

SWISS TUNNEL CONGRESS 2011

Fachtagung für Untertagbau

Band 10

2011

ISBN 978-3-7625-3645-1

SWISS TUNNEL CONGRESS

Fachtagung
für Untertagbau



Band 10
SWISS TUNNEL CONGRESS 2011

Colloquium

8. Juni 2011
in Luzern

Fachtagung

9. Juni 2011
in Luzern



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



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 2011

Fachtagung für Untertagbau

8. + 9. Juni 2011 in Luzern



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

Advisory Board

Miguel Fernández-Bollo Martínez	AETOS
Robert Galler, Prof. Dr.	ITA Austria
Roland Leucker, Dr.	STUVA/DAUB
Enrico Arini, Dr.	SIG
Jean Philippe	AFTES

Organizing Committee and Editors

Martin Bosshard, Dipl. Ing.	President Swiss Tunnelling Society
Gian Luca Lardi, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Heinz Ehrbar, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Felix Amberg, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Luzi R. Gruber, Dipl. Ing.	Vice President Swiss Tunnelling Society
Georg Anagnostou, Prof. Dr.	Swiss Tunnel Colloquium
François Bertholet, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Colloquium
Iris Otter/Cäcilia Ackermann	Secretariat

Congress Secretariat

Thomi Bräm, PR-Beratung + Verlag

© 2011 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, Gütersloh

Druckvorstufe: Mohn media Mohndruck GmbH, Gütersloh

Druck: GGP Media GmbH, Pößneck

Auflage: 950 Exemplare

ISBN 978-3-7625-3645-1

Swiss Tunnel Congress 2011 – Fachtagung für Untertagbau

Umschlagfoto + Foto Seite 4, links aussen: © AlpTransit Gotthard AG, Luzern

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.

Azer, Hany	DB ProjektBau GmbH, Stuttgart/D
Belloli, Alberto	Dr. sc., Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ/CH
Bergmeister, Konrad	Prof. Dr. Dr., Brenner Basistunnel BBT SE, Innsbruck/A
Böckli, Olivier	Implenia Bau AG, Zürich/CH, c/o Consorzio TAT
Bolliger, Josef	Implenia Bau AG, Zürich/CH
Bosshard, Martin	Präsident, Fachgruppe für Untertagbau