compressive strength  $f_c$ .

The engineer must ensure as far as the bearing safety and serviceability of the structural part or structure are concerned that factors such as load assumptions, model design and static system are correct and that the proper strength class was established for the concrete. If conformable concrete has

Bauwerk und den genormten, separat hergestellten Prüfkörpern durch den Teilsicherheitsbeiwert des Baustoffes angemessen abgedeckt sind, wodurch der Bauherr ein normgerechtes und sicheres Bauwerk erhält.

### 5 Betonproduktion

#### 5.1 Akkreditierung und Zertifizierung

In der Schweiz können sich folgende Bereiche akkreditieren lassen:

- Kalibrierstellen (SCS)
- Prüfstellen bzw. Labore (STS)
- Inspektions- und Zertifizierungsstellen (SIS und SCE)
- Referenzmaterialdienst (SRMS).

Für die Akkreditierung ist allein die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO zuständig. Bei einer Akkreditierung beurteilt ein Mitarbeiter vom SAS des Bundes mit Unterstützung eines unabhängigen Fachexperten die Fachkompetenz der akkreditierten Stelle.

Eine Akkreditierung ist somit eine formelle Anerkennung der Kompetenz einer Kalibrier-, Prüf-, Inspektions- oder Zertifizierungsstelle, nach international massgebenden Anforderungen bestimmte Prüfungen oder Konformitätsbewertungen durchzuführen. Zertifizierungen dagegen können alle dafür akkreditierten Zertifizierungsstellen durchführen. In der Regel stehen verschiedene private Zertifizierungsstellen zur Auswahl. Zertifiziert werden können z. B. Managementsysteme und Produkte.

- Managementsysteme nach ISO 9001 oder Umweltsysteme nach ISO 14001 etc. Bekannte Anbieter sind SQS, Bureau Veritas etc.
- Produktionskontrollen für die Betonproduktion nach SN EN 206-1 und Gesteinskörnungen für Beton nach SN EN 12620. In der Schweiz gibt es 2 Zertifizierungsstellen, die SÜGB und die S-Cert.

Bei einer Zertifizierung wird die Übereinstimmung eines Managementsystems oder einer Produktionskontrolle mit den Anforderungen der entsprechenden Normen beurteilt. Beim Beton nach SN EN 206-1 und bei den Gesteinskörnungen nach SN EN 12620 wird von der Zertifizierungsstelle nicht das Produkt beurteilt, sondern die Produktionskontrolle. Die Beurteilung des Produktes liegt in der Verantwortung des Produzenten.

Der Unterschied der beiden ähnlich scheinenden Definitionen Akkreditierung und Zertifizierung besteht darin, dass bei der Akkreditierung die formelle Anerkennung der Kompetenz fundierte technische Kenntnisse und damit den Beizug eines Fachexperten für den zu akkreditierenden Bereich erfordert, während es bei der Zertifizierung vor allem darum geht, die Konformität mit einer Norm festzustellen, z. B. eines Managementsystems oder einer Produktionskontrolle.

been delivered and properly processed, he can assume that the differences in concrete quality between the structure and the standardised, separately prepared test samples are sufficiently covered by the partial safety coefficient of the construction material so that the client receives a safe structure conforming to standards.

### 5 Concrete Production

#### 5.1 Accreditation and Certification

In Switzerland the following sectors can be accredited:

- Calibration institutes (SCS)
- Test institutes and labs (STS)
- Inspection and certification institutes (SIS and SCE)
- Reference material services (SRMS).

The Swiss Accreditation Service SAS of the State Secretariat for Economic Affairs SECO is solely responsible for accreditation. In the case of an accreditation a SAS staff member representing the state appraises the expertise of the accredited institute with the assistance of an independent specialist.

In this way accreditation denotes that formal recognition of the competence of a calibration, test, inspection or certification institute has to be carried out in accordance with tests or conformity assessments governed by internationally recognised requirements. Certifications on the other hand can be undertaken by all properly accredited certification institutes. Generally speaking there is a choice of various private certification companies. For instance management systems and products can be certified.

- Management systems according to ISO 9001 or environment systems according to ISO 14001 etc. Known providers are SQS, Bureau Veritas etc.
- Product controls for concrete manufacture according to SN EN 206-1 and aggregates for concrete according to SN EN 12620. In Switzerland there are 2 certification institutes, the SÜGB and the S-Cert.

In the case of certification accordance of a management system or a production control with the requirements of the corresponding norms is assessed. In the case of concrete according to SN EN 206-1 and aggregates according to SN EN 12620 the certification institute does not assess the product but production control. The manufacturer is responsible for assessing the product.

The difference between the 2 apparently similar definitions accreditation and certification is that for accreditation formal approval of competence based on technical knowledge and accordingly the engagement of a specialist for the sector requiring approval is needed whereas as far as certification is concerned the main objective is to determine conformity with a norm, e.g. a management system or production control.

In der Schweiz gibt es einige akkreditierte Baustoff-Prüflabore. Für jedes akkreditierte Labor besteht eine Liste mit allen akkreditierten Prüfungen dieses Labors. Diese Listen und weitere Informationen zur Akkreditierung finden sich auf [www.seco.admin.ch/sas](http://www.seco.admin.ch/sas).

Soll eine Prüfung von einem akkreditierten Labor durchgeführt werden, muss dies explizit vereinbart werden. In der Regel macht es Sinn, dass alle Festbetonprüfungen durch akkreditierte Labors ausgeführt werden. Bei den Frischbetonprüfungen kann die Eigenkontrolle der Steuergrößen durch den Unternehmer ohne Akkreditierung genügen bzw. Sinn machen. Wichtig ist in diesen Fällen, dass der Unternehmer das Vertrauen in seine Prüfwerte aufbaut, z. B. durch Vergleichsversuche mit einem dafür akkreditierten Labor, welche in grösseren Abständen parallel durchgeführt werden. Der Unternehmer kann auch direkt ein akkreditiertes Labor für die Bestimmung der Steuergrößen aufbieten.

Welche Kies- und Betonhersteller über eine zertifizierte Produktionskontrolle verfügen, kann auf den Homepages von SÜGB ([www.sugb.ch](http://www.sugb.ch)) und S-Cert ([www.s-cert.ch](http://www.s-cert.ch)) eingesehen werden. Soll der Beton von einem Hersteller mit nach SN EN 206-1 zertifizierter Produktionskontrolle stammen, muss dies explizit vereinbart werden. Die SN EN 206-1 enthält die Regeln für die zertifizierten und nicht zertifizierten Produktionskontrollen. Beim Beton macht es Sinn, explizit die Zertifizierung der Produktionskontrolle nach SN EN 206-1 zu verlangen und dies im Vorfeld durch Verlangen der Zertifizierungsurkunde zu überprüfen. Auch auf den Lieferscheinen ist erkennbar, ob und von welcher Stelle die Produktionskontrolle nach SN EN 206-1 zertifiziert wurde. Zu beachten ist dabei, dass der Hinweis auf ein zertifiziertes Managementsystem wie etwa ISO 9001 nicht gleichbedeutend ist.

### 5.2 Produktionskontrolle aus Sicht des Betonherstellers

Die Aufgaben des Betonherstellers und der Austausch der erforderlichen Informationen an den Schnittstellen ist in der SN EN 206-1 beschrieben. Mit der Produktionskontrolle nach SN EN 206-1 bezweckt der Hersteller die Aufrechterhaltung der Konformität des Betons mit den festgelegten Anforderungen. Die dazu notwendigen Massnahmen umfassen die Auswahl der Ausgangsstoffe, den Mischungsentwurf, die Betonherstellung, Überwachung und Prüfungen. Die Art und der Umfang der Massnahmen ist abhängig von der Qualität und Gleichmässigkeit der Ausgangsstoffe, der Ausstattung bei der Herstellung, den Kenntnissen der Mitarbeiter und den Anforderungen an den Beton.

Entsprechend den zuvor erwähnten Einflussgrößen legt der Betonhersteller seine Steuergrößen für jede Betonsorte bzw. jedes Rezept fest. Neben der Kontrolle der Ausgangsstoffe und der Produktionsgeräte sind der Wassergehalt des Sandes, die Dosiergenauigkeit und die Leistungsaufnahme des

There are a number of accredited construction material test labs in Switzerland. There is a list of all the accredited tests for every accredited laboratory. These lists and further information pertaining to accreditation can be accessed under [www.seco.admin.ch/sas](http://www.seco.admin.ch/sas).

If a test has to be carried out by an accredited lab, then this must be explicitly agreed on. Generally it makes sense that all solid concrete tests are undertaken by accredited labs. In the case of fresh concrete tests self-control of the governing factors by the contractor without accreditation can suffice or be purposeful. In such cases it is essential that the contractor establishes faith in his test values, e.g. through comparative tests with a lab accredited on this sector, which are executed parallel at lengthy intervals. The contractor can also directly suggest an accredited lab for establishing the governing factors.

The homepages of SÜGB ([www.sugb.ch](http://www.sugb.ch)) and S-Cert ([www.s-cert.ch](http://www.s-cert.ch)) provide details pertaining to the gravel and concrete manufacturers possessing a certificated production control. If the concrete stems from a manufacturer with production control certificated according to SN EN 206-1 this must be explicitly agreed on. The SN EN 206-1 contains the regulations for certificated and uncertificated production controls. In the case of concrete it makes sense to call for certification of the production control according to SN EN 206-1 and to check this in advance by requesting the certification document. Delivery notes also indicate whether and by which institute production control was certificated according to SN EN 206-1. It must be observed in this connection that reference to a certificated management system such as ISO 9001 does not possess the same significance.

### 5.2 Production Control from the Concrete Manufacturer's Viewpoint

The tasks of the concrete manufacturer and the exchange of the required information at the interfaces are described in the SN EN 206-1. Through production control according to SN EN 206-1 the manufacturer aims to ensure that the concrete conforms to the established demands. The measures required for this embrace the choice of the starting materials, the mix design, concrete production, monitoring and tests. The nature and extent of the measures depends on the quality and homogeneity of the starting materials, the production equipment, the know-how of the staff and the requirements made on the concrete.

In keeping with the previously mentioned factors of influence the concrete manufacturer lays down his governing factors for each type of concrete and each recipe. Apart from checking the starting materials and the production appliances the sand's water content, the dosing accuracy and the potential capacity of the concrete mixer in relation to the consistency represent simple governing factors that can be assessed immediately. Providing they lie within the toler-

Betonmischers als Relation zur Konsistenz einfache und sofort beurteilbare Steuergrößen. Wenn sie innerhalb der Toleranzen liegen, wird der Beton ausgeliefert. Je nach Jahreszeit und/oder Betonsorte können weitere Steuergrößen wie Temperatur oder Luftgehalt im Frischbeton massgebend werden. Sind die Steuergrößen eingehalten, hat der Betonhersteller eine hohe Gewähr, dass die Leistungsfähigkeit seiner Betonzusammensetzung den gestellten Anforderungen entspricht.

Auf dem Lieferschein des Betons nach SN EN 206-1 stehen die Betonfestlegung und eine Konformitätserklärung mit Bezug auf die Festlegung und die EN 206-1. Damit erklärt der Betonhersteller bei der Übergabe des Betons an den Verarbeiter die Konformität mit den festgelegten Anforderungen. Mit einer Konformitätskontrolle prüft der Hersteller in der Produktion die Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen. Die Dokumentation erfolgt in einem Konformitätsnachweis.

Art und Häufigkeit der Tätigkeiten und Prüfungen in der Produktionskontrolle sind von verschiedenen Aspekten abhängig. Als Beispiel ist im Folgenden die Kontrolle der Festigkeitsklasse dargestellt (Tabelle 1). Abhängig von der

ances, the concrete is delivered. Depending on the season and/or the type of concrete further governing factors such as temperature or air content in the fresh concrete can be determining. Providing the governing factors are adhered to, the concrete manufacturer can feel highly certain that the rating of his concrete composition corresponds with the required demands.

In accordance with SN EN 206-1 the concrete specification and a declaration of conformity with regard to the specification and the EN 206-1 are to be found on the delivery note for the concrete. In this way the concrete manufacturer declares its conformity with the required demands when the concrete is handed over to the processor. The manufacturer checks accordance with the determined demands by a conformity control during production. Documentation is made available in the form of proof of conformity.

The nature and frequency of the activities and tests in production control depend on various aspects. In the following the checking of the strength class is presented as an example (Table). Depending on the production findings (initial test, initial production and constant production) and the level of external control (certificated production control or not) the

Tabelle 1: Mindesthäufigkeit der Probenahme zur Beurteilung der Konformität

Herstellung	Mindesthäufigkeit der Probenahme		
	Erste 50 m <sup>3</sup> der Produktion	Nach den ersten 50 m <sup>3</sup> der Produktion <sup>1)</sup>	
		Beton mit Zertifizierung der Produktionskontrolle	Beton ohne Zertifizierung der Produktionskontrolle
Erstherstellung (bis mindestens 35 Ergebnisse erhalten wurden)	3 Proben	1/200 m <sup>3</sup> oder 2/Produktionswoche	1/150 m <sup>3</sup> oder 1/Produktionstag
Stetige Herstellung <sup>2)</sup> (wenn mindestens 35 Ergebnisse verfügbar sind)		1/400 m <sup>3</sup> oder 1/Produktionswoche	

1) Die Probenahme muss über die Herstellung verteilt sein und für je 25 m<sup>3</sup> sollte höchstens eine Probe genommen werden.  
2) Wenn die Standardabweichung der letzten 15 Prüfergebnisse 1,37  $\sigma$  überschreitet, ist die Probenahmehäufigkeit für die nächsten 35 Prüfergebnisse auf diejenige zu erhöhen, die für die Erstherstellung gefordert wird.

Table 1: Minimum frequency for taking samples to assess the conformity

Production	Minimum frequency for taking samples		
	First 50 m <sup>3</sup> of production	After the first 50 m <sup>3</sup> of production <sup>1)</sup>	
		Concrete certified by production control	Concrete not certified by production control
Initial production (would contain up to 35 results)	3 samples	1/200 m <sup>3</sup> or 2/Production week	1/150 m <sup>3</sup> or 1/Production day
Constant production <sup>2)</sup> (if at least 35 results available)		1/400 m <sup>3</sup> or 1/Production week	

1) Taking samples must be distributed throughout production and at least 1 sample must be taken for each 25 m<sup>3</sup>.  
2) Should the standard deviation for the last 15 test results exceed 1.37  $\sigma$ , the frequency of taking samples for the next 35 must be raised to the level, which applied to initial production.

Produktionserfahrung (Erstprüfung, Ersterstellung und stetige Herstellung) und dem Niveau der externen Kontrolle (zertifizierte Produktionskontrolle oder nicht) legt die SN EN 206-1 die Prüfhäufigkeit für die Druckfestigkeit fest.

Bei der Produktionskontrolle der Betonherstellung werden zufällige Stichproben aus der Herstellung entnommen und auf massgebliche Eigenschaften überprüft, um eine ordnungsgemässe Funktion der Kontrollsysteme für die Ausgangsstoffe, die Produktion, die Überwachung und die festgelegten Anforderungen sicherzustellen. Die erhaltenen Daten werden ausgewertet, um Änderungen früh festzustellen. Durch die Zusammenfassung dieser Daten in Betonfamilien können Änderungen schneller erkannt und somit entsprechende Massnahmen rascher eingeleitet werden. Die Bildung der Betonfamilien liegt in der Verantwortung des Betonherstellers. Die SN EN 206-1 gibt Hinweise und Randbedingungen an. Die Proben für den Konformitätsnachweis der Druckfestigkeit stammen somit aus Chargen von Beton für verschiedene Kunden bzw. Objekte.

In der SN EN 206-1 sind die Massnahmen und das Vorgehen bei Nichtkonformität des Produktes festgehalten. Der erste Schritt ist die Überprüfung der Prüfergebnisse. Falls sich eine Nichtkonformität bestätigt, sind korrigierende Massnahmen zu ergreifen und die Wirksamkeit zu überprüfen. Falls sich eine Nichtkonformität mit der Festlegung bestätigt und diese bei der Lieferung nicht offensichtlich war, ist der Abnehmer zu verständigen, um Folgeschäden zu vermeiden. Alle Massnahmen sind zu dokumentieren.

**Nur mit Massnahmen bzw. Reaktionen auf erkannte oder vermutete Abweichungen kann die Qualität beeinflusst werden.**

Die Entscheidung beim Betonwerk, den Beton auszuliefern, ist somit von grosser Bedeutung.

Im Allgemeinen sieht die SN EN 206-1 keine Veränderung der Betonzusammensetzung nach dem Verlassen des Betonmischers vor. Das bedeutet keine Zugabe von Wasser oder Zusatzmitteln bei der Lieferung. In besonderen Fällen darf die Konsistenz unter der Verantwortung des Herstellers durch die Zugabe von Wasser und/oder Zusatzmitteln auf den festgelegten Wert gebracht werden. In diesem Fall müssen die Wasserzugabe im Mischungsentwurf des Betons vorgesehen sein und die Mengen innerhalb von vorgängig festgelegten Grenzen liegen. Die Zugabe der Wasser- und/oder Zusatzmittelmenge ist auf dem Lieferschein zu vermerken.

Die Produktionskontrolle hat folgende Ziele:

- Erkennen von Fehlern zum frühestmöglichen Zeitpunkt und rechtzeitiges Reagieren (Massnahmen)
- Hohe Gewährleistung der Konformität des Betons
- Optimieren von Abläufen, Prozessen und Kosten
- Rückverfolgbarkeit und Dokumentation.

SN EN 206-1 lays down the test frequency for the compressive strength.

In the case of production control during the manufacture of concrete, random samples are taken from the production process and tested to establish determining factors in order to assure the proper functioning of the control systems for the starting materials, production, monitoring and the determined requirements. The obtained data are evaluated so that alterations can be established at an early stage. Through summarising these data in concrete families alterations can be more swiftly established so that corresponding measures can be more speedily introduced. The setting up of concrete families lies in the hands of the concrete manufacturer. The SN EN 206-1 provides pointers and general conditions. The samples for the proof of conformity for the compressive strength thus stem from batches of concrete for various customers and projects.

The measures and the procedure in the event of non-conformity of the product are to be found in the SN EN 206-1. The first step is to check the test results. Should non-conformity be confirmed, corrective measures must be resorted to and their efficacy scrutinised. Should non-conformity then be confirmed and this was not actually apparent during delivery, the recipient must be informed in order to avoid harmful consequences. All measures have to be documented.

**The quality can only be influenced through measures or reactions to recognised or presumed deviations.**

Thus the concrete plant's decision to supply the concrete is of major significance.

Generally speaking the SN EN 206-1 does not stipulate any change in the concrete composition after it leaves the concrete mixer. This signifies no addition of water or additives when delivered. In special cases the consistency can be altered to reach the determined value at the responsibility of the manufacturer by adding water or additives. In this case the addition of water must be foreseen in the mix design of the concrete and the amounts must lie within previously established limits. The adding of water and/or additives must be recorded on the delivery note.

Production control has the following objectives:

- Recognising errors at the earliest possible point in time and timely intervention (measures)
- High assurance of the conformity of the concrete
- Optimising sequences, processes and costs
- Retraceability and documentation.

Implementation of production control results in:

- Customer satisfaction through uniform quality
- Concrete as controlled quality product
- Verifying that the concrete was in order when handed over.

Erreicht wird mit der Umsetzung der Produktionskontrolle:

- Kundenzufriedenheit durch gleichmässige Qualität
- Beton als kontrolliertes Qualitätsprodukt
- Belegen, dass Beton bei der Übergabe in Ordnung war.

### 5.3 Qualitätskontrolle des Unternehmers bei der Übergabe

Die richtige Betonauswahl ist nicht nur von den geforderten Eigenschaften des Festbetons abhängig, sondern auch massgeblich von der Ausführung (Einbringmethode, Verarbeitung, konstruktive Aspekte etc.). Die Auswahl des korrekten Betons trifft der ausführende Bauunternehmer bereits in der Offertphase. Der Bauunternehmer hat sicherzustellen, dass der von ihm gewählte Beton den Anforderungen des Bauherrn ebenso entspricht wie seinen Anforderungen aufgrund der Ausführung. Der Bauunternehmer muss deshalb aufgrund der Ausschreibungsunterlagen erkennen, welche Anforderungen seitens des Bauherrn vom Beton verlangt werden und darauf abgestimmt die Anforderungen an seine Betonproduktion oder seine Betonlieferanten festlegen (Bild 7).

Sind alle Anforderungen klar und komplett formuliert, ist der infrage kommende Betonhersteller auszusuchen, die Details sind mit ihm zu klären und dies ist schriftlich festzuhalten. Die folgenden Angaben sind mindestens auszutauschen:

- Auftraggeber, Baustelle, Ort und Zufahrt, Entladestelle
- Betonsorte in Übereinstimmung mit den gestellten Anforderungen
- Benötigte und vorhandene Nachweise (Konformitätsnachweise, Nachweise von zusätzlichen Anforderungen etc.), Informations- und Dokumentenfluss
- Betoniertage, -zeiten und Abnahmemengen pro Zeiteinheit (Anzahl Fahrzeuge)
- Fahrzeugart, Zwischenlager UG oder Abkühlen, Pumpe, Förderband etc.

## 6 Ausführung

Im Prüfplan sind Art, Umfang, Durchführung und Zeitpunkt der Ausführungskontrollen für den Nachweis der geforderten Qualität (Eigenschaften der Baustoffe und des Bauwerks) sowie die Regelung der Zuständigkeiten und des Informationsflusses festzulegen. Einfluss auf den Prüfplan haben der Kontrollplan des Bauherrn sowie die Anforderungen aus der Ausführung. In der SIA 262 wird darauf hingewiesen, dass bei Bedarf Frischbetonprüfungen durchzuführen sind.

Bei jeder Betonlieferung ist der Lieferschein in Bezug auf die Bestellung zu kontrollieren. Eine visuelle, optische Beurteilung des Betons bei jeder Lieferung wird in der Regel bewusst oder unbewusst durchgeführt. Umfang und Häufigkeit von Frischbetonprüfungen sind Funktionen der Anforderungen, der Erfahrungen der ausführenden Mitarbeiter, des Stellenwerts und der Funktion des Bauteils usw.



7 Betonübergabe  
Delivery of concrete

### 5.3 Contractor's Quality Control upon Delivery

The proper choice of concrete does not simply depend on the required features of the solid concrete but also to a large extent on the execution (placing method, processing, constructional aspects etc.). The choice of the right concrete affects the responsible contractor during the submission phase. The contractor has to ensure that the concrete he has chosen corresponds to the client's requirements in the same way as his requirements in terms of execution. As a result the contractor must recognise from the tendering documents which requirements will be placed on the concrete by the client and thereby establish the requirements on his concrete production or his concrete suppliers (Fig. 7).

Once all requirements have been clearly and completely formulated, the appropriate concrete manufacturer must be chosen then the details clarified with him and laid down in written form. At the very least the following details must be provided:

- Client, construction site, location and access, unloading point
- Types of concrete in accordance with the posed requirements
- Needed and available proofs (proof of conformity, proofs of additional requirements etc.), flow of information and documentation
- Concreting days, times and the amounts accepted per time unit (number of vehicles)
- Type of vehicle, intermediate storage environmentally friendly or offloading, pump, belt conveyor etc.

## 6 Execution

The nature, extent, implementation and timepoint of the execution controls for proof of the demanded quality (properties of the construction materials and the structure)



8 Stark bewehrter Gewölbefuss im Sohlstollen  
Strongly reinforced vault foot in the floor heading

Das Feststellen von verdächtigen oder nicht konformen Chargen ist der einfachere Teil der Qualitätskontrolle bei der Übergabe des Frischbetons. Oftmals wird erkannt, dass etwas nicht in Ordnung ist oder nicht passt. Der Zeit- und Kostendruck sowie die Erfahrung „bis jetzt ist es trotzdem gut gegangen“ verhindern, dass Beton zurückgewiesen wird.

**Nur mit dem aktiven Reagieren auf Feststellungen kann jedoch die Qualität des Bauwerks beeinflusst und gesteuert werden.**

Die eindeutige und vorgängige Festlegung, wer auf der Baustelle vor Ort welche Kompetenzen hat, ist deshalb von grösster Bedeutung. Eine enge und koordinierte Zusammenarbeit zwischen Unternehmer, Bauleitung und allfälligen Prüfinstituten ist unabdingbar. Die Kontrolle der Umsetzung ist eine Führungsaufgabe (Bilder 8–11) und beinhaltet

- den Transport (Geräte und Installationen bereit, sorgfältiger Umschlag, Lieferungsprobleme, richtiger Einbauort, keine Entmischung, keine Wasserzugabe etc.),



10 Gewölbe beim TBM-Vortrieb  
Vault during TBM drive



9 Unbewehrtes Gewölbe eines Querschlags  
Unreinforced vault of a cross-passage

as well as regulation of responsibilities and the flow of information have to be laid down in the test plan. The client's control plan as well as requirements resulting from the execution exerts an influence on the test plan. It is pointed



11 Unbewehrtes Sohlgewölbe  
Unreinforced floor vault

- den Einbau (Einbauequipe bereit, Einbauzeit klar (Schichtwechsel o. ä.), auf Kubatur abgestimmte Einbauleistung, gleichmässiges Einbringen etc.),
- die Verarbeitung (fachgerechtes Verdichten, Oberflächenbearbeitung etc.)
- und die Nachbehandlung (Belassen des Betons in der Schalung, Abdecken etc.).

Im Kontroll- bzw. Prüfplan des Unternehmers können auch Festbetonprüfungen geplant sein. Bis auf wenige Ausnahmen wie z. B. die Festigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt (Vorspannung etc.) sind das jedoch keine Steuergrössen mehr, sondern Zielgrössen. Mit einer stichprobenartigen Durchführung oder bei Unregelmässigkeiten wird der Nachweis der Zielgrössen dokumentiert.

In der Regel werden auf der Baustelle im Rahmen einer Frischbetonprüfung separate Probekörper hergestellt und anschliessend geprüft. Bestehen Zweifel, dass die separat hergestellten Prüfkörper der Bauwerksqualität entsprechen, können Probekörper aus dem Objekt gewonnen werden.

Wenn die Anforderungen an den Transport, den Einbau, die Verarbeitung und die Nachbehandlung korrekt umgesetzt wurden, werden die Unterschiede der Betonqualität im Objekt zu den separat hergestellten Prüfkörpern mit dem Teilsicherheitsbeiwert des Baustoffs angemessen abgedeckt.

Die Beurteilung der Identitätsprüfung für die Druckfestigkeit von Prüfkörpern, welche auf der Baustelle hergestellt wurden, ist im Anhang B geregelt. Die Festlegung der Druckfestigkeitsklasse nach SN EN 206-1, z. B. C25/30, basiert auf dem Niveau von separat hergestellten Prüfkörpern. Wurde der Nachweis mit separat hergestellten Zylindern geführt, gilt eine charakteristische Druckfestigkeit von 25 MPa. In der Schweiz ist der Nachweis an separat hergestellten Würfeln mit den Abmessungen 15 x 15 x 15 cm üblich. In diesem Fall wird der 2. Wert – im Beispiel 30 MPa – als charakteristische Druckfestigkeit massgebend. Der Unterschied vom 1. zum 2. Wert ist aufgrund der unterschiedlichen Prüfkörperformen – insbesondere der Höhe – begründet.

Wird die Druckfestigkeit am Objekt bestimmt, gilt die SN EN 13791. Im nationalen Teil der SN EN 13791 ist die benötigte Anzahl Einzelwerte in Abhängigkeit von Durchmesser der Bohrkerne und Grösstkorn des Betons definiert. Die Prüfkörper aus dem Objekt haben die Verarbeitung und Nachbehandlung des Objektes mitgemacht. Ohne das Zuverlässigkeitsniveau zu verlassen, kann deshalb bei der Beurteilung der Druckfestigkeitsklasse die charakteristische Druckfestigkeit auf 85 % gesetzt werden.

### 7 Schlussbemerkung

Mit der Einführung der neuen Betonnormen hat sich die Sprache der Betondefinition gewandelt. Das gemeinsame Verständnis dieser Sprache zwischen Bauherr, Projektver-

out in the SIA 262 that if need be fresh concrete tests have to be undertaken.

The delivery not is to be checked with regards to the order for each concrete supply. A visual appraisal of the concrete for every delivery is carried out either deliberately or not. The extent and frequency of the fresh concrete tests relate to the requirements, the experience of the responsible staff, the significance and the function of the structural element etc.

The identifying of suspicious or non-conformant batches represents the easier part of quality control when the fresh concrete is handed over. Often it is recognised that something is wrong or is not appropriate. Time and cost pressure as well as the notion "still it's always worked out so far" prevent concrete from being rejected.

**However it is only possible to influence and control the concrete quality by reacting vigorously to what is established.**

The unequivocal, prior determination relating to just who is responsible on the spot on site is thus of enormous importance. Close, coordinated cooperation between the contractor, construction management and possible test institutes is essential. Checking implementation represents a managerial task (Figs. 8–11) and relates to

- Transport (making equipment and installations available, careful reloading, delivery problems, correct point of placing, no demixing, no addition of water etc.),
- Placing (making placing crew available, defining placing time (change of shift etc), placing rate geared to cubage, homogeneous placing etc.),
- Processing (professional sealing, surface treatment etc.)
- and curing (leaving the concrete in the formwork, covering etc.).

In the contractor's control or test plan solid concrete tests can also be scheduled. With very few exceptions however as e.g. the strength at a certain timepoint (prestressing etc.) these no longer represent governing factors but rather target factors. Proof of the target factors is documented by means of random implementation or in the event of irregularities.

Generally speaking separate samples are produced on the construction site within the scope of a fresh concrete test and subsequently tested. Should doubts exist that the separately produced test samples correspond with the structural quality proof of the target factors is documented.

Providing that the requirements posed on transport, placing, processing and curing are correctly put into practice, any differences in concrete quality for the project to the separately produced test samples will be appropriately covered by the partial safety coefficient of the construction material.

fasser, Betonproduzent und Unternehmer ist zentral. Nur aufgrund von klaren Anforderungen zwischen Bauherr und Projektverfasser, eindeutigen Ausschreibungsunterlagen sowie zertifizierter Produktionskontrolle des Betonproduzenten und einer fachgerechten Ausführung durch den Unternehmer können dauerhafte Bauwerke entstehen.

Assessment of the identity test for the compressive strength of test samples, which were produced on the construction site, is regulated in Appendix B. The establishment of the compressive strength class according to SN EN 206-1 e.g. C25/30 is based on the level of separately produced test samples. If proof were to be based on separately produced cylinders, the outcome would be a characteristic compressive strength of 25 MPa. In Switzerland it is customary to seek proof based on separately produced cubes with the dimensions 15 x 15 x 15. In this case the second value – 30 MPa in the example – is determining as the characteristic compressive strength. The difference between the 1st and 2nd value results from the different forms of the test samples – especially the height.

The SN EN 13791 is valid for establishing the project's compressive strength. In the national section of the SN EN 13791 the required number of individual values is defined related to the diameter of the drill cores and the largest aggregate for the concrete. The test samples from the project have been subjected to the processing and curing undergone on site. Without neglecting the level of reliability the characteristic compressive strength can be set at 85 % when establishing the compressive strength class.

### 7 Conclusion

With the introduction of the new concrete norms the language for defining concrete has changed. The joint understanding of this language among client, project compiler, concrete manufacturer and contractor is centralised. It is only possible to produce sustainable structures providing that clear requirements exist between the client and the project compiler, unequivocal tendering documents as well as certificated production control of the concrete manufacturer and professional execution on the part of the contractor.

*Jürg Schlumpf, Dipl. Bauing. HTL, Head Concrete Technology, Sika Services AG, Zürich/CH*

# Betonsysteme Gotthard-Basistunnel

## Ausschreibung, Zulassung, Umsetzung und Erfahrungen aus Sicht der Materiallieferanten

Beim Bau des längsten Eisenbahntunnels kommt dem Beton eine besondere Bedeutung zu. In einem aufwändigen Betonprüfungssystem über 3 Phasen (Eignungsnachweis, Vor- und Hauptprüfung) wurden Anbieterteams (Zement- und Betonzusatzmittelhersteller) qualifiziert und für die Ausführung zugelassen. Aus betontechnologischer Sicht war dieses Verfahren ein voller Erfolg für die Dauerhaftigkeit dieser Betone.

# Gotthard Base Tunnel Concrete Systems

## Tendering, Approval, Execution and Findings seen from the Material Supplier's Viewpoint

Concrete has a special role to play in building the world's longest railway tunnel. During a protracted concrete testing programme in 3 phases (proof of suitability, preliminary and main test) teams supplying the product (manufacturers of cement and concrete additives) qualified to take part in its execution. Seen from the concrete technological point of view this method represented a complete success regarding the durability of these concretes.

### 1 Einführung

Was jahrzehntelang geplant und zwischen den regionalen Interessen abgeglichen wurde, fand in der 1989 durch den Bundesrat beschlossenen Netzvariante seinen Anfang und wurde durch das Schweizer Volk am 27. September 1992 bestätigt. Der Entscheid zum Bau der Flachbahn durch die Alpen wurde in der Folge 1994 durch das Volk zum Schutz der Alpenregion bestätigt. Damit konnte die NEAT realisiert werden und das Kernstück dieser Nord-Süd-Achsen ist sicherlich der Gotthard-Basistunnel (GBT). Mit einer Länge von 57 km entsteht im zentralen Alpenraum der längste Eisenbahntunnel der Welt. Hauptsächlich durch Hartgesteins-TBM werden die zwei Paralleltunnel aufgeföhren. Speziell in den zwei geologisch kritischen Zonen Sedrun und MFS Faido kommen aber auch konventionelle Vortriebsmethoden zum Einsatz. Neben dem Aufföhren der Tunnel und der komplexen Logistik eines solchen Grossprojektes kommt den Hauptbaustoffen Beton und Spritzbeton eine ganz besondere Bedeutung zu. Im folgenden Beitrag wird das wahrscheinlich einmalige Gesamtqualitätskonzept Beton der AlpTransit Gotthard AG beschrieben und aus Sicht der Materiallieferanten beurteilt. Schon an dieser Stelle darf aber gesagt werden, dass dieses System das Ziel der hohen Betonqualitäten erreicht hat!

### 1 Introduction

It took many years of planning and regional interests had to be balanced out before the network variant decided on by the Federal Council in 1989 was given the green light by the people of Switzerland on September 27th, 1992. The resolution to build the flat trajectory railway through the Alps was subsequently approved by the population in 1994 in order to protect the Alpine region. As a result the NEAT – the railway routes crossing the Alps – could be accomplished and the core of this north-south axis is undoubtedly the Gotthard Base Tunnel (GBT). With a length of 57 km the world's longest railway tunnel is being created in the central Alpine area. The 2 parallel bores are mainly being driven by hard rock TBMs. However in the 2 geologically critical zones Sedrun and MFS Faido conventional methods of excavation are also being applied. Apart from driving the tunnels and the complex logistics associated with such a major project, the main construction materials concrete and shotcrete have a very special part to play. The following report describes the probably unique overall quality concept of the concrete used by the AlpTransit Gotthard Ltd. as appraised from the material suppliers' viewpoint. It can already be asserted at this stage that the system has accomplished its target of attaining high concrete qualities!

## Systemes de beton du tunnel de base du Saint-Gotthard

Appel d'offres, agrément, mise en œuvre et expériences du point de vue des fournisseurs de matériel

Le béton occupe une importance toute particulière dans la construction du plus long tunnel ferroviaire. Des équipes de soumissionnaires (fabricants d'adjuvants pour ciment et béton) ont été qualifiées au cours d'un processus complexe de contrôle du béton comprenant 3 phases (attestation d'aptitude, essai préalable et essai principal) et agréées pour l'exécution. Du point de vue de la technologie du béton, cette procédure a été un succès complet pour la durabilité de ces bétons.

## Sistemi di calcestruzzi della galleria di base del San Gottardo

Appalto, autorizzazione, realizzazione ed esperienze dal punto di vista dei fornitori di materiali

Nella costruzione della galleria ferroviario più lungo al mondo, il calcestruzzo ha un ruolo fondamentale. Delle squadre di offerenti (fabbricanti di additivi per cemento e calcestruzzo) sono stati qualificati e autorizzati all'esecuzione dei lavori in seguito a un dispendioso sistema di verifica del calcestruzzo in 3 fasi (verifica di idoneità, verifica preventiva e principale). Dal punto di vista prettamente tecnologico, il procedimento è risultato vincente per la durabilità del calcestruzzo.

## 2 Betonqualität

Aufgrund der einmaligen Projektvoraussetzungen, der gesamten Projektkosten und der in jeder Hinsicht komplexen Rahmenbedingungen hat sich die Bauherrschaft schon in einem sehr frühen Stadium Gedanken zur Nachhaltigkeit (Dauerhaftigkeit) der Baustoffe gemacht. Im Rahmen dieser Vorabklärungen sind Prüfungssysteme für Betone und Abdichtungen entstanden. Bald schon begann man vom „100-jährigen Beton am Gotthard“ zu sprechen. Die Vorgabe zur Verwendung des Tunnelausbruchmaterials als Gesteinskörnung für die Betonherstellung hat dieser Aufgabenstellung eine zusätzliche Bedeutung verliehen. So wurden schon

## 2 Concrete Quality

On account of the unique project prerequisites, the overall project costs and the generally complex marginal conditions the client mulled over the sustainability (durability) of the building materials at a very early stage indeed. Testing systems for concretes and seals evolved within the scope of these preliminary deliberations. Soon there was talk of "concrete lasting 100 years for the Gotthard". As it was laid down that the tunnel excavated material was to be used as aggregate for producing the concrete this placed additional emphasis on this task. Accordingly in 1994 the Empa [3] undertook feasibility studies with materials excavated from

Table 1: Besondere Anforderungen an die wichtigsten Beton- und Spritzbetonsorten

Betonsorte	AlpTransit Bezeichnung	Betonklasse	Besondere Anforderungen
Konstruktionsbeton	OB 1	B 40/30	Lange Verarbeitbarkeit und hohe Frühfestigkeit Wasserdichtigkeit
Konstruktionsbeton	OB 2	B 40/30	Lange Verarbeitbarkeit und hohe Frühfestigkeit Wasserdichtigkeit und hohe Sulfatbeständigkeit
Spritzbeton	SB 1	B 35/25	Lange Verarbeitbarkeit und hohe Frühfestigkeit Wasserdichtigkeit
Spritzbeton	SB 2	B 35/25	Lange Verarbeitbarkeit und hohe Frühfestigkeit Wasserdichtigkeit und hohe Sulfatbeständigkeit

Table 1: Special demands on the most important concrete and shotcrete types

Concrete type	AlpTransit designation	Concrete class	Special demands
Structural concrete	OB 1	B 40/30	Long processability and high early setting strength watertightness
Structural concrete	OB 2	B 40/30	Long processability and high early setting strength watertightness and high sulphate resistance
Shotcrete	SB 1	B 35/25	Long processability and high early setting strength watertightness
Shotcrete	SB 2	B 35/25	Long processability and high early setting strength watertightness and high sulphate resistance

1994 durch die Empa [3] Machbarkeitsversuche mit Ausbruchmaterialien des Sondierstollens Faido durchgeführt und so wichtige Parameter vorbestimmt. Die generelle Machbarkeit konnte hierbei festgestellt und die Anforderungen an die Materialaufbereitung konnten verbessert werden (Tabelle 1).

### 3 Präqualifikationsverfahren (Prüfungssystem)

Da mit dem vorgesehenen Prüfungssystem sehr lange Dauerhaftigkeitsanforderungen simuliert werden sollten und das ganze System bis zum Start der Ausschreibungen bereitstehen musste, wurde bereits sehr früh mit dem Verfahren begonnen. Neben den hohen Kosten (Personalaufwand und Materialprüfungskosten) für die Anbieter entstanden auch hohe Vorinvestitionen für den Bauherrn zur Erstellung dieses einmaligen Systems. Das Prüfsystem [1] ist auf die wichtigsten Beton- und Spritzbetonsorten der Hauptbaulose beschränkt und umfasst total 4 Sorten, 2 Spritz- und 2 Ortbetonrezepturen (SB und OB). Ab 1996 konnten sich die Anbieter bewerben, um das mehrstufige Verfahren zu durchlaufen.

Neben den umfangreichen Frisch- und Festbetonprüfungsvorgaben bestand eine weitere Einzigartigkeit der Ausschreibung darin, dass sich die Anbieter von Zement und Bindemitteln mit den Anbietern von Betonzusatzmitteln und -stoffen zu sogenannten Anbieterteams zusammenschliessen mussten und nur als solche bestehen konnten. Um das System möglichst praxisgerecht prüfen zu können, hat der Bauherr im Versuchsstollen Hagerbach (VSH) eine äusserst aufwändige Versuchseinrichtung aufgebaut, mit der Betone und Spritzbetone möglichst praxisnah geprüft und unter immer konstanten Rahmenbedingungen auch verglichen werden konnten.

Das Prüfungssystem bestand aus 3 Phasen:

- **Eignungsnachweis:** Die Anbieter hatten ihre fachliche und produktionstechnische Eignung nachzuweisen.
- **Vorprüfung:** Die Anbieterteams konnten unter eigenen Rahmenbedingungen die Systeme vorprüfen und mussten diese Resultate dann für die Zulassung zur Phase 3 vorlegen.
- **Hauptprüfung:** Die Anbieterteams mussten das gesamte Prüfsystem (2 OB und 2 SB) im VSH unter Aufsicht durchführen und alle Resultate wurden von unabhängiger Seite erfasst und aufgezeichnet.

Obwohl das System schon sehr komplex war, musste für eine möglichst realitätsnahe Simulation der Verhältnisse die Petrografie der Zuschlagstoffe berücksichtigt werden. So wurde das ganze Projekt in die vorgesehenen 5 Hauptbaulose unterteilt; daraus wurden aus Sicht der zu erwartenden Gesteinskörnungen 3 Abschnitte definiert:

- Abschnitt Amsteg und Erstfeld (A)
- Abschnitt Sedrun (S)
- Abschnitt Faido und Bodio (B).

the Faido exploratory tunnel thus predetermining important parameters. As a result general feasibility was able to be established and the demands on material preparation improved (Table 1).

### 3 Prequalification Method (Test System)

As extremely long durability requirements had to be simulated by the foreseen test system and the complete programme had to be ready by the start of the tendering phase, work on the method commenced at a very early stage. Alongside the high costs (outlay on staff and material testing costs) for the bidding parties, the client also had to pay for high advance investments in order to create this unique system. The test system [1] is restricted to the most essential types of concrete and shotcrete for the main contract sections and altogether consists of 4 types, 2 shotcrete and 2 in situ concrete recipes (SB and OB). The bidding parties were able to apply as from 1996 in order to successfully complete the multi-stage procedure.

In addition to the extensive fresh and solid concrete test parameters a further unique feature anchored in the tender was that firms manufacturing cement and binding agents were requested to create so-called bidding teams with companies supplying concrete additives and admixtures and were only eligible in such a form. In order to be able to test the system as practice-related as possible the client set up an extremely complex test unit in the Hagerbach Test Gallery (VSH) by means of which the concretes and shotcretes were able to be tried out as close to practice as possible and also compared under constant marginal conditions.

The test system constituted 3 phases:

- **Proof of suitability:** bidding parties had to prove their professional and product-technical competence.
- **Preliminary test:** The bidding teams were able to subject the systems to preliminary tests under their own marginal conditions and were obliged to table these results in order to be approved for Phase 3.
- **Main test:** the bidding teams were obliged to carry out the complete test system (2 OB and 2 SB) in the VSH under supervision and all results were collected and recorded by an independent third party.

Although the system was highly complex, the petrographical conditions for the aggregates had to be taken into account for them to be simulated as close to reality as possible. As a result the total project was split up into the foreseen 5 main contract sections and 3 sectors defined on the basis of the rock granulations that were anticipated:

- Amsteg and Erstfeld sector (A)
- Sedrun sector (S)
- Faido and Bodio sector (B).

Table 2: Anforderungen und Prüfkriterien Ortbeton OB [1]

Betonorte	OB 1		OB 2	
	Zulassung	Ausführung	Zulassung	Ausführung
Anforderung für die Zulassung/Ausführung				
Festigkeitsklasse	B 45/35	B 40/30	B 45/35	B 40/30
Frühfestigkeit nach 12 Stunden [N/mm <sup>2</sup> ]	>5	>5	>5	>5
Wasserleitfähigkeit [g/m <sup>2</sup> h]	<12	<15	<8	<10
Chemische Widerstandsfähigkeit	–	–	XA2	XA2
Max. zulässige Längenänderung [‰]	–	–	0,5	0,5
Minimaler Zementgehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	325	325	330	330
W/Z-Wert	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Table 2: Demands and Test Criteria for in situ Concrete OB [1]

Type of concrete	OB 1		OB 2	
	Approval	Execution	Approval	Execution
Demand for approval/execution				
Strength class	B 45/35	B 40/30	B 45/35	B 40/30
Early strength after 12 h [N/mm <sup>2</sup> ]	>5	>5	>5	>5
Water conductivity [g/m <sup>2</sup> h]	<12	<15	<8	<10
Chemical resistance capacity	–	–	XA2	XA2
Max. permissible change in length [‰]	–	–	0.5	0.5
Min. cement content [kg/m <sup>3</sup> ]	325	325	330	330
W/C value	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50

Eine weitere Herausforderung war die Vorbedingung des Bauherrn, sämtliche Betone zu 100 % mit den ausgebrochenen Gesteinskörnungen aus dem Vortrieb zu erstellen und dies unabhängig davon, ob im Sprengvortrieb oder mit einer Tunnelbohrmaschine aufgeföhren würde. Diese Situation vor dem Start der eigentlichen Bauarbeiten zu simulieren, war nicht möglich. Aus den Erkundungsarbeiten konnten aber vergleichbare Gesteine gewonnen werden und diese wurden dann bestmöglich zu Betonzuschlagstoffen aufbereitet.

So hatte das einzelne Anbietersteam, sofern es sich für den ganzen Basistunnel bewerben wollte, 3 solcher Prüfungssysteme zu durchlaufen, wobei jedes Mal bei der Hauptprüfung alle 4 Betonsorten erfüllt werden mussten.

Die 4 Betonsorten orientierten sich an den zu erwartenden Hauptmengen für die Ausbruchsicherung und den Ausbaubeton (Sohle und Gewölbe). Daraus wurden diese 4 Hauptbetonsorten definiert. Dabei wurde zwischen den Anforderungen für die Hauptprüfungen und den dann am Objekt geltenden Anforderungen unterschieden. Für die Hauptprüfung wurden die Grenzwerte noch einmal erhöht, um eine Art Reserve in den Betonsystemen zu schaffen.

Aus den Tabellen 2 und 3 ist zu entnehmen, dass sich die festlegende Arbeitsgruppe bei der Definition der Vorgaben nicht nur an den Dauerhaftigkeitsanforderungen ausgerich-

A further challenge involved the prior conditions posed by the client stipulating that all concrete had to 100 % produced with the excavated rock granulations from the drive regardless of whether they were obtained by means of drill+blast or a tunnel boring machine. It was impossible to simulate this situation prior to the start of the actual construction work itself. However comparable rocks were obtained from the exploratory operations and these were prepared to form concrete aggregates as far as possible.

As a result each individual bidding team if it was applying for the entire Base Tunnel had to pass through 3 such test systems, with all 4 concrete types having to be approved during the main test on each occasion.

The 4 concrete types were geared to the expected main quantities needed for securing the excavation and the support work (floor and vault). These 4 main types of concrete were defined on this basis. A differentiation was made in this connection between the demands for the main tests and the demands applying to the project. The limit values were increased once more for the main test in order to create a kind of reserve for the concrete systems.

It can be gleaned from Tables 2 and 3 that the responsible working group did not simply take the durability demands into account when defining the parameters but also attempted to contemplate possible processing on the part of the

Tabelle 3: Anforderungen und Prüfkriterien Spritzbeton SB [1]

Betonsorte	SB 1		SB 2	
	Zulassung	Ausführung	Zulassung	Ausführung
Anforderung für die Zulassung/Ausführung				
Festigkeitsklasse	B 40/30	B 35/25	B 40/30	B 35/25
Frühfestigkeit nach 4 Stunden [N/mm <sup>2</sup> ]	>3	>3	>3	>3
Wasserdichtigkeit DIN: Eindringtiefe [mm]	<25	<30	<20	<25
Chemische Widerstandsfähigkeit	–	–	XA2	XA2
Max. zulässige Längenänderung [‰]	–	–	0,5	0,5
Minimaler Zementgehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	375	375	375	375
W/Z-Wert	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Table 3 : Demands and Test Criteria for Shotcrete SB[1]

Type of concrete	SB 1		SB 2	
	Approval	Execution	Approval	Execution
Demand for approval/execution				
Strength class	B 40/30	B 35/25	B 40/30	B 35/25
Early strength after 4 h [N/mm <sup>2</sup> ]	>3	>3	>3	>3
Watertightness DIN: penetration depth [mm]	<25	<30	<20	<25
Chemical resistance	–	–	XA2	XA2
Max. permissible change in length [‰]	–	–	0.5	0.5
Min. cement content [kg/m <sup>3</sup> ]	375	375	375	375
W/C value	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50

tet hat, sondern dass auch versucht wurde, eine mögliche Verarbeitung des Unternehmers anzudenken. Nur so ist es zu erklären, dass neben den üblichen Parametern wie W/Z-Wert, Festigkeiten und Dauerhaftigkeitsprüfungen auch minimale Verarbeitungszeiten und Frühfestigkeitsanforderungen bei definierten Förderlängen vor der Erstellung der massgebenden Prüfkörper erfüllt werden mussten (Tabelle 4).

Für die Dauerhaftigkeit wurde – neben der Wasserundurchlässigkeit – auch der Sulfatbeständigkeit ein hoher Wert beimessen. Im Verlaufe der Projektarbeiten ist dann aufgrund neuer Erkenntnisse bei einzelnen Abschnitten auch noch die Alkali-Silikat-Reaktion (ASR) dazugekommen.

contractor. This is the only possible explanation for the fact that in addition to the usual parameters such as W/C value, strengths and durability tests, minimal processing times and early strength demands given defined lengths of advance had to be fulfilled before the determining test samples were produced (Table 4).

High value was placed on the sulphate resistance in addition to the watertightness for the durability. During the course of work on the project the alkali-silica reaction (ASR) was added for individual sections as a result of new findings.

In order to be able to copy these conditions as well as possible underground, whole areas were specially fitted in the VSH

Tabelle 4: Anforderungen und Prüfkriterien an die Verarbeitbarkeit

Beton	Zeitpunkt	Anforderung
Spritzbeton SB	Pumpbar von 4 bis 6 Stunden	Pumpförderung über 100 m, 100 mm Durchmesser mit 2-mal 90°-Bögen
Ortbeton OB	Pumpbar von 4 bis 8 Stunden	Pumpförderung über 80 m, 80 mm Durchmesser mit 3-mal 90°-Bögen und 20 m Schlauchleitungen, D = 65 mm

Table 4: Demands and Test Criteria for Processability

Shotcrete	Timepoint	Requirement
Shotcrete SB	pumpable from 4 to 6 h	Pump delivery over 100 m, 100 mm diameter with 2 x 90° curved parts
In situ concrete OB	pumpable from 4 to 8 h	Pump delivery over 80 m, 80 mm diameter with 3 x 90° curved parts and 20 m hose lines, D = 65 mm

Um diese Verhältnisse unter Tage bestmöglich zu kopieren, wurden im VSH ganze Bereiche speziell ausgerüstet und entsprechend den erwarteten Bedingungen auch klimatisch konditioniert.

- **Betonherstellung:**  
Lufttemperaturen von 20 bis 30 °C und Frischbetontemperaturen von ca. 25 °C
- **Betonverarbeitung Ortbeton**  
Im ganzen Bereich der Betonverarbeitung (Frischbetonprüfungen/Betonlagerung/Betonförderung und Einbau) herrschten 35 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 bis 90 %
- **Betonverarbeitung Spritzbeton:**  
Lagerung, Förderung und Messung erfolgten im gleichen Raum wie der Ortbeton. Für die Spritzapplikation wurden aber in einem Stollenbereich die Felstemperatur auf 40 bis 45 °C aufgeheizt und der Spritzbeton bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 bis 90 % appliziert. Um diese Konditionen zu erreichen, musste der Felsuntergrund während Monaten durch an der Oberfläche aufgebrauchte Heizleitungen aufgeheizt werden.
- **Ausrüstungen:**  
Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurden sämtliche Ausrüstungen wie Betonmischer, Transportfahrzeuge, Betonpumpe und Spritzeinrichtung durch den VSH gestellt und über die gesamte Prüfzeit vorgehalten.

Für einen einzigen Versuchstag (SB-Versuche) waren bis zu 12 Personen aus der Versuchsleitung und -durchführung vor Ort. Dazu kamen dann noch die Vertreter des jeweiligen Anbieterteams.

Insgesamt haben über 10 verschiedene Teams und Teamkonstellationen an den Präqualifikationsversuchen teilgenommen. Dabei wurden über 100 Beton- und Spritzbetonmischungen geprüft. Laut Informationen der Übungsleitung [2] haben davon ca. 50 % die Anforderungen bestanden.

#### 4 Zulassung/Ausschreibung

Aus dem äusserst aufwändigen Prüfverfahren, insbesondere aus den Hauptprüfungen, konnten betontechnologisch wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Die daraus entstandenen Listen mit den zugelassenen Mischungen pro Abschnitt (A, S und B) waren daraufhin verbindlich für die Unternehmungen und damit auch vertraglicher Bestandteil der Ausschreibungen und Vergaben.

Betontechnologisch konnten wichtige Parameter verifiziert und für die Ausführung als praktikabel bestimmt werden.

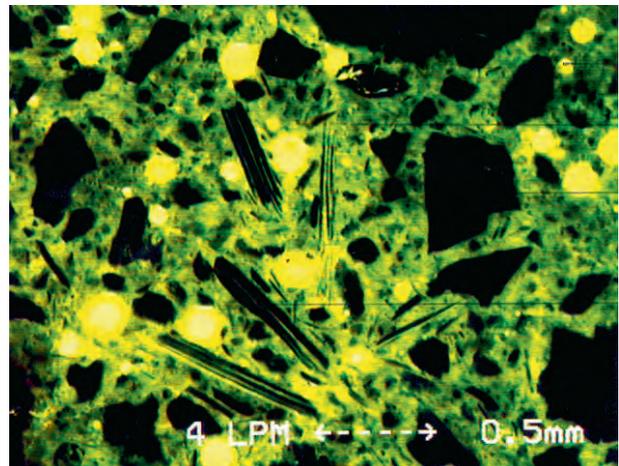
- **Gesteinskörnungen:** Das Tunnelausbruchmaterial, hauptsächlich als „TBM-Chips“ anfallend, kann bei reduzierter Maximalkörnung für die Herstellung der geforderten Betonqualitäten eingesetzt werden, auch bei diesen hohen Dauerhaftigkeitsanforderungen.

and also air-conditioned in keeping with the expected conditions.

- **Concrete production:**  
air temperatures from 20 to 30° C and fresh concrete temperatures of roughly 25° C
- **Concrete processing for in situ concrete:**  
in the entire area where the concrete is processed (fresh concrete tests/concrete storage/concrete delivery and placing) 35° C prevailed given a relative air humidity of 70 to 90 %
- **Concrete processing for shotcrete:**  
storage, delivery and measurement took place in the same area as for the in situ concrete. However, for placing the shotcrete the rock temperature in a part of the gallery was heated up to 40 to 45° C and the shotcrete placed at a relative air humidity of 70 to 90 %. In order to attain these conditions the rock subsurface had to be heated up for months on end by means of heating lines located on the surface.
- **Equipment:**  
in order to assure comparability all equipment such as the concrete mixer, transport vehicle, concrete pump and spraying device was provided by the VSH and made available during the entire test period.

For a single test day (SB tests) up to 12 persons from the test management and execution were present. In addition there were the representatives of the responsible bidding team.

Altogether 10 different teams and team combinations took part in the preliminary qualification tests. In the process more than 100 concrete and shotcrete mixes were tested. According to those in charge [2] around 50 % complied with the demands.



1 Dünnschliffanalyse des Abschnittes Sedrun  
Thin-section analysis of the Sedrun sector  
(Photo: LPM AG Baustoffprüfinstitut)

**AlpTransit Gotthard-Basistunnel**  
**Prüfungssystem für Betonmischungen**  
**Zugelassene Anbieter, geprüfte Produkte und Anwendungsbereiche**

**Prüfabschnitt A**

**Verzeichnis der zugelassenen Mischungen**

Anbieter	Mischung Nr.	Anwendungsbereich	Bemerkungen bzw. voraussichtliche Publikation
Team A2	U8012	Ortbeton OB1	aufgenommen
HCB Holderbank AG	U8013	Ortbeton OB1	aufgenommen
Holderchem Euco AG	U8422	Ortbeton OB1	aufgenommen
	U8432	Ortbeton OB1	aufgenommen
	U8432	Ortbeton OB2	aufgenommen
	U8211	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	U8221	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	U8231	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	U8812	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	U8221	Spritzbeton SB2	aufgenommen
	U8231	Spritzbeton SB2	aufgenommen
Team A3	F8911	Ortbeton OB1	Publikation im Juli 2000
HCB Holderbank AG	F8921	Ortbeton OB1	Publikation im Juli 2000
Sika AG			
Team A4	C6341	Ortbeton OB1	aufgenommen
Jura-Cement-Fabriken	C6361	Ortbeton OB1	aufgenommen
MBT (Schweiz) AG	C6531	Ortbeton OB2	aufgenommen
	C6261	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	C6271	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	C6761	Spritzbeton SB2	aufgenommen
Team A5	R2711	Ortbeton OB1	aufgenommen
Italcementi / Mapei	R2311	Spritzbeton SB1	aufgenommen
Team A6	D4311	Ortbeton OB1	Publikation im Juli 2000
Jura-Cement-Fabriken	D4371	Ortbeton OB1	aufgenommen
Sika AG	D4391	Ortbeton OB1	aufgenommen
	D4121	Ortbeton OB2	aufgenommen
	D4141	Ortbeton OB2	aufgenommen
	D4671	Spritzbeton SB1	Publikation im Juli 2000
	D4761	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	D4771	Spritzbeton SB1	aufgenommen
	D4671	Spritzbeton SB2	Publikation im Juli 2000
	D4661	Spritzbeton SB2	aufgenommen

- **Dauerhaftigkeit:** Die grösste Herausforderung bestand in der Erfüllung der geforderten Sulfatbeständigkeit. Diese konnte aufgrund moderner Betontechnologie wie der Kontrolle des Wassergehaltes mittels auf die speziellen Gesteinskörnungen angepasster Betonrezepturen und vor allem auch durch den Einsatz spezieller Bindemittel oder Bindemittelsysteme erreicht werden. Wobei sich gezeigt hat, dass verschiedene Ansätze zum Erfolg führen können.

Die ersten Mischungen konnten die Anforderungen erst 2 Jahre nach der Hauptprüfung erfüllen, da dieser Zeitraum der Prüfzeit für die Sulfatbeständigkeit entsprach. Somit wurden die ersten Betonsysteme 1999 zugelassen (Bild 1).

Alle Mischungen eines Anbieterteams mit vollständiger Hauptprüfung wurden gelistet und für die Angebotsphase der Unternehmer publiziert (Bild 2). Diese Liste musste mehrmals publiziert werden, da auch nachträglich verschiedene Teams weitere Mischungen erfolgreich geprüft und damit zugelassen hatten. Die Grösse des Gesamtobjektes sowie der einzelnen Baulose hat bei den Anbieterteams eine ungeahnte Energie (Kosten und Personalaufwand) freigesetzt.

#### 5 Umsetzung aus Sicht der Materiallieferanten

Es ist relativ sicher, dass viele der folgenden Ausführungen alle Anbieterteams betroffen haben und dass viele der Erfahrungen für alle gelten. Eine Beurteilung aus Sicht der Anbieterteams erfolgt zu folgenden Punkten:

- **Vorinvestition:** Aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht war der finanzielle und personelle Aufwand pro Anbieterteam zu einem Zeitpunkt völliger Unklarheit über die Erfolgswahrscheinlichkeit nicht zu rechtfertigen. Es gehörte schon eine gehörige Portion unternehmerischen Risikos und Pioniergeistes mit dazu, diesen langen und unsicheren Weg zu gehen. Um einen Anhaltspunkt für die Kosten angeben zu können, sind die Grössenordnungen in den folgenden Abschnitten aufgeführt.

##### Aufwand Stufe Eignungsnachweis

Der Aufwand hierzu kann mit dem Zusammentragen der geforderten Unterlagen, ersten Besprechungen mit dem Anbieterpartner, Zustellen der Unterlagen und der zugehörigen Besprechungen mit einigen Manntagen berechnet werden und fällt im Gesamtaufwand nicht ins Gewicht.

##### Aufwand Stufe Vorprüfung

Finanzielle Kosten (extern): ca. 100 000,- sFr. pro System (2 OB und 2 SB) und Abschnitt

Personelle Kosten (intern): ca. 80 Manntage (Besprechungen/Rezepturerstellungen/Laborprüfungen/Vorbereitungen/Durchführung/Auswertungen)

Der Aufwand für die Vorprüfungen ist natürlich sehr individuell und hängt auch vom Vorwissen und von den geplanten Variationen der Versuchsparameter ab. Als

#### 4 Approval/Tendering

Important recognitions in the field of concrete technology were gained from the extremely complex testing method, especially from the main tests. The resultant lists with the approved mixes per sector (A, S and B) thereupon became binding for the contractors and in turn a contractual component of the tenders and awards.

In terms of concrete technology important parameters were verified and ascertained to be practical for execution.

- **Size fractions:** The tunnel excavated material, mainly consisting of "TBM chips", can be applied for the production of the required concrete qualities providing the maximum grain size is reduced, notwithstanding such high durability requirements.
- **Durability:** The greatest challenge involved the fulfilment of the demanded sulphate resistance. This was achieved thanks to modern concrete technology such as controlling the water content, by means of special size fractions with adapted concrete recipes and first and foremost also through the application of special binding agents or binding agent systems. In the process it was revealed that various approaches can lead to success.

The first mixes were unable to fulfil demands until 2 years after the main test as this time span corresponded to the testing period for the sulphate resistance. As a consequence the first concrete systems were approved in 1999 (Fig. 1).

All the mixtures from a bidding team which had completed the main test were listed and published for the contractors' submission phase (Fig. 2). This list had to be published several times as various teams also successfully tested and in turn approved further mixes at a subsequent stage. The magnitude of the overall project as well as the individual contract sections released an unexpected amount of energy (costs and personnel outlay) on the part of the bidding teams.

#### 5 Application from the Material Suppliers' Viewpoint

It is relatively certain that many of the following observations affected all of the bidding teams and that many of the findings applied to them all as well. An appraisal seen from the bidding teams' viewpoint applies to the following aspects:

- **Pre-investment:** Seen purely from the economic point of view the financial and personnel outlay per bidding team was unjustifiable regarding the probability of success at a time when complete uncertainty prevailed. In order to embark on this long and uncertain road a great deal of entrepreneurial risk and pioneering spirit was necessary. In order to provide an idea of the costs the following paragraphs are devoted to the magnitudes involved.

Idealfall (Minimalfall) muss aber sicher davon ausgegangen werden, dass jede der 4 Mischungen einmal hergestellt und komplett geprüft wird.

Aufwand Stufe Hauptprüfung

Finanzielle Kosten (extern): ca. 150 000,- sFr. pro System (2 OB und 2 SB) und Abschnitt

Personelle Kosten (intern): ca. 50 Manntage

Es gilt das Gleiche wie bei den Vorprüfungen. Je mehr Systeme geprüft werden sollen, desto höher sind die direkten und indirekten Kosten.

- **Zeit- und Personalaufwand:** Der Aufwand war immens und hat die Ressourcen der einzelnen Anbieter sowie den Abstimmungsbedarf der Teams enorm belastet und würde wohl noch heute manchen bei einer vollständigen Nachkalkulation erschrecken! Die Vorteile dieser Aktivitäten hingegen waren einerseits die Mehrung des Fachwissens im Bereich der Betondauerhaftigkeit und die Vertiefung der Kontakte mit dem jeweiligen Partner, sei es auf der Zement- oder der Zusatzmittelseite.
- **Versuchsdurchführung:** Die Versuche wurden durch die Bauherrschaft – stellvertretend durch den VSH – hervorragend und mit sehr viel Aufwand vorbereitet und auch durchgeführt. Zeitlich blieb den Anbieterteams gerade genug Spielraum, sich mittels der eigenen Versuche optimal auf die Hauptprüfungen vorzubereiten. Es darf heute auch bemerkt werden, dass ohne die individuellen Vorprüfungen die Hauptprüfungen mehrheitlich nicht auf Anhieb hätten bestanden werden können.
- **Versuchsergebnisse:** Alle Teams hatten genügend Mischungen hergestellt, um sicherzustellen, dass am Schluss eine komplette Serie (2 OB und 2 SB) die Anforderungen erfüllten und damit in das Verzeichnis aufgenommen wurden. Dies war nötig, da sich die Prüfungen über 2 Jahre hinzogen (Sulfatbeständigkeit) und während dieser langen Zeit viel mit einer Betonmischung geschehen kann. So war es zu Beginn der Serien nicht immer abschliessend abzuschätzen, ob eine Mischung den ganzen Prozess „überleben“ würde. Ein grosser Nachteil dieses Prüfprozederes bestand darin, dass wirtschaftlich und technisch vorteilhafte Mischungen nicht angeboten werden durften, da sie irgendein Einzelkriterium nicht erfüllt hatten, für die reale Ausführung aber von grossem Vorteil gewesen wären. Dieser Makel konnte dann erst wieder bei den Eignungsversuchen am Objekt behoben werden. In der Zwischenzeit waren alle Annahmen spekulativ und damit für den Bauunternehmer und das Anbieterteam mit Risiken verbunden.
- **Praxisrelevanz der Versuche:** Aus betontechnologischer Sicht sind diese Hauptprüfungen absolut praxisrelevant. Allerdings haftete ihnen der Mangel an, dass sie weder das tägliche Arbeiten noch die Schwankungen – hier speziell die Schwankungen in den Feinanteilen der Gesteins-

Outlay Stage for Proof of Suitability

The outlay in this case involved several members of staff required for compilation of the necessary documents, initial consultations with the bidding partner, supplying the documents and the relevant consultations, which is essentially inconsiderable compared with the total outlay.

Outlay Stage for the preliminary Test

Financial costs (external): approx. CHF 100,000.- per system (2 OB and 2 SB) and sector

Personnel costs (internal): approx. 80 man-days (consultations/compiling mixes/lab tests/preparations/execution/evaluations)

The outlay for the preliminary tests is of course highly individual and also depends on prior knowledge and the planned variations for the test parameters. However, it must be presupposed that in the ideal case (minimal case) each of the 4 mixes has to be produced and completely tested on one occasion.

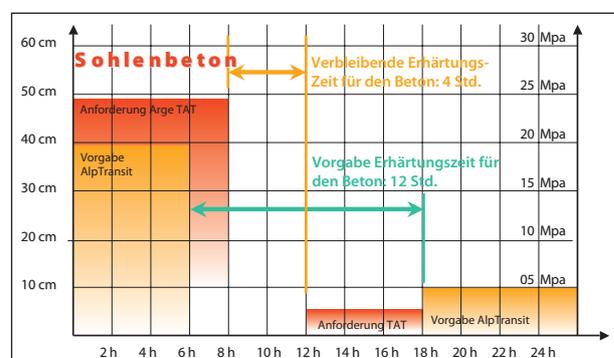
Outlay Stage for Main Test

Financial costs (external): approx. CHF 150,000.- per system (2 OB and 2 SB) and sector

Personnel costs (internal): approx. 50 man-days

The same applies as to the preliminary tests. The more systems that had to be tested, the higher are the direct and indirect costs.

- **Time and personnel outlay:** the outlay was immense and enormously burdened the resources of the individual bidders as well as the amount of coordination required by the team and would certainly still cause a few eyebrows to be raised today if everything were to be completely recalculated! However, the advantages brought about by these activities were on the one hand an increase in expert knowledge relating to concrete durability and the consolidation of contacts with the partner involved, whether on the cement or additive sector.



3 Vergleich Anforderungen Bauherrschaft versus Arge TAT an den Bauabschnitten Faïdo/Bodio

Comparison of demands client versus TAT JV at the Faïdo/Bodio contract sections



4 Gruppenbild nach Abschluss der 1. Objektversuche in Faido 2001  
Group picture after completion of the 1. project tests in Faido, 2001

körnungen – simulieren konnten. Durch die höheren Grenzwerte während der Hauptversuche wurde versucht, diese Nachteile abzufedern. Viel wichtiger aber sind die unternehmerischen Lösungen für ein solches Bauprojekt. Schlussendlich wichen Verarbeitungszeiten, Einbaumethoden oder Frühfestigkeitsanforderungen wesentlich von den Bedingungen der Hauptprüfungen ab. Was natürlich schon vor Beginn der Prüfungen zu erwarten war, sich aber während der Umsetzung dann auch bestätigte.

Am Beispiel des Sohlenbetons des Loses Bodio/Faido (Bild 3) können die Unterschiede in etwa wie folgt formuliert werden.

#### **Betonoffenzeit OB:**

Anforderung Prüfsystem: 6 Stunden mit Aufmischen und Nachdosierung nach 4 Stunden  
Forderung der Baustelle: bis 8 Stunden mit Aufmischen vor Einbau ohne Nachdosierung

#### **Frühfestigkeit OB:**

Anforderung Prüfsystem: 12 Stunden nach Einbau 5 N/mm<sup>2</sup>  
Forderung der Baustelle: max. 4 Stunden nach Einbau 2,5 N/mm<sup>2</sup>

- **Anbieter teams:** Aus Sicht der Betontechnologie ist das „zusammenbinden“ von Zement- und Zusatzmittelherstellern eine hervorragende Idee. Es ist ganz sicher so, dass genau mit dieser Kombination hervorragende Betonlösungen gefunden werden konnten.
- **Baustellenbetreuung:** Mit den hohen Anforderungen des Bauherrn bezüglich der Präsenz der Anbieter teams auf den Baustellen wurde eine wichtige Voraussetzung für gute Partnerschaft und kurze Wege geschaffen. Diese Massnahmen (sogenannte Baustellenbetreuer) sind mit Sicherheit ein wichtiger Baustein für die erfolgreiche Umsetzung jeglicher Systeme und Vorgaben. Damit eine solche Baustellenbetreuung aber funktionieren kann, müssen Pflichten und Kosten genau geregelt werden.

- **Execution of preliminary test:** the tests were outstandingly prepared as well as executed with a great amount of attention to detail by the VSH on behalf of the client. As far as time was concerned the bidding teams had just enough scope available to prepare optimally for the main tests by dint of their own tests. It can be said today that without these individual preliminary tests for the most part the main tests would not have succeeded straight-away.
- **Test results:** All the teams had prepared sufficient mixes in order to ensure that in the end a complete series (2 OB and 2 SB) fulfilled the requirements and were thus included in the list. This was essential as the tests lasted for more than 2 years (sulphate resistance) and a great deal can happen to a concrete mix during such a lengthy period. For example at the start of the series it was not always possible to estimate whether a mix would “survive” the entire process. A major disadvantage of this test procedure was that economically and technically advantageous mixes were not permitted to be offered, as they failed to fulfil one of the individual criteria although they would have been of great benefit to the execution process as such. This flaw could first be remedied during the suitability tests for the project. In the interim all assumptions were speculative and thus associated with risks for the building contractor and bidding team.
- **Practical relevance of the tests:** Seen from the concrete technological viewpoint these main tests are absolutely practice-relevant. However, they did possess the flaw that they could neither simulate daily work nor fluctuations – in this case the fluctuations affecting the percentage of fines in the aggregates. By means of higher limit values during the main tests it was attempted to cushion these disadvantages. However far more important are the entrepreneurial solutions for such a construction project. After all the processing times, placing methods or early strength requirements deviated considerably from the conditions prevailing in the main tests. This was of course expected prior to the tests only to be confirmed during their execution.

Taking the example of the floor concrete for the Bodio/Faido contract section (Fig. 3) into consideration the differences can roughly be formulated as follows.

#### **Concrete open time OB:**

Requirement for test system: 6 h with mixing and subsequent dose after 4 h

Demand on site: up to 8 h with mixing prior to placing without subsequent dose

#### **Early strength OB:**

Requirement for test system: 12 h after placing 5 N/mm<sup>2</sup>  
Demand on site: max. 4 h after placing 2.5 N/mm<sup>2</sup>

- **Bidding teams:** The “binding together” of cement and additive manufacturers is undoubtedly an outstanding

- **Zusammenfassung:** Das detaillierte Ausprüfen der Betonsysteme unter den speziellen Voraussetzungen (Ausbruchmaterial, höchste Dauerhaftigkeit und komplexe Transportlogistik) ist für dieses Grossprojekt mit Sicherheit der richtige Weg. Dass aber alle Anbieter und Anbieterteams diese Machbarkeit durchführen mussten, was schlussendlich nur dazu geführt hat, dass das Resultat x-fach bestätigt wurde, muss sicher kritisch hinterfragt werden. Aufgrund der gemachten Erfahrungen aus einzelnen Systemversuchen der genau gleichen Art hätten Minimalstandards für die Ausschreibungen herausgearbeitet werden können. Das hätte auch zu vergleichbaren Vorbedingungen für die Ausschreibungsphase geführt. Vor Baubeginn mussten dann ja ohnehin alle Betonsorten, wie üblich, auf ihre Eignung hin durch den Unternehmer neu geprüft und zugelassen werden.

## 6 Schlusswort

Es kommt immer auch auf den Standpunkt an, den man vertritt. Aus betontechnologischer Sicht jedenfalls war das Präqualifikationsverfahren ein voller Erfolg. Es darf wohl davon ausgegangen werden, dass diese hohe und konstante Qualität mit aus Tunnelausbruch hergestelltem Beton sonst nicht zu erreichen gewesen wäre. Dass der Weg sehr beschwerlich und kostenintensiv gewesen ist, sind 2 Punkte, die verbessert werden könnten. Das drängt sich aber nur dann auf, wenn dieses System eine neue Anwendung in einem weiteren Projekt finden würde. Grosse Projekte mit entsprechender Bedeutung gäbe es ja zurzeit, auch in Europa, genügend!

## Literatur

- [1] Projektleitung Gotthard AlpTransit AG (1996): Prüfungssystem für Betonmischungen Dokumentation Stufe 2 und 3, April 1996, und Nachträge
- [2] Schmid, H. C.; Zbinden, P. (2000): Präqualifikation von Beton für den Gotthard-Basistunnel, Schweizer Baublatt Nr. 17
- [3] Olbrecht, H. P.; Studer, W. (1995): Beton aus TBM-Chips, Schweizer Ingenieur & Architekt Nr. 4
- [4] Schmid, H. C. (2002): Betonsysteme: Überblick/Umsetzung/spez. Probleme, AlpTransit Tagung Thun

idea seen from the concrete technological viewpoint. It is quite certain that thanks to a combination of this nature excellent concrete solutions were obtained.

- **Site supervision:** Owing to the high demands placed by the client regarding the presence of the bidding teams on the construction site an important prerequisite was created for good partnership and short distances. This measure (so-called site supervisors) is undoubtedly an important element for the successful execution of all the systems and parameters. Commitments and costs must be worked out exactly to make sure that such site supervision can really function.
- **In a nutshell:** the detailed testing of the concrete systems under the special prerequisites (excavated material, utmost durability and complex transport logistics) is definitely the right path to follow for this major project. At the same time the fact that all submitters and bidding teams were compelled to carry out this feasibility procedure, which ultimately only led to the result being confirmed x-times, deserves to be critically placed in doubt. By dint of the findings obtained from individual system tests of exactly the same kind minimum standards for the submission phase could have been worked out. This also would have led to comparable prior conditions for the tendering phase. Before construction was actually started in any case all types of concrete had to be tested again by the contractor regarding their suitability and then approved as is customary.

## 6 Conclusion

It always depends on one's point of view. At any rate the pre-qualification principle was a complete success from the concrete technological viewpoint. However, it can be assumed that this high and constant quality of concrete produced from tunnel material would not have been achieved otherwise. The fact that the road leading there is an extremely difficult and costly one is something that could be improved upon. But this only applies if this system were to find a new application in a further project. There are currently plenty such major projects of corresponding significance – also in Europe!



Ulrich Schwarz, dipl. Ingenieur FH, Ingenieurbureau Heierli AG, Chefbauleiter N 20.1.4,  
Westumfahrung Zürich/CH, Dreieck Zürich-West

# Westumfahrung Zürich

## Zentrale Betonaufbereitung beim Bau

Beim Bau der Westumfahrung Zürich wurde die Beschaffung der, für die Tunnel- und Kunstbauten benötigten, Kies- und Betonmengen durch die Bauherrschaft ausgeschrieben und separat vergeben. Für Aescher-, Uetliberg- und Islisbergtunnel erfolgte die Betonherstellung durch die beiden im Auftrag der Bauherrschaft erstellten und betriebenen zentralen Anlagen „Filderen“ und „Landikon“.

# Zurich West Bypass

## Central Concrete Preparation during Construction

For constructing the Zurich West Bypass the nature of the quantities of gravel and concrete needed for the tunnels and other structures was defined by the client and awarded separately. The concrete produced for the Aescher, Uetliberg and Islisberg tunnels came from the two central plants “Filderen” and “Landikon” built and operated on behalf of the client.

### 1 Warum zentrale Anlagen?

Beim Bau der Westumfahrung Zürich und der A4 Knonaueramt fielen aus den Tunnelbaustellen einerseits erhebliche Mengen Ausbruchmaterial an, andererseits wurden zur Betonherstellung grosse Mengen an Kies und Zement benötigt. Die Bestimmungen über die Umweltverträglichkeit der Westumfahrung Zürich verlangten, dass diese Materialtransporte vorwiegend mit der Bahn ausgeführt werden. Um diese Transporte mit der Bahn abwickeln zu können, wurden 3 Verladeanlagen mit den dazu notwendigen Gleisanlagen erstellt. Nämlich die Anlage „Brunau“ in Zürich sowie die Anlagen „Ristet“ und „Filderen“ im Raum Birmensdorf. Die Materialumschlaganlage „Brunau“ wurde gemeinsam für 2 Grossbaustellen gebaut, die eine für die SBB-Baustelle „Zweite Doppelspur Zürich–Thalwil“ und die andere für die Baustelle des Kantons Zürich „Dreieck Zürich–Süd“, als Teil der Westumfahrung Zürich (Bild 1).

Das Tiefbauamt des Kantons Zürich entschloss sich frühzeitig, alle Tunnel- und Brückenbaustellen der Westumfahrung und des Islisbergtunnels mit Beton ab 4 grossen, zentralen Betonproduktionsanlagen zu beliefern. Massgebende Kriterien bei der Standortwahl waren die erwähnte Versorgung per Bahn und die minimale Lärm- und Staubbelastung der Umgebung. Aufgrund dieser Kriterien wurden die Standorte Zürich „Brunau“, Birmensdorf „Ristet“ und „Filderen“ sowie „Landikon“ in der Gemeinde Stallikon festgelegt. Die Betonproduktion im Werk „Ristet“ basierte auf einer bestehenden Anlage. Das durch die SBB erstellte Werk „Brunau“ wurde durch den Kanton Zürich gemeinsam mit den SBB genutzt. Die Betonanlagen „Filderen“ und

### 1 Why central Plants?

During the construction of the Zurich West Bypass and the A4 Knonaueramt on the one hand substantial amounts of aggregate accumulated from the tunnelling sites, on the other huge quantities of gravel and sand were needed to produce concrete. The regulations governing the Zurich West Bypass's environmental compatibility required that the material had mainly to be transported by rail. Three loading units with the required tracks were built to facilitate transportation by rail. These were the “Brunau” facility in Zurich as well as the facilities “Ristet” and “Filderen” in the Birmensdorf area. The “Brunau” material reloading point was built to handle 2 major construction sites, the SBB “Second Twin Track Zurich–Thalwil” site and the other for the Canton of Zurich's “Zurich South Interchange” site, as a part of the Zurich West Bypass (Fig. 1).

The Canton of Zurich decided at an early stage to supply concrete to all the tunnel and bridge construction sites for the Zurich West Bypass from 4 large, central concrete production plants. The determining criteria for selecting the locations were the mentioned need to supply it by rail and the minimal noise and dust impact on the neighbourhood. Based on these criteria the locations Zurich “Brunau”, Birmensdorf “Ristet” and “Filderen” as well as “Landikon” in the municipality of Stallikon were determined. Concrete production at the “Ristet” plant was based on an existing facility. The “Brunau” plant set up by the SBB was used jointly by the Canton of Zurich in conjunction with the SBB. The “Filderen” and “Landikon” concrete plants were additionally built. Construction and operation of the “Filderen” reloading point

## Contournement ouest de Zurich

### Centrales à béton pour le chantier

Pour la construction du contournement ouest de Zurich, le maître d'ouvrage avait ouvert un appel d'offres et procédé à une adjudication séparée pour l'approvisionnement des quantités de gravier et de béton nécessaires aux tunnels et aux ouvrages d'art. Pour les tunnels Aescher, Uetliberg et Islisberg, la fabrication du béton a été réalisée par les deux centrales à béton «Filderen» et «Landikon», installées et exploitées sur mandat du maître d'ouvrage.

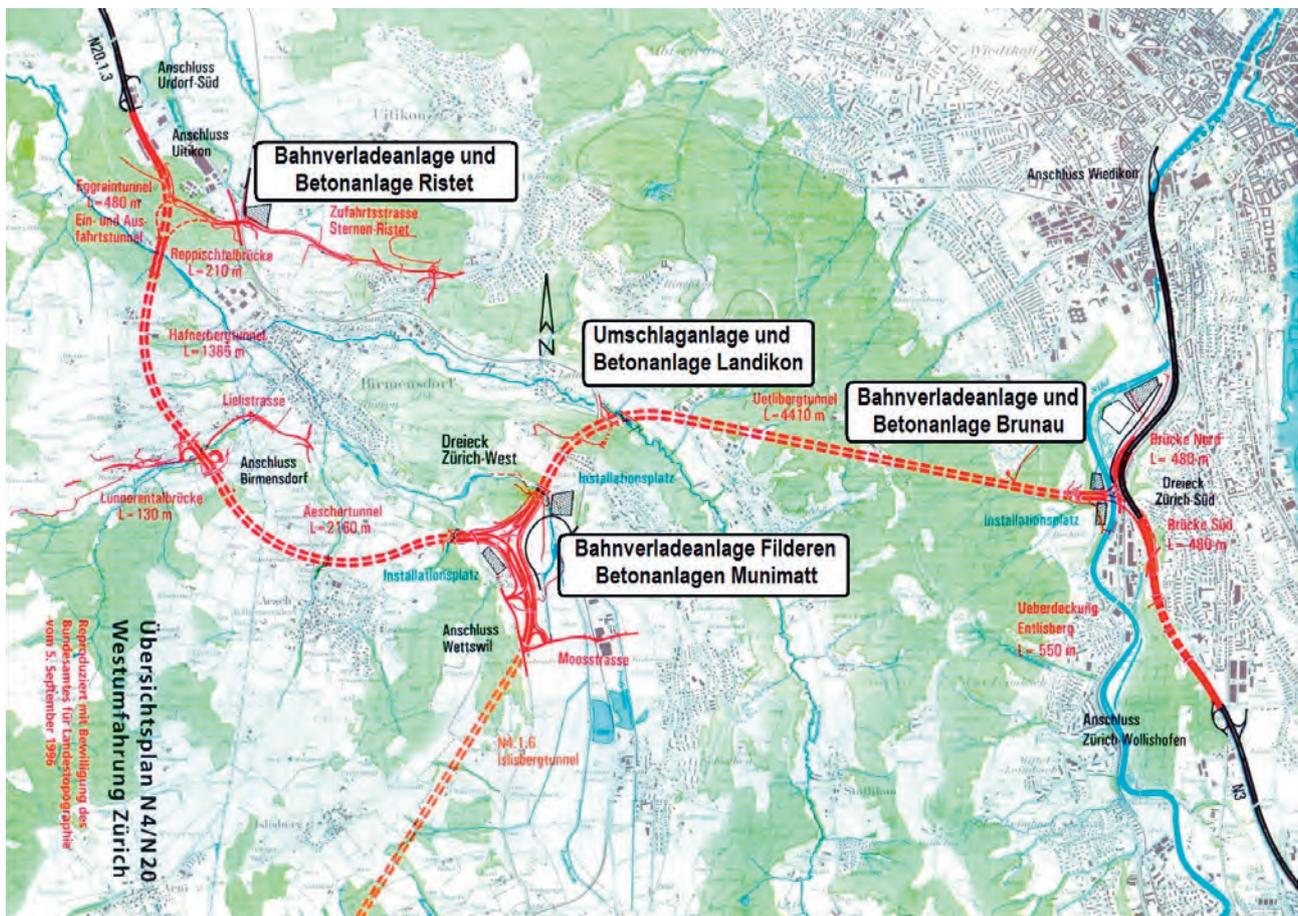
## Circonvallazione ovest di Zurigo

### Preparazione centrale del cemento durante la costruzione

Per la costruzione della circonvallazione ovest di Zurigo, l'approvvigionamento di ghiaia e calcestruzzo necessari per la realizzazione della gallerie e delle opere, è stato messo in appalto dalla committenza e assegnato separatamente. Per le gallerie di Aescher, Uetliberg e Islisberg, la produzione di calcestruzzo è avvenuta negli impianti centrali di «Filderen» e «Landikon», costruiti e gestiti su mandato della committenza.

„Landikon“ wurden zusätzlich erstellt. Bau und Betrieb der Umschlaganlage „Filderen“, mit den dazugehörigen Betonanlagen „Filderen“ und „Landikon“, wurden nach öffentlicher Ausschreibung an die Arge „UP Filderen“ vergeben. Die Bauleitung, die Betreuung der Umschlaganlage und der Betonwerke mit der gesamten Materialdisposition wurde dem Ingenieurbureau Heierli AG übertragen.

with the related “Filderen” and “Landikon” concrete plants was awarded to the “UP Filderen” JV following tenders being invited publicly. The construction management, supervision of the reloading point and the concrete plants with the entire material control were entrusted to the Ingenieurbureau Heierli AG.



1 Lageplan Westumfahrung Zürich mit zentralen Anlagen  
Layout of the Zurich West Bypass with all central facilities



2 Umschlaganlage Filderen  
Filderen reloading point

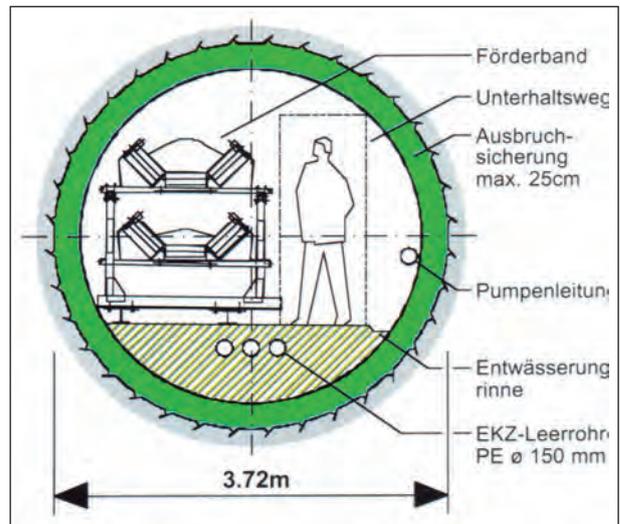
## 2 Logistik

Die Umschlaganlage „Filderen“ lag am Rande des Verkehrsdreieckes Zürich-West und verfügte über einen Gleisanschluss an die Bahnlinie Zürich Altstetten–Zug. Diese Umschlaganlage ermöglichte zwischen 1997 und 2007 neben dem Abtransport von rd. 8,1 Mio. t Ausbruch- und Aushubmaterial auch die Zufuhr von ca. 2,1 Mio. t Kiesmaterial. Ein mit Aushub beladener Bahnwagen fasste den Inhalt von ca. 3 Lkw. Eine Zugkomposition mit 18 Wagen ersetzte somit 108 Lkw-Hin- und -Rückfahrten. Im Durchschnitt konnten über die Umschlaganlage „Filderen“ pro Tag 8 Züge, in Spitzenzeiten bis 15 Züge pro Tag, abgefertigt werden. Das bedeutete eine Entlastung des Strassenverkehrs um 860 bis 1600 Lkw-Fahrten pro Tag. Der Anteil der Kieszufuhren betrug 1 bis 2 Kieszüge pro Tag (Bild 2).

Für die Erschliessung des Umschlagplatzes „Landikon“ wurde zwischen „Landikon“ und der Umschlaganlage „Filderen“ mittels einer Tunnelbohrmaschine ein 530 m langer Transportstollen mit einem Durchmesser von 3,72 m erstellt (Bild 3). Der Abtransport des Ausbruchmaterials aus dem Uetlibergtunnel und die Kieszufuhr zum Betonwerk „Landikon“ erfolgten durch diesen Transportstollen mittels einer ca. 1500 m langen Transportbandanlage. Das Transportband wurde doppelt genutzt. Das auf 2 Ebenen geführte Band transportierte auf dem Hinweg mit dem unteren Band Kies nach „Landikon“ und auf dem Rückweg mit dem oberen Band Tunnelausbruchmaterial zur Umschlaganlage „Filderen“.

Die Zuschlagstoffe für die Betonwerke wurden aus dem Rafzerfeld per Bahn mit Spezialzügen ab der Station Hüntwangen-Wil auf die Umschlaganlage „Filderen“ geliefert. Die Wagen wurden entsprechend den benötigten Kornfraktionen der Einzelkomponenten beladen. Die Kieszüge konnten in der sehr leistungsfähigen Umschlaganlage „Filderen“ innerhalb von 1½ Stunden über die Entladegasse entladen und das Kiesmaterial über Förderbänder den beiden Betonanlagen „Filderen“ und „Landikon“ zugeführt werden (Bild 4).

Die Kiesanlieferung mit ganzen Zugkompositionen erforderte entsprechende Lagerkapazitäten bei den einzelnen



3 Normalprofil Transportstollen  
Transport tunnel standard profile

## 2 Logistics

The „Filderen“ reloading point was located on the fringe of the Zurich West traffic interchange with a link to the Zurich Altstetten–Zug railway line. The reloading point enabled approx. 2.1 mill. t of gravel material to be delivered as well as the removal of around 8.1 mill. t of aggregate and excavated material between 1997 and 2007. A rail wagon filled with muck could hold the equivalent of roughly 3 lorry loads. As a result a train comprising 18 wagons could thus replace 108 lorries driving to and fro. On average 8 trains, at peak periods up to 15 trains per day were handled via the „Filderen“ reloading point. This signified that road traffic was reduced by between 860 to 1,600 trips per day. The proportion of



4 Transportband – Stollen Portal Landikon: Aushub-Aufgabestation (rechts) und Kiesbeschickung (links) zu den Betonanlagen im Hintergrund

Belt conveyor Landikon Tunnel portal: material discharging station (right) and gravel charging (left) to the concrete plants in the background

Betonwerken. Im Werk „Filderer“ wurden die Zuschlagstoffe, nach einzelnen Komponenten getrennt, in einem gedeckten Zuschlagstoffdepot gelagert.

### 3 Betonwerke

Bei der Produktion von Konstruktionsbeton musste der Mischer gereinigt werden, bevor auf die Produktion von Spritzbeton umgestellt werden konnte. Durch diesen Reinigungsprozess entstanden Produktionsunterbrüche bis zu 15 Minuten. Mit der Anordnung von Doppelanlagen konnten der Spritzbeton unabhängig von den anderen Betonsorten produziert und die Reinigungsunterbrüche weitgehend vermieden werden. Im Verlauf der Bauzeit wurden in den Betonanlagen, aufgrund der steigenden Kapazitätsnachfrage, automatische Wascheinrichtungen eingebaut. Diese verkürzten die Waschzeit wesentlich. Für den Bau des Isisbergtunnels wurden die beiden Anlagen „Filderer 1 + 2“ durch eine dritte Anlage ergänzt (Bild 5). Diese Anlage wurde in verschiedenen einzelnen Container-einheiten vormontiert. Auf der Baustelle konnten diese in kürzester Zeit zusammengebaut und die Anlage in Betrieb genommen werden.



5 Betonanlagen Munimatt 1, 2 und 3 mit Zuschlagstoffdepot  
Munimatt concrete plants 1, 2 and 3 with aggregate depot

Die Zuschlagstoffsilos der Anlagen „Filderer 1 + 2“ wurden ab dem gedeckten Zuschlagstoffdepot beschickt. Die Zuschlagstoffsilos der Anlagen „Landikon 1 + 2“ und „Filderer 3“ wurden direkt ab der Entladegasse über die Förderbandanlagen beschickt. Die Leistung der Entladeanlage betrug, ohne Rangiermanöver der Kieszüge, 1000 t/h. Das gedeckte Zuschlagstoffdepot „Filderer“ umfasste 10 Abteile für insgesamt 7000 t. Dies entsprach einem Volumen von ca. 6 Kieszügen. Notfalls konnten die Zuschlagstoffe auch über die Strasse angeliefert werden. Hiefür waren die Betonanlagen für die Beschickung der Kiessilos zusätzlich mit einem Elevator und einem Aufgabetrichter ausgerüstet. Die einzelnen Betonanlagen enthielten folgende Elemente:

gravel delivered was 1 to 2 trains per day (Fig. 2).

A 530 m long transport tunnel with 3.72 m diameter was produced between „Landikon“ and the „Filderer“ reloading point by means of a tunnel boring machine to open up the reloading point (Fig. 3). The removal of the aggregate from the Uetliberg Tunnel and delivery of gravel to the „Landikon“ concrete plant were undertaken through this transport tunnel using a roughly 1,500 m long transport belt conveyor. The belt conveyor was used in 2 ways. The belt which was installed at 2 levels transported gravel to „Landikon“ on the lower belt on the way in and material from the tunnel to the „Filderer“ reloading point on the upper belt on the way out.

The aggregates for the concrete plants were delivered from Rafzerfeld by special trains from Hüntwangen-Wil Station to the „Filderer“ reloading point. The wagons were loaded in accordance with the grain fractions needed for the individual components. Gravel trains were unloaded at the extremely efficient „Filderer“ reloading point within 1½ h via the unloading facility and the gravel material transferred by belt conveyors to the 2 concrete plants „Filderer“ and „Landikon“ (Fig. 4).

The delivery of gravel in entire trains called for corresponding storage capacities at the individual concrete plants. At the „Filderer“ plant the aggregates were stored in a covered depot in keeping with the individual components.

### 3 Concrete Plants

For the production of structural concrete the mixer first had to be cleaned prior to the start of shotcrete production itself. Interruptions in production of up to 15 min resulted from this cleaning process. Through setting up twin units the shotcrete was produced independent of other types of concrete and breaks for cleaning largely avoided. In the course of the construction phase automatic washing appliances were installed in the concrete plants on account of the growing demand. These reduced the washing phase substantially. For the construction of the Isisberg Tunnel the 2 plants „Filderer 1 + 2“ were complemented by a third plant (Fig. 5). This plant was pre-assembled in various individual container units. On site it was possible to assemble this in the shortest possible time and put it into service.

The aggregate silos for the plants „Filderer 1 + 2“ were filled from the covered aggregate depot. The aggregate silos for the „Landikon 1 + 2“ and „Filderer 3“ plants were charged directly from the unloading facility via the conveyor belt systems. The unloading point possessed a capacity of 1,000 t/h without including the shunting manoeuvres of the gravel trains. The covered „Filderer“ aggregate depot consisted of 10 sections giving a total of 7,000 t. This corresponded to a volume of roughly 6 gravel trains. If need be the aggregates could also be delivered via road. Towards this end the concrete plants were additionally supplied with an elevator and

1 Turm mit 8 Silokammern für die Einzelkomponenten, 3 Bindemittelsilos mit insgesamt 4 Kammern, 1 Zusatzmittel-Dosieranlage mit 8 Tanks für Betonzusatzmittel (z. B. Dichtungsmittel, Verflüssiger, Luftporenbildner etc.), 1 Dosieranlage für die Zugabe von Stahlfasern, Wasseraufbereitung mit Dosierwaagen, Übergabetrichter mit Waagen und einen 2-Wellen-Zwangsmischer mit 3 m<sup>3</sup> Inhalt („Filderen 2“ mit 2 m<sup>3</sup>). Die Leistungen der Betonanlagen betragen bei den 3-m<sup>3</sup>-Mischern 110 m<sup>3</sup>/h und beim 2-m<sup>3</sup>-Mischer 80 m<sup>3</sup>/h (Bild 6).

#### 4 Betonproduktion

Die Lieferung der Zuschlagstoffe, der Abtransport des Aushubmaterials und dessen Entsorgung wurden durch die Bauherrschaft in separaten Submissionen ausgeschrieben und vergeben. Der Auftrag „Bau und Betrieb der Umschlag- und Betonanlage Filderen“ umfasste den Bau der Verladeanlage und der Betonwerke, die Betonherstellung und die Verladung des Aushubmaterials inklusive Manövrierung der Aushubzüge bis zur Übernahme durch die SBB. Die Betonanlagen und die Umschlaganlage mussten von Montag bis Freitag, jeweils zwischen 6 und 22 Uhr betrieben werden. In Phasen mit dreischichtigem Tunnelvortrieb wurden auch die Betonwerke zeitweise während 24 Stunden dreischichtig betrieben. Für geringe Mengen, die für den Einbau während Nachtschichten zu liefern waren, wurden auch Lösungen mit dem Einsatz von verzögertem Beton verfolgt. Diese waren jedoch durch die Zwischenlagerkapazitäten auf den verfügbaren Transportfahrzeugen eingeschränkt.

Für die Kalkulation der Produktionskosten waren die Preise für die bauseitige Lieferung der einzelnen Komponenten der Zuschlagstoffe zur Umschlaganlage durch den Werkvertrag „Kieslieferungen“ vorgegeben. In der Submission der Betonproduktion wurde eine Vielzahl vorgesehener Betonrezepturen festgelegt. Die Rezepturen der zum Einsatz gelangenden Betonsorten wurden anhand der eingegangenen Jahresvorbestellungen ermittelt, in Vorversuchen getestet und deren Normenkonformität nachgewiesen. Die Rezepturen mussten im Verlauf der Ausführung stetig an neue Betonsorten angepasst werden, welche aus der Detailprojektierung resultierten. Aufgrund der in den Vertragsgrundlagen enthaltenen Kalkulationsgrundlagen konnten auch die Nachtragspreise für die veränderten Rezepturen problemlos nachvollzogen werden.

Erfahrungsgemäss müssen bei Arbeiten im Freien in der Regel die Betonarbeiten ab Temperaturen um 0 °C eingeschränkt oder gar eingestellt werden. Nicht so im Untertagebau, wo die Verhältnisse selten Arbeitsunterbrüche wegen tiefer Temperaturen erfordern. Die Arge UP Filderen war vertraglich verpflichtet, die Produktion bis -10 °C zu gewährleisten und die Betontemperatur so zu wählen, dass diese an der Einbaustelle immer noch mindestens +5 °C betrug. Dies war nur mithilfe von speziellen Massnahmen möglich. Bei Nachttemperaturen unter 0 °C wurden die



6 2-Wellen-Zwangsmischer  
2-shaft compulsory mixer

a bin for charging the gravel silos. The individual concrete plants contained the following elements:

1 tower with 8 silo chambers for the individual components, 3 binding agent silos with altogether 4 chambers, 1 additive dosing unit with 8 tanks for concrete additives (e.g. sealant, plasticiser, air-entraining agent etc.), 1 dosing unit for adding steel fibres, water preparation with dosing scales, funnel with scales and a twin-shaft compulsory mixer with 3 m<sup>3</sup> capacity („Filderen 2“ with 2 m<sup>3</sup>). The capacities of the concrete plants amounted to 110 m<sup>3</sup>/h in the case of the 3 m<sup>3</sup> mixer and 80 m<sup>3</sup>/h for the 2 m<sup>3</sup> mixer (Fig. 6).

#### 4 Concrete Production

Invitations for submissions for the delivery of the excavated material, its removal and disposal were called for in separate tenders by the client and subsequently awarded. The “construction and operation of the Filderen reloading point and concrete plant” contract constituted the building of the reloading point and the concrete works, production of the concrete and loading the muck including manoeuvring the trains until they were taken over by the SBB. The concrete plants and the reloading point had to be in operation from Monday to Friday from 6 am till 10 pm. During phases with 3-shift tunnel excavation the concrete works were also operated in 3 shifts over 24 h. For small quantities, which had to be placed during night shifts, solutions with the application of retarded concrete were made use of. However these were restricted to the available transport vehicles on account of the intermediate storage capacities.

The prices for on-site delivery of the individual components for the aggregates to the reloading point were laid down in the works contract “gravel supplies” for calculating the production costs. A large number of specified concrete recipes were determined in the submission for concrete production. The recipes for the types of concrete that were used were

Wagen der Kieszüge mit Frostschutzmittel eingesprüht, um ein Anfrieren des Materials an den Wagenwänden zu vermeiden. Bei Temperaturen von weniger als  $-3^{\circ}\text{C}$  mussten die Bahntransporte zusätzlich auf die Nachmittagsstunden verlegt werden. Dadurch waren Beladung, Transport und Entladung während der wärmeren Stunden des Tages möglich. In den wenigen Perioden mit sehr tiefen, über mehrere Tage anhaltende Temperaturen und gleichzeitigem Kiesbedarf von mehr als 1 Kieszug pro Tag musste teilweise auf Strassentransporte umgestellt werden. Mit den in den Silotürmen montierten Warmluftgebläsen konnte eine übermässige Abkühlung der Zuschlagstoffe verhindert werden.

Die Leistungen der einzelnen Betonanlagen wurden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dies waren primär die von der Rezeptur verlangte Mischdauer pro Charge, die herrschenden Aussentemperaturen und die Ladekapazitäten der eingesetzten Transportfahrzeuge. Die Mischdauer betrug ca. 40 Sekunden für einen Standardbeton. Beim Beton mit besonderen Eigenschaften erforderten die beigegebenen Zusatzmittel eine Verlängerung der Mischzeit auf ca. 90 Sekunden. Dadurch variierte die Leistung eines  $3\text{-m}^3$ -Mischers zwischen  $110\text{ m}^3/\text{h}$  und  $70\text{ m}^3/\text{h}$ . Bei Aussentemperaturen zwischen  $+5^{\circ}\text{C}$  und  $-10^{\circ}\text{C}$  wurde zusätzlich das Anmachwasser mittels Dampf aufgeheizt. Dieser Heizaufwand beeinflusste ebenfalls die Mischerleistung. Mit sinkenden Aussentemperaturen sanken auch die Leistungen der Betonanlagen. Sie betrugen für die Herstellung von hochwertigem Beton in den kalten Wintermonaten bei Temperaturen um  $-10^{\circ}\text{C}$  noch ca.  $25\text{ m}^3/\text{h}$ , was ca. 30 % der normalen Leistung entsprach. Bei einzelnen Spritzbetonsorten wurden infolge der Zugabe von Abbindebeschleuniger an der Düse Verarbeitungstemperaturen von  $+10$  bis  $+15^{\circ}\text{C}$  verlangt. Durch die erwähnten Massnahmen konnten auch diese Anforderungen erfüllt werden. Die Kapazität der Transportfahrzeuge konnte durch das Betonwerk nicht beeinflusst werden, hatte aber insbesondere bei hoher Auslastung der Anlagen einen Einfluss auf deren Leistung. Die maximale Abholkapazität war möglich, wenn die Ladekapazität einem Vielfachen des jeweiligen Mischerinhaltes entsprach, da die Zeit für Mischerbeschickung, Mischdauer und Entleerung unabhängig von der jeweiligen Mischungsmenge waren. Die Ladezeit betrug sowohl für einen  $7,5\text{-m}^3$ -Fahrer wie für einen  $9\text{-m}^3$ -Fahrer  $2\frac{1}{2}$  Minuten. Aus dem Einsatz von Fahrern mit  $7,5\text{ m}^3$  anstelle von  $9\text{ m}^3$  Ladevolumen resultierte eine Kapazitätseinbusse von 17 %.

Zur optimalen Nutzung der vorhandenen Lieferkapazitäten war es unumgänglich, die Bestellungen und Bezüge der einzelnen Gossbaustellen möglichst optimal zu koordinieren. Dies bedingte, dass die Kapazitätzuweisungen zu den einzelnen Beziehern auf die in den jeweiligen Bauprogrammen enthaltenen Arbeitstakte abgestimmt werden mussten.

So wurden die, auf die Betoniertakte abgestimmten, regelmässigen Bezüge prioritär behandelt. Die restlichen Bezüge

established on the basis of the annual advance orders that had been received. The recipes had to be constantly adapted to new types of concrete during the course of execution, which resulted from detailed planning. Thanks to the calculation principles contained in the basic contract the subsequent prices for the recipes that had been changed could also be reproduced without difficulty.

Experience shows that generally speaking when working outdoors concrete operations have to be restricted or even entirely stopped at temperatures of about  $0^{\circ}\text{C}$ . This does not apply underground where the conditions rarely necessitate work being interrupted on account of low temperatures. The UP Filderer JV was obliged contractually to assure production down to  $-10^{\circ}\text{C}$  and to select the concrete temperature in such a way that it amounted to at least  $+5^{\circ}\text{C}$  upon reaching the installation point. This was only feasible by applying special methods. In the case of night temperatures below  $0^{\circ}\text{C}$  the gravel train wagons were sprayed with anti-freeze to avoid the material freezing to the wagon walls. Given temperatures of less than  $-3^{\circ}\text{C}$  transportation by rail additionally had to be confined to the afternoon hours. In this way loading, transport and unloading were possible during the warmer part of the day. During the few periods with very low temperatures lasting several days on end when more than 1 gravel train per day was needed, in some cases transportation by road had to be resorted to. Thanks to the hot air blowers mounted in the silo towers excessive cooling of the aggregates was prevented.

The performances of the individual concrete plants were influenced by various factors. These were primarily the mixing duration per batch required by the recipe, the prevailing outside temperatures and the loading capacity of the transport vehicles used. For standard concrete the mixing duration amounted to roughly 40 sec. In the case of concrete with special properties the addition of additives required the mixing period to be extended to about 90 sec. As a result the performance of a  $3\text{ m}^3$  mixer varied between 110 and  $70\text{ m}^3/\text{h}$ . Given outside temperatures of between  $+5^{\circ}\text{C}$  and  $-10^{\circ}\text{C}$  the mixing water was additionally heated by means of steam. This need for heating also affected the mixer performance. The performances of the concrete plants also dropped along with falling outside temperatures. During the cold winter months at temperatures of about  $-10^{\circ}\text{C}$  they still amounted to approx.  $25\text{ m}^3/\text{h}$  for the production of high-grade concrete, which corresponded to about 30 % of the normal rate. Processing temperatures varying between  $+10$  and  $+15^{\circ}\text{C}$  were called for in the case of certain types of shotcrete owing to the addition of accelerator at the nozzle. These demands were also fulfilled by applying the cited measures. The capacity of the transport vehicles could not be influenced by the concrete works but would have had an affect on their performance particularly given high utilization of the plants. The maximum pick-up capacity was possible when the loading capacity amounted to several times the given mixer content as the time for charging the mixer, mix-

mussten entsprechend den jeweils verfügbaren Restkapazitäten zugeteilt werden. Bei Baustellen unter einheitlicher Bauleitung entschied diese innerhalb ihres Zuständigkeitsbereichs über die Aufteilung der verfügbaren Bezugskapazitäten. Dabei erwies es sich als Vorteil, dass auf relativ engem Raum – im Gebiet „Landikon“ und „Filderen“ – insgesamt 5 Betonanlagen mit einer maximalen Kapazität von ca. 350 m<sup>3</sup>/h für hochwertigen Beton zur Verfügung standen. Dies ermöglichte, dass bei einem Spitzenbedarf die Bezüge auf die verschiedenen Werke verteilt werden konnten. So war es möglich, die Fahrbahnplatte der Brücke der Einfahrtrampe beim Anschluss Wettswil mit einem Gesamtbedarf von 1100 m<sup>3</sup> innerhalb von 14 h zu betonieren und gleichzeitig die Tunnelbaustellen mit 800 m<sup>3</sup> Beton zu bedienen. Solche Maximalauslastungen der Werke erforderten natürlich auch eine entsprechende Planung des Kiesnachsches. Seitens der Bezieher war es daher zwingend notwendig, dass die bestellten Mengen auch bezogen wurden. Nicht kommunizierte, kurzfristige Absagen von grossen Mengen führten zu Problemen bei der verfügbaren Lagerkapazität für die Zuschlagstoffe. Die abgerufenen Kieszüge konnten nicht innerhalb der zugewiesenen Fahrplanfenster entladen werden. Zudem fehlte in den Betonwerken infolge der geringeren Betonbezüge die benötigte Lagerkapazität (Bild 7).

## 5 Betoneigenschaften

Die Herstellung und Überwachung der einzelnen Betonsorten erfolgte auf der Basis der bei Produktionsbeginn geltenden SIA-Norm 162/1. Die Bauherrschaft entschied sich aus vertragstechnischen Gründen für die Beibehaltung dieser Basis über die gesamte Bauzeit. Nebst der Einhaltung der, durch die Normen vorgegebenen, Produktionsparameter waren die verschiedenen Ansprüche der Besteller zu berücksichtigen. Im Vordergrund stand dabei deren Forderung nach möglichst kostengünstiger Verarbeitung des Betons. Der Beton sollte aus der Sicht der Besteller möglichst plastisch und leicht verarbeitbar sein. Andererseits mussten die von den Projektverfassern geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften eingehalten werden. Im Wesentlichen waren folgende Bedingungen zu erfüllen:

Der Wasser-Bindemittel-Faktor musste zwischen  $\leq 0,42$ , für Beton mit besonderen Eigenschaften, und  $\leq 0,60$ , für Standardbeton, eingehalten werden. Das verlangte Verdichtungs-mass variierte von 1,1 bis 1,15. Zur besseren Kontrolle der von den Beziehern geforderten Plastizitätseigenschaften wurde mit zunehmender Produktionsdauer das Ausbreitmass nach Norm SIA 162/1 als massgebendes Kriterium beigezogen. Das Ausbreitmass variierte, je nach Besteller und Betonsorte, zwischen 43 cm und 56 cm. Der zulässige Streubereich wurde auf  $\pm 5$  cm festgelegt. Als weiterer Parameter wurde der erforderliche Luftporengehalt kontrolliert. Je nach Betonsorte war ein Wert von 2,5–5 % gefordert. Diese Frischbetoneigenschaften wurden bei der Produktion im Werk laufend überwacht und die Unternehmer kontrollierten ihrerseits die Betonqualität bei der Einbaustelle. Beim



7 Brücke Einfahrtrampe Wettswil-Limmattal  
Wettswil-Limmattal Bridge access ramp

ing duration and discharging was independent of the given mixing quantity. The loading time thus amounted to 2½ min both for a 7.5 m<sup>3</sup> mobile mixer as well as for a 9 m<sup>3</sup> one. By using mobile mixers with 7.5 instead of 9 m<sup>3</sup> loading capacity a 17 % drop in capacity resulted.

In order to use the existing delivery capacities optimally it was essential to coordinate the orders and acquisitions placed by the individual major construction sites as effectively as possible. This meant that the capacity allocations for the individual recipients had to be geared to the working cycles contained in the given construction programmes.

As a result the regular purchases geared to the concreting cycles were accorded priority. The remaining acquisitions had to be distributed in accordance with the residual capacities. In the case of construction sites with a joint management this was decided within their spheres of responsibility via distribution of available acquisition capacities. In this connection it turned out to be advantageous that no less than 5 concrete plants were available in a relatively small area – in the “Landikon” and “Filderen” area – with a maximum capacity of approx. 350 m<sup>3</sup>/h for high-grade concrete. This made it possible to distribute the allocations among the different plants at peak periods. It was thus possible to concrete the carriageway surfacing for the bridge for the access ramp at the Wettswil hub with a total requirement of 1,100 m<sup>3</sup> within 14 h and at the same time provide the tunnel construction sites with 800 m<sup>3</sup> of concrete. Such maximum capacities for the plants also of course called for corresponding planning in order to ensure that gravel was made available. It was thus urgently necessary on the part of the recipients that the ordered quantities were also actually taken over. Unheralded cancellations of large amounts at short notice led to problems regarding the available storage capacities for the aggre-

Vergleich der Resultate zwischen Werk und Einbaustelle wurden bisweilen Differenzen festgestellt, die von Beanstandungen bis hin zur teilweisen Rückweisung einzelner Lieferungen führten. Die zusätzlich durchgeführten Kontrollen der Bauleitung zeigten, dass die Prüfmethode und Geräte bei den Einbaustellen nicht durchwegs den Vorgaben der Normen entsprachen. Nach der Vereinheitlichung der Geräte und deren Handhabung wurde eine Übereinstimmung der Messresultate erreicht. In einigen Fällen mussten jedoch die Bezieher durch Hinzuziehung eines externen Labors, das die Parallelmessungen an der Einbaustelle und in den Werken durchführte, davon überzeugt werden, dass die Produktionsparameter durch das Werk eingehalten wurden. Diese Massnahmen führten im Tagesgeschäft zu einer spürbaren Entspannung in der Kommunikation zwischen Unternehmer und Betonwerk.

Nebst dem Konstruktionsbeton mussten, insbesondere in der Startphase, grössere Mengen Spritzbeton hergestellt werden. Für die Hangsicherungen in den grossen Baugruben der Tunnelvorzonen wurden mehrheitlich Trockengemische bevorzugt, da diese problemlos über die langen Pumpdistanzen gefördert werden konnten. Die Nassgemische wurden primär zur Ausbruchsicherung eingesetzt. In Bereichen, die nicht geschalt werden konnten, wurde Spritzbeton auch als Konstruktionsbeton eingesetzt. Die gestellten Anforderungen waren je nach Verwendungszweck verschieden. Nebst der Einhaltung der normgemässen Eigenschaften waren die beiden Hauptanforderungen ein möglichst geringer Rückprallanteil bei der Applikation und ein gutes Haftvermögen beim Einspritzen der Bewehrungen. Durch die Veränderung des Mischverhältnisses der Komponenten 0/4 mm und 4/8 mm von 50/50 % auf 55/45 % konnte der Rückprall wesentlich reduziert werden, ohne dass sich dadurch die restlichen Betoneigenschaften negativ verändert hätten.

Das bekannte Problem der Stopfer durch Überkorn in den Applikationsdüsen trat besonders in der Startphase vermehrt auf. Die detaillierte Überprüfung aller Abläufe zeigte, dass im Verlauf von Materialtransport und -umschlag aus verschiedenen Gründen Überkorn in den Sand gelangen konnte. Als Hauptursachen wurden Rückstände von anderen Kieskomponenten in den Transportmitteln (für Zuschlagstoffe und Beton) und Materialeintrag bei der Bewirtschaftung der Lagerboxen der einzelnen Komponenten ermittelt. Die Stopfergefahr konnte mit der konsequenten Durchsetzung der getroffenen Korrekturmassnahmen weitgehend verhindert werden. Diese umfassten u. a. Kontrolle der entleerten Bahnwagen, Beibehaltung der „Verladeordnung“ der Kornfraktionen innerhalb der Zugkompositionen, genügend lange Leerabschnitte auf den Transportbändern zwischen den verschiedenen Korngrössen, kein Aufstossen des Materials mittels Pneuladern bei den Sandboxen und Waschen der Transportfahrzeuge vor dem Transport von Spritzbeton sowie Verwendung von Siebeinsätzen an den Betonpumpen.

gates. The requested gravel trains could not be unloaded within the assigned timetable frame. Furthermore the required storage capacity was lacking in the concrete plants on account of the reduced acquisitions of concrete (Fig. 7).

### 5 Concrete Properties

The production and monitoring of the individual types of concrete took place on the basis of the SIA standard 162/1, which was valid at the start of production. The client decided for contractual reasons to adhere to this basis throughout the entire construction period. Apart from adhering to the production parameters, prescribed by the standards, the various requirements posed by the recipients had to be taken into account. In this respect the demand that the concrete should be processed as economically as possible took pride of place. As far as those placing the orders were concerned the concrete had to be as plastic as possible and easy to process. At the same time the fresh and solid concrete properties called for by the project compilers had to be adhered to. By and large the following conditions had to be fulfilled:

The water/binding agent factor of between  $\leq 0.42$  for concrete with special properties and  $\leq 0.60$  for standard concrete had to be adhered to. The required degree of compactability varied between 1.1 and 1.15. In order to ensure that the plastic properties called for by the recipients could be better controlled, the slump in accordance with Standard SIA 162/1 was taken as the determining criterion. The slump varied, depending on the recipient and type of concrete, from 43 to 56 cm. The permissible spread was established at  $\pm 5$  cm. The necessary air pore content was checked as a further parameter. Depending on the type of concrete a value of 2.5–5 % was required. These fresh concrete properties were constantly monitored during production at the plant and the contractors for their part checked the concrete quality at the installation point. When comparing the results between the plant and the installation point sometimes differences were recorded, which led to complaints and even partial rejection of individual deliveries. The additional checks carried out by the construction management showed that the test methods and equipment at the installation points did not completely correspond with the specifications contained in the standards. Following the standardisation of the equipment and the way in which it was handled concurrence was reached regarding the measurement results. However in a number of cases the recipients had to resort to an external lab, which carried out parallel measurements at the installation point and at the plants in order to obtain confirmation that the production parameters had indeed been adhered to. These measures led to a noticeable easing of tension in communication in everyday dealings between contractor and concrete plant.

In addition to the structural concrete, large quantities of shotcrete had to be produced especially during the starting

Die Beurteilung der Ergiebigkeiten führte beim Spritzbeton teilweise zu Beanstandungen. Grund dafür waren die unterschiedlichen Definitionen in den Formulierungen in den Verträgen der einzelnen Bauvorhaben. Aufgrund der Usancen und der geltenden Normen wurde die Definition der Ergiebigkeiten für alle Bezieher einheitlich festgelegt. Die Liefermenge für Konstruktionsbeton und Nass-Spritzbeton war 1 m<sup>3</sup> fertig verdichteter Beton. Für 1 m<sup>3</sup> Spritzbeton-Trockengemisch wurden 1 m<sup>3</sup> Zuschlagstoffe und die verlangte Menge Bindemittel/m<sup>3</sup> geliefert. Nach Festlegung dieser Definitionen waren nur noch vereinzelte Beanstandungen der Ergiebigkeit zu vermerken. Diese waren mehrheitlich darauf zurückzuführen, dass auf der Baustelle die nach Plan ermittelte, theoretische Betonmenge mit der gelieferten Betonmenge verglichen wurde. Diese Methode der Ergiebigkeitskontrolle entspricht jedoch nicht den Normvorgaben. Sie kann höchstens als Richtgrösse dienen, sofern die Auswirkungen von Ausführungstoleranzen und Materialverlusten mitberücksichtigt werden.

## 6 Qualitätssicherung von Anlagen und Betonproduktion

Die Qualitätssicherung umfasste die Bereiche Betonanlagen, Prüfmittel und Betonproduktion. Die technischen Einrichtungen der Betonanlagen wurden jährlich 2-mal geprüft. Die Prüfung umfasste die Genauigkeit der verschiedenen Waagen für Zuschlagstoffe, Bindemittel, Wasser und Zusatzmittel. Anhand der Einwaagemengen der einzelnen Zuschlagstoffkomponenten wurden auch die Konformität der Sieblinie der Körnung 0/31.5 (32) und die Ergiebigkeit dieser Betonmischung geprüft (Bild 8).

Zusätzlich fanden jährliche Kontrollen der Anlagen durch die Organe des FSKB (Fachverband Schweizerische Kies- und



8 Zusatzmittelwaage  
Additive scales

phase. For the most part, dry mixes were given preference for strengthening the slopes in the big construction pits of the advance zones for the tunnel, as it was possible to deliver these more easily over the lengthy pumping distances involved. Wet mixes were primarily used to secure the excavation. In areas, which could not be shuttered, shotcrete was also employed as structural concrete. The requirements that had to be complied with varied depending on the application purpose. In addition to complying with the properties according to standards the 2 main requirements were as low a proportion of rebound as possible during placing and good adhesive capacity during the spraying of the reinforcements. Through altering the mixing ratio of the 0/4 and 4/8 mm components from 50/50 to 55/45 % it was possible to reduce the rebound substantially without negatively influencing the remaining concrete properties.

The well-known problem of clogging caused by oversize in the application nozzles occurred frequently especially during the starting-up phase. Detailed checking of all processes revealed that oversize prevailed in the sand in the course of material transport and reloading for various reasons. The main causes were residues from other gravel components in the transported materials (for aggregates and concrete) and intruding material during the handling of the storage boxes for the individual components. The danger of clogging was largely alleviated by consistently carrying out the correction measures decided upon. These e.g. included checking the emptied rail wagons, retaining the "loading order" for the grain fractions within the train compilations, sufficiently long empty sections on the belt conveyors between the various grain sizes, handling the material at the sand storage boxes gently using wheel loaders and washing the transport vehicles prior to transporting shotcrete as well as equipping the concrete pumps with sieves.

The assessment of yields led to complaints in some cases regarding the shotcrete. The reason for this was the different definitions in formulating the contracts for the individual construction projects. The definition of yields for all recipients was laid down uniformly on the basis of usage and the valid standards. The delivery amount for structural concrete and wet shotcrete was 1 m<sup>3</sup> of ready compacted concrete. 1 m<sup>3</sup> of aggregates and the requested amount of binding agents per m<sup>3</sup> were supplied for 1 m<sup>3</sup> of shotcrete dry mix. After establishing these definitions only a few complaints relating to the yield were registered. These could mainly be attributed to the fact that the theoretical amount of concrete determined in accordance with the plan was compared on site with the amount of concrete that was delivered there. This method of checking yield however does not correspond to the specifications as laid down in the standards. It can at the very most serve as a guideline providing that the effects of tolerances in execution and material losses are also taken into consideration.

Betonindustrie) statt. Die für die Frischbetonprüfungen verwendeten Geräte mussten jährlich geprüft werden. Die Frisch- und Festbetonprüfungen erfolgten auf der Basis der Norm SIA 162/1. Die durchzuführenden Kontrollen und deren Häufigkeit wurden in einem Prüfplan festgelegt. Für die ins Produktionssortiment aufgenommenen Betonsorten war je 1 Eignungsnachweis zu erbringen und jährlich zu erneuern. Der Eignungsnachweis umfasste die Mischgüterrechnung, eine komplette Frischbetonkontrolle, den Nachweis der 3- oder 7-Tage- und der 28-Tage-Druckfestigkeit sowie den Nachweis der besonderen Eigenschaften. Zur Aufrechterhaltung der geforderten Qualitätsstandards über die Produktionszeit von nahezu 10 Jahren war es wichtig, dass eine kontinuierliche Qualität der Zuschlagstoffe gewährleistet werden konnte. Die Bauherrschaft verlangte daher, dass für die Kieslieferungen die Abbaustellen der Zuschlagstoffe in den Kieswerken im Rafzerfeld beibehalten wurden. Dies war insbesondere für die Lieferung der Sandkomponenten entscheidend, da sich die Eigenschaften für Spritz- und Pumpbeton durch die Sandqualität verändern können.

### 7 Zusammenfassung

Die von der Bauherrschaft gewählte Lösung der zentralen Betonproduktion hat sich bewährt. Die Umweltbestimmungen wurden optimal umgesetzt und die vorhandenen Infrastrukturen für die Aushubentsorgung konnten auch für die Zufuhr von Zuschlagstoffen und Bindemitteln (Kies und Zement) sowie Tübbinggen genutzt werden. Dadurch wurden, mit Ausnahme der Spezialtransporte, die Strassentransporte vermieden. Die zentrale, durch die Bauherrschaft separat vergebene Betonproduktion stand nicht nur den grossen Arbeitsgemeinschaften der Hauptobjekte, sondern allen am Grossprojekt Westumfahrung beteiligten Unternehmen zur Verfügung.

### 6 Quality Assurance of Plants and Concrete Production

Quality assurance embraced the fields of concrete plants, testing agents and concrete production. The technical installations of the concrete plants were tested twice a year. Testing related to the accuracy of the various scales for aggregates, binding agents, water and additives. On the basis of the weighed amounts of the various aggregate components the conformity of the grading curve for the 0/31.5 (32) granulation and the yield of this concrete mix were also tested (Fig. 8).

Additionally the plants were checked once a year by institutes belonging to the FSKB (Swiss Gravel and Concrete Industry). The equipment used to test the fresh concrete had to be checked once a year. The fresh and solid concrete tests took place based on the Standard SIA 162/1. The required checks and their frequency were laid down in a test schedule. Verification of suitability, which had to be renewed annually, was needed for the types of concrete included in the range of products. The verification of suitability embraced the mix analysis, a complete fresh concrete check, proof of 3 or 7-day and 28-day compressive strength as well as verification of special properties. To maintain the required quality standards over a production period of practically 10 years it was essential to assure continuous quality of the aggregates. As a consequence the client insisted that the extraction points for the aggregates were adhered to in the gravel works at Rafzerfeld for gravel deliveries. This was particularly decisive for delivering the sand components as the quality of the shotcrete and pump concrete can alter as a result of the sand quality.

### 7 Summary

The solution of centralised concrete production selected by the client proved its worth. The environmental regulations were applied in an optimal manner and the existing infrastructures for disposing of the muck were also able to be used for supplying aggregates and binding agents (gravel and cement) as well as segments. In this way there was no need for transport by road, except in special cases. Central concrete production awarded separately by the client was thus available for the large JVs for the main projects as well as for all contractors involved in the major project Zurich West Bypass.



## TUNNELLING IS OUR BUSINESS

Wir schaffen mit Untertagebauwerken und komplexen Infrastrukturbauwerken, die wir errichten, wichtige und bleibende Werte für die Gesellschaft und tragen damit auf wirksame, nachhaltige und sichere Weise zum Wohlstand und zum Wohlbefinden der Menschen bei. Durch unsere in allen Belangen professionelle Arbeitsweise und die Qualität der erbrachten Leistungen empfehlen wir uns für unsere Projektpartner und Auftraggeber als bevorzugter Auftragnehmer.

ALPINE Bau GmbH  
Seestraße 72 b  
6052 Hergiswil · Schweiz  
Tel. +41 41 630 4220  
info@alpine.ch  
www.alpine.at

ALPINE BeMo Tunnelling GmbH  
Bernhard-Höfel-Straße 11  
6020 Innsbruck · Österreich  
Tel. +43 512 3311-0  
untertagebau@alpine-bau.de  
www.alpine-bemo.com

ALPINE Untertagebau GmbH  
Fürholzener Straße 12  
85386 Eching · Deutschland  
Tel. +49 89 32711-300  
untertagebau@alpine-bau.de  
www.alpine-bau.de

www.alpine.at



Amberg Engineering Ltd.  

- Engineering for underground structures
- Roads
- Railways
- Metros
- Caverns
- Infrastructures



## Amberg Group

Unique expertise  
underground

[www.amberg.ch](http://www.amberg.ch)



Amberg Technologies AG  

- Tunnel Systems
- Rail Systems
- Geoengineering
- Geophysics



Hagerbach Test Gallery Ltd.  

- Underground Training
- Research & Test Gallery
- Testing Laboratories
- Visitors & Events





**AON** RISK SERVICES

**Ihr starker Partner für  
Risiko- und Versicherungs-  
management.**

Aon (Schweiz) AG  
Bederstrasse 66  
CH-8027 Zürich  
T + 41 44 925 22 11

Aon (Suisse) SA  
Route de Meyrin 123  
CH-1215 Genève 15 Aéroport  
T +42 22 827 07 00

[www.aon.ch](http://www.aon.ch)

**Wir bauen  
Bewehrungen für:**

Tübbinge  
Werkleitungskanäle  
Fahrbahnplatten  
Tunnelsanierungen  
Schlitzwände  
Gitterträger  
Bohrpfähle  
Lärmschutzwände  
New-Jersey  
Brückenträger

**Wir schaffen Vorteile  
europaweit.**

**Arma  
Spez GmbH**

Armaspez GmbH  
Seftigenstrasse 370  
CH - 3084 Wabern  
Tel. +41 31 961 55 84  
Fax +41 31 961 24 27  
Mail [info@armaspez.ch](mailto:info@armaspez.ch)  
Web [www.armaspez.ch](http://www.armaspez.ch)



**Der Unterschied zwischen Mittelmass und Perfektion liegt im Detail.  
Wir von Armaspez wissen das.**

**Arma  
Spez GmbH**

## Whatever your challenges are

Im Untertagebau bietet MEYCO® weit mehr als die Maschinen und die Bauchemie für den Spritzbeton. Unsere innovativen Lösungen umfassen auch Injektionen, sowie Produkte für den passiven Brandschutz, zur Wasserabdichtung und für den maschinellen Tunnelvortrieb. Selbstverständlich unterstützt Sie dabei unser weltweites Expertenteam.

[www.meyco.basf.com](http://www.meyco.basf.com)

 **BASF**  
The Chemical Company



## Expanding Horizons

## Underground

**MEYCO**

BASF Construction Chemicals Europe AG - Vulkanstrasse 110 - 8048 Zurich, Switzerland - Telefon +41 58 958 22 11 - Telefax +41 58 958 34 15 - [meyco.ugc@basf.com](mailto:meyco.ugc@basf.com)



### Expertise auf allen Ebenen

Und Tunnelbau auf höchstem Niveau: innerstädtisch, mit geringer Überdeckung, in schwierigem Baugrund – das ist eines der Spezialgebiete von Basler & Hofmann. Wir begleiten Tunnelprojekte von der Machbarkeitsstudie bis zur Bauleitung, vom Sicherheitsplan bis zum Logistikkonzept. Gut, sich auf einen erfahrenen Partner verlassen zu können.

[www.baslerhofmann.ch](http://www.baslerhofmann.ch)

**Basler & Hofmann**

## Wir können es besser. Und wirtschaftlicher.

Rowa vereint hohe Kompetenz im Anlagenbau und langjährige Erfahrung im Untertagebau. Intelligente Gesamtlösungen vom Vortrieb bis zur Deponie sind unser Markenzeichen: Sie garantieren eine überdurchschnittliche Betriebssicherheit und eine hohe Wirtschaftlichkeit.

Wir können es besser – weltweit. Das Vertrauen unserer Kunden beweist es.

**Rowa Tunnelling Logistics AG, Leuholz 15, CH-8855 Wangen SZ**  
Telefon +41 (0)55 450 20 30, Fax +41 (0)55 450 20 25  
rowa@rowa-ag.ch, www.rowa-ag.ch



## Tunnelling is our business.

Belloli ist seit Jahrzehnten für die Entwicklung innovativer Produktserien auf dem Gebiet des Tunnelbaus bekannt und stellt spezifische, nach Kundenwünschen angefertigte Maschinen und Einrichtungen her.

**Belloli SA, CH-6537 Grono**  
Telefon +41 (0)91 820 38 88, Fax +41 (0)91 820 38 80  
belloli@belloli.ch, www.belloli.ch



Die Natur ist unser Vorbild

**BG**

Ingénieurs Conseils  
Ingenieurs & Berater  
Consulting Engineers

Das vernetzte Denken unsere Stärke

So schaffen wir nachhaltigen Lebensraum

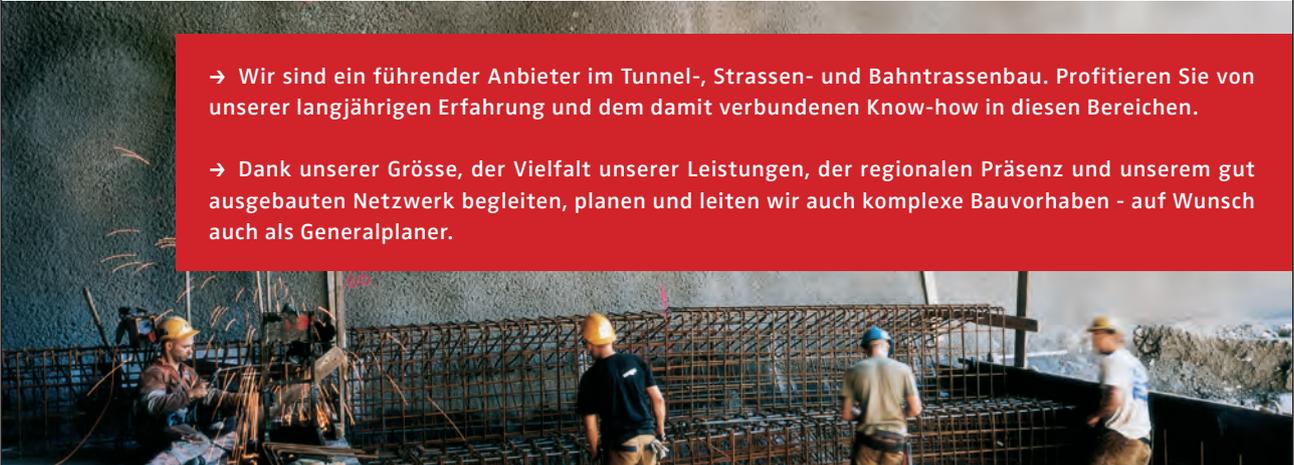
www.bg-21.com



## Ihr Partner für Gesamtlösungen. Erfolg inspiriert.

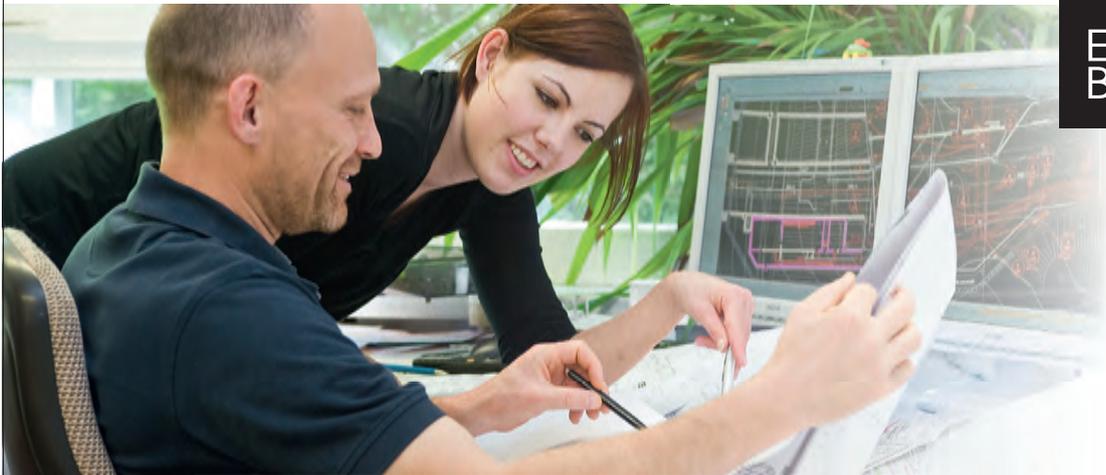
→ Wir sind ein führender Anbieter im Tunnel-, Strassen- und Bahntrassenbau. Profitieren Sie von unserer langjährigen Erfahrung und dem damit verbundenen Know-how in diesen Bereichen.

→ Dank unserer Grösse, der Vielfalt unserer Leistungen, der regionalen Präsenz und unserem gut ausgebauten Netzwerk begleiten, planen und leiten wir auch komplexe Bauvorhaben - auf Wunsch auch als Generalplaner.



Zürich | Winterthur | Chur | Pontresina | St. Moritz | Zuoz | Poschiavo | Mesocco | Lugano | Rivera

[www.toscano.ch](http://www.toscano.ch)



Emch+  
Berger

## Your competent partner for engineering, planning, consultancy and studies.

**Global solutions are our strength. | Emch+Berger Group**

Gartenstrasse 1 | PO Box 6025 | 3001 Bern | Phone 031 385 62 11 | [www.emchberger.ch](http://www.emchberger.ch)



## Bauen Sie schon heute mit dem Standard von morgen.

Fischer Rista AG ist der führende Schweizer Hersteller von Bewehrungen in praktisch jeder Form. Unsere Qualitätsprodukte von höchster Güte und Präzision haben sich tausendfach bewährt und werden laufend an die steigenden Ansprüche angepasst und perfektioniert.

**Unser Beitrag für effizientes Bauen und mehr Sicherheit.**

Fischer Rista AG Hauptstrasse 90 | CH-5734 Reinach | Telefon +41(0)62 288 15 75  
Telefax +41(0)62 288 15 76 | info@fischer-rista.ch | www.fischer-rista.ch

**Frutiger**

### BAUEN FÜR MORGEN

**Wir bauen (fast) alles – von der Gartenmauer bis zum Gotthardbasistunnel**

Ob Teilleistungen oder umfassende Gesamtlösungen: Wir sind Ihr idealer Partner für alle Bauvorhaben, von **Hochbau, Strassenbau, Tief- und Untertagebau** über **Projektentwicklung, Engineering** bis zur **Generalunternehmung**.

**FRUTIGER AG**  
Frutigenstrasse 37  
CH-3601 Thun  
www.frutiger.com



## Raise Boring | Zielbohrungen



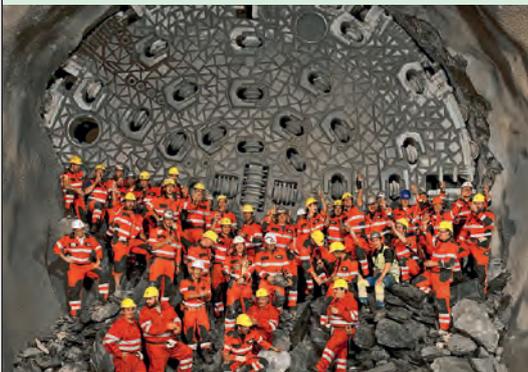
### Die effiziente Alternative im Stollen- und Schachtbau.

Wir bohren fast alles – und in alle Richtungen.

Gasser Felstechnik AG | 6078 Lungern  
T 041 679 77 77 | www.felstechnik.ch

Untertag | Felssicherung | Baugrubensicherung | Sprengbetriebe | Baubetriebe | Spezialbohrungen

HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING



## ST. GOTTHARD: GROSSE FORTSCHRITTE BEIM JAHRHUNDERTPROJEKT.

Der Vortrieb auf den nördlichen Losen Erstfeld und Amsteg des Gotthard-Basistunnels ist abgeschlossen. Die Vortriebschefs feierten am 16. Juni und am 16. September 2009 den Durchbruch mit den Gripper-TBM Gabi I und Gabi II von Herrenknecht. Beide Maschinen waren mit sehr guten Bohrleistungen unterwegs und erreichten ihr Ziel jeweils 6 Monate früher als geplant. Gabi II in der Weströhre bohrte und sicherte bis zu 56 Meter neuen Tunnel pro Tag.

Auf dem südlichen Abschnitt von Faido nach Sedrun kommen die Hartgesteinsbohrer von Herrenknecht, Heidi und Sissi, ebenfalls gut voran. Für Ende 2010 ist der letzte große Durchbruch nach Sedrun geplant.

Wir wünschen allen bis zum erfolgreichen Abschluss des Jahrhundertprojektes weiterhin »Glück auf« und eine unfallfreie Fahrt für die Mannschaft.

### GOTTHARD | SCHWEIZ

#### PROJEKTDATEN



**S-210, S-211, 2x Gripper-TBM**  
Durchmesser: 8.830 mm bzw. 9.430 mm (nach Revision)  
Schneidradleistung: 3.500 kW  
Tunnellängen: 13.069 m, 14.099 m, 10.678 m, 10.538 m  
Geologie: Gneis, Granit, Schiefer

#### AUFTRAGGEBER

ARGE TAT:  
Zschokke Locher AG,  
CSC Impresa Costruzioni SA, Impregilo S.p.A., Alpine Mayreder Bau GmbH, Hochtief Construction AG



**S-229, S-230/S-421, S-422 2x Gripper-TBM**  
Durchmesser: 9.580 mm  
Schneidradleistung: 3.500 kW  
Tunnellängen: 10.725 m, 10.703 m, 7.178 m, 7.178 m  
Geologie: Gneis, Granit, Schiefer

ARGE AGN:  
STRABAG AG Tunnelbau Schweiz (CH)/ STRABAG AG (A)

Herrenknecht AG  
D-77963 Schwanau  
Tel. + 49 7824 302-0  
Fax + 49 7824 3403  
marketing@herrenknecht.de

Herrenknecht (Schweiz) AG  
CH-6474 Amsteg  
Tel. + 41 41-884-8080  
Fax + 41 41-884-8089

www.herrenknecht.de

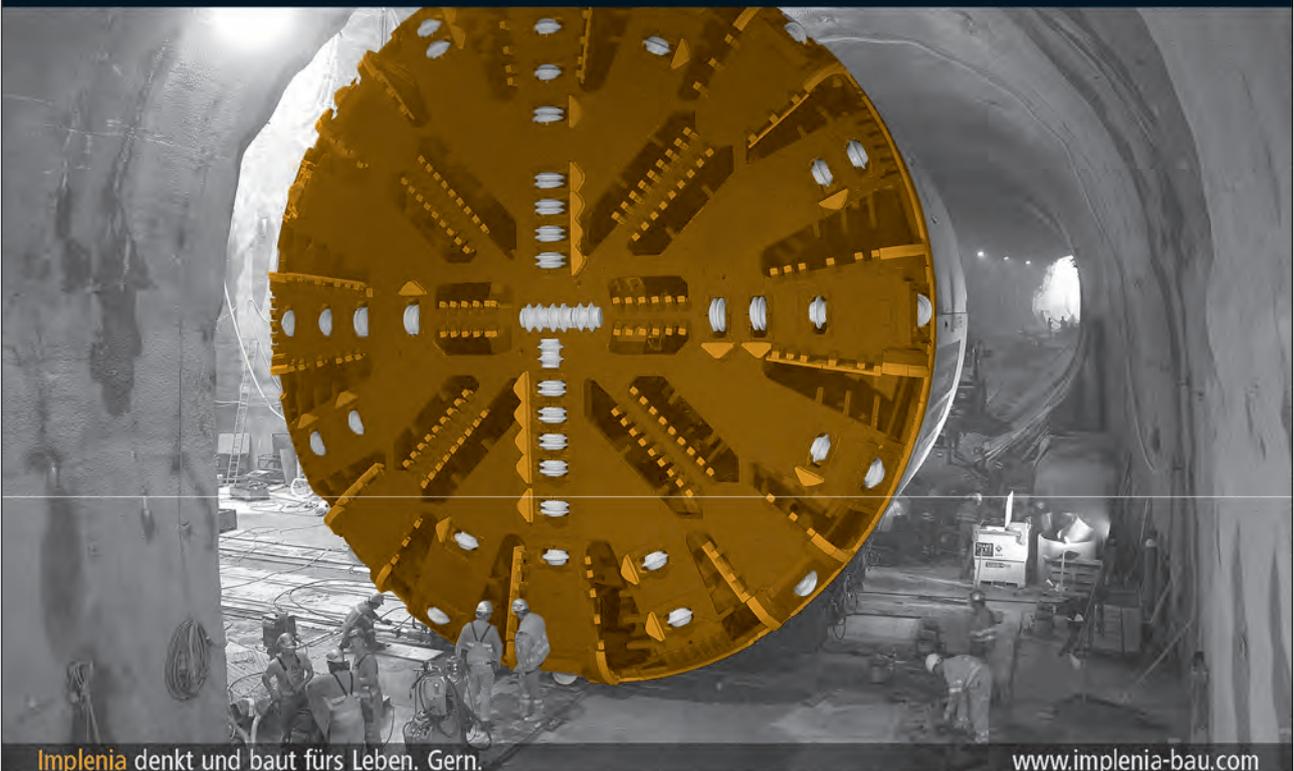


# Nachhaltiges Bauen mit Beton

Holcim (Schweiz) AG  
8050 Zürich  
Telefon +41 58 850 68 68  
[www.holcim.ch](http://www.holcim.ch)



 **Implenia** Die Untertagbauer.



Implenia denkt und baut fürs Leben. Gern.

[www.implenia-bau.com](http://www.implenia-bau.com)



# INFRA TUNNEL



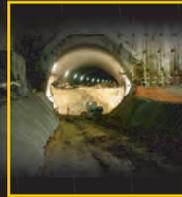
A16, Tunnel du Neu-Bois (JU)



m2, Métro de Lausanne, lot 1900 (VD)



A5, Tunnel de Serrières (NE)



A16, Tunnel de Sous le Mont (BE)



CFF, Tunnels du Mormonts (VD)



FROMCO, Caves à fromages (VD)

Infra Tunnel SA – Rue de la Gare 15c – 2074 Marin, Switzerland – [www.infratunnel.ch](http://www.infratunnel.ch)



*Beratung, Studien, Projektierung, Bau- und Montageleitung, Expertisen, Projektmanagement  
Kompetent und professionell im Bereich Kraftwerk-, Untertag-, Verkehrswegebau sowie bei der  
Installation von elektromechanischen Anlagen und Ausrüstungen*

*Consultation, research, expertise, project planning, construction/installation management,  
project management*

*Competent, professional and experienced in power station construction, mining, and transport  
infrastructure; as well as in the installation of electromechanical equipment and machinery*



IUB INGENIEUR-UNTERNEHMUNG AG

Thunstrasse 2 Tel. +41(0)31 357 11 11  
CH-3005 Bern Fax +41(0)31 357 11 12  
[www.iub-ag.ch](http://www.iub-ag.ch) [info@iub-ag.ch](mailto:info@iub-ag.ch)

# Schweizer Qualitätszement aus Wildegg



## jura cement

Jura-Cement-Fabriken CH-5103 Wildegg  
Tel. 062 88 77 666 · Fax 062 88 77 669  
[www.juracement.ch](http://www.juracement.ch)



## Fahrleitungsanlagen Lötschberg-Basistunnel Gotthard-Basistunnel

- Projektierung
- Versuche
- Fahrleitungsmaterial
- Montage

Kumler+Matter AG  
Hohlstrasse 176  
CH-8026 Zürich  
Telefon +41 44 247 47 47  
[www.kuma.ch](http://www.kuma.ch)





## Lombardi verbindet

Lombardi steht seinen Kunden über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks mit Kompetenz zur Seite. Unsere Dienstleistungen umfassen die Erstellung von Vorstudien über die Planung und Erstellung bis zum Betrieb.



Seit über 50 Jahren bauen unsere Kunden auf unsere technische und wirtschaftliche Kompetenz für Verkehrsanlagen unter Tage. Ihre Ansprüche sind unsere Herausforderung.

**Lombardi SA** Beratende Ingenieure, Via R. Simen 19, CH-6648 Minusio

**Lombardi AG** Beratende Ingenieure, Winkelriedstrasse 37, CH-6003

[www.lombardi.ch](http://www.lombardi.ch)

## Engagement macht den Unterschied.



### MAPEI Underground Technology Team

Das MAPEI Underground Technology Team ist MAPEI's Antwort auf die Bedürfnisse derer, die in der Welt des Untertagebaus arbeiten.

Es ist das Resultat von MAPEI's Investitionen in die Forschung und Entwicklung spezifischer Produkte, des Engagements und der Hingabe der Mitarbeiter welche Professionalität und Erfahrung an den Tag legen.

### Weil Engagement den Unterschied macht.

Wir begleiten Sie vom Anfang bis zum Abschluss eines Projektes:

- Weltweite Interventionsmöglichkeit innerhalb 24 Stunden und während 365 Tagen pro Jahr
- Produktionssteigerung
- Kostenreduktion



MAPEI SUISSE SA  
CH - 1642 Sorens  
T +41 26 915 90 00 • F +41 26 915 90 03  
info@mapei.ch • www.mapei.ch



## Marti builds

Marti provides high quality tunnel sealing in the deep and open pit mining. The in-house development of a concrete reinforcement grid moving machine reflects innovation and excellent know-how.

**Marti Holding AG** Bauunternehmungen Grubenstrasse 11 CH-3322 Schönbühl  
Tel. +41 31 388 75 75 Fax +41 31 388 75 01 [info@martiag.ch](mailto:info@martiag.ch) [www.martiag.ch](http://www.martiag.ch)



## Tunnelplaner aus Leidenschaft

Wirtschaftlichkeit, Qualität, Termintreue und Sicherheit stehen im Zentrum unserer Überlegungen. Wir handeln lösungsorientiert und packen Problemstellungen systematisch an. Die erfolgreiche Kombination von Wissen und Erfahrung erlaubt es uns, anspruchsvollste Aufgaben im Untertagebau zu bewältigen.

Unsere Dienstleistungen erstrecken sich über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Wir planen vorausschauend, damit Sie bei der Umsetzung keine Überraschungen erleben. Mit uns haben Sie einen verlässlichen Partner, der Ihre Interessen vertritt und in Ihrem Sinne das Projekt zu nachhaltigem Erfolg führt.

**Pöyry Infra AG**

Hardturmstrasse 161, Postfach, CH-8037 Zürich, Telefon: +41 44 355 55 55, E-Mail: [infra.ch@poyry.com](mailto:infra.ch@poyry.com)



Competence. Service. Solutions.

[www.poyry.ch](http://www.poyry.ch)



**Bewehrungsmatten, Injektionsanker, Fasern.** Ob System oder massgeschneiderte Lösung – unsere Produkte rationalisieren die Arbeiten am Tunnel.  
**Ruwa – Vielseitigkeit ist unsere Stärke.**

**RUWA** Drahtschweisswerk AG  
 3454 Sumiswald

[www.ruwa-ag.ch](http://www.ruwa-ag.ch)



**Mit Sicherheit richtig befestigt:**



**Wir bringen Licht ins Dunkle mit  
 fischer-Befestigungssystemen**

SFS unimarket AG | Befestigungstechnik  
 CH-6343 Rotkreuz | [www.sfsunimarket.biz](http://www.sfsunimarket.biz)  
[tma@sfsunimarket.biz](mailto:tma@sfsunimarket.biz) | T 041 798 25 24



**Know-how**  
seit 100 Jahren

**Sika**  
www.sika.ch

**Sika – Ihr Partner seit 100 Jahren für  
Neubau und Sanierung im Tunnelbau**

- Betonherstellung
- Spritzbeton
- Kunststoffdichtungsbahnen
- Maschinen
- Betonsanierung
- Brandschutz
- Anstriche

**Innovation & Consistency** | since 1910

**hiDCon® – Elemente im Tunnelbau**

▶ Konvergenzfähige Spritzbetonschale

▶ Modulares Knautschsystem

Zugangsstollen St. Martin la Porte, Frankreich (Quelle: Razel, Bilfinger Berger, Pizarotti)

Hebungszone Chienberg Strassentunnel, Schweiz (Quelle: Aegerter & Bosshardt AG)

hiDCon - Elemente sind die optimale Lösung um Gebirgsspannungen beim Tunnelbau in druckhaften und quellfähigen geologischen Formationen zu reduzieren. hiDCon erfüllt die gleichen Qualitätsstandards wie unsere weltweit bekannten geotechnischen und hydrogeologischen Messsysteme.

*Swiss Precision Geomonitoring*

Mehr Informationen finden Sie unter:  
[www.hidcon.ch](http://www.hidcon.ch) – [www.solexperts.com](http://www.solexperts.com)  
 Telefon +41 44 806 29 29



# STRABAG

## STRABAG AG Tunnelbau Schweiz

Bifang 4, CH-6472 Erstfeld

Telefon +41 41 882 11 11

Telefax +41 41 882 11 10

E-Mail [tunnelbau-schweiz@strabag.com](mailto:tunnelbau-schweiz@strabag.com)

Internet [www.strabag.ch](http://www.strabag.ch)

Internet [www.agn-erstfeld.ch](http://www.agn-erstfeld.ch)

**WIR SCHAFFEN RAUM FÜR KOMMENDE GENERATIONEN**



swiss  
**IT-Factory**

All-in-One anywhere, anytime

[www.swissitfactory.com](http://www.swissitfactory.com)



swisscom

## Für sicheres Outsourcing: Swisscom IT Services.

Sie haben das Gefühl, Ihre IT ist ein schwarzes Loch? Stattdessen möchten Sie gern Licht am Ende des Tunnels sehen?

Rechnen Sie mit einem zuverlässigen Partner. Und damit, dass Sie den Herausforderungen des Marktes gewachsen sind – mit Swisscom IT Services. Denn Outsourcing ist und bleibt Vertrauenssache.

**FOR SALE!**  
second hand  
tunnelling-equipment  
[www.tat-ti.ch](http://www.tat-ti.ch)

**Consorzio TAT**  
Tunnel AlpTransit Ticino – Bodio Los 554 / Faïdo Los 452

Implenia  
ALBERT  
CSC  
HOCHTIEF  
IMPREGILO

# ARGE TRANSCO - Sedrun



Implenia Bau AG



Frutiger AG



Bilfinger Berger  
Ingenieurbau GmbH



Pizzarotti S.p.A.

**transtec**  **gotthard**

Transtec Gotthard ist der erfahrene Partner für Bahntechnik im Tunnel.



**ALPIQ**

**Balfour Beatty**  
Rail

Alcatel-Lucent   
**THALES**



**SIEMENS**



© BLS Netz AG

## Successful products for track systems

 **TRIBETON®**

a brand of CREABETON MATERIAUX AG  
[www.tribeton.ch](http://www.tribeton.ch)



**VIGIER**

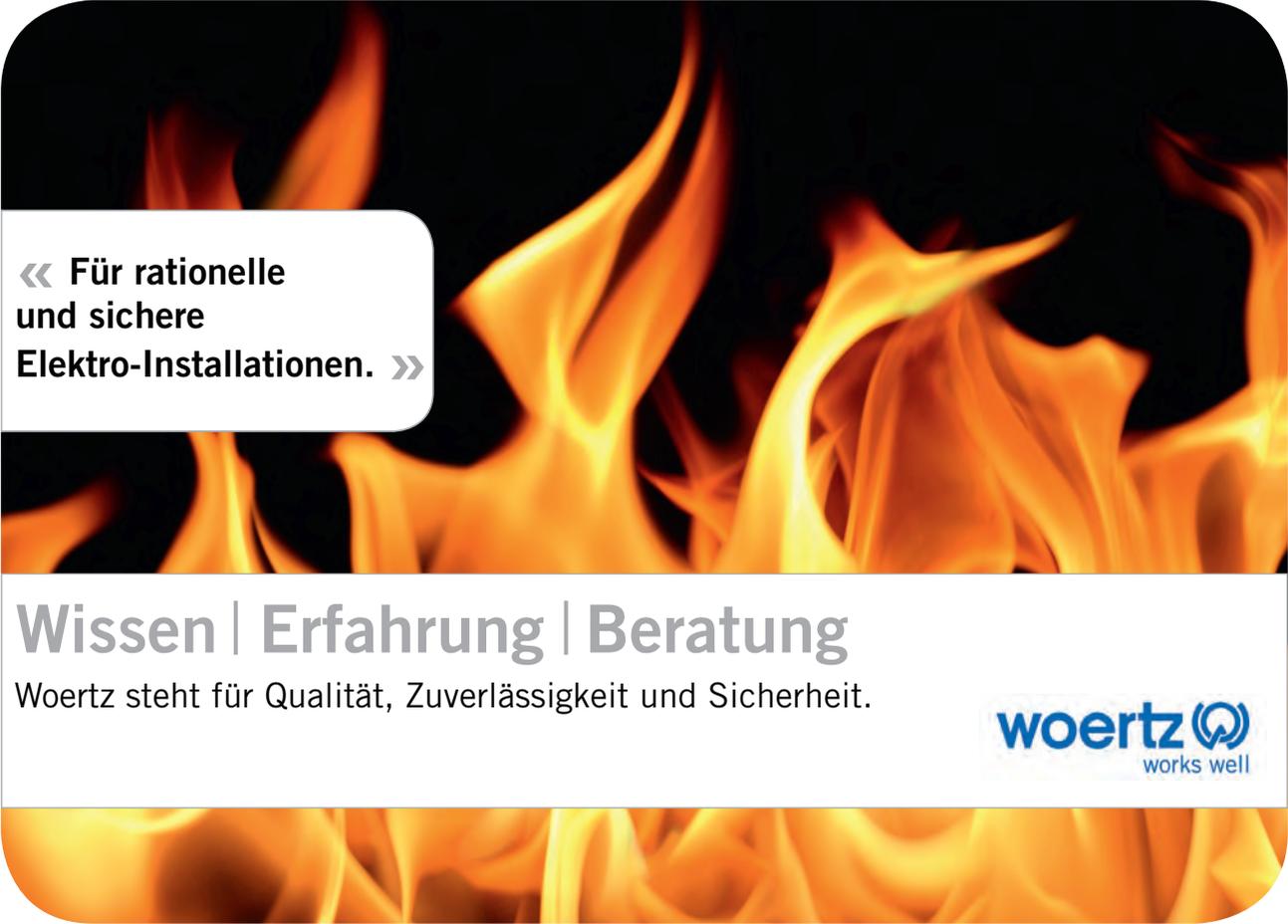
VIGIER CEMENT AG  
[www.vicem.ch](http://www.vicem.ch)



## Walo Bertschinger - Ihr Partner für alle Bauwerke.

Walo Bertschinger AG  
Untertagbau  
Postfach 1155, CH-8021 Zürich  
Telefon +41 44 745 23 11  
Telefax +41 44 740 31 40  
[untertagbau@walo.ch](mailto:untertagbau@walo.ch)  
[www.walo.ch](http://www.walo.ch)





« Für rationelle  
und sichere  
Elektro-Installationen. »»

## Wissen | Erfahrung | Beratung

Woertz steht für Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit.



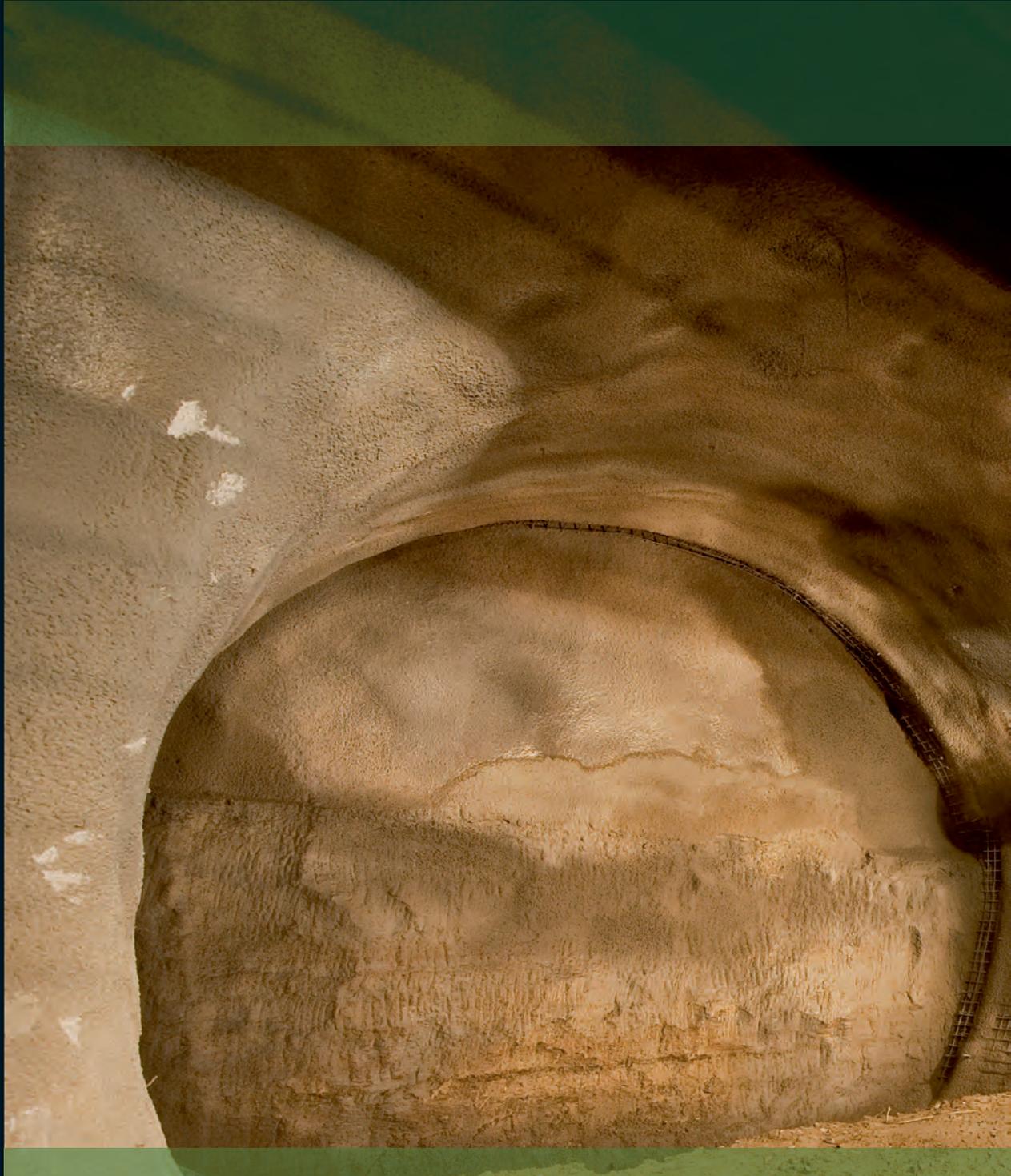
## Notizen



# SWISS TUNNEL CONGRESS 2010

Fachtagung für Untertagbau

ISBN 978-3-7625-3639-0



**FGU** Fachgruppe für Untertagbau  
**GTS** Groupe spécialisé pour les travaux souterrains  
**GLS** Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo  
**STS** Swiss Tunnelling Society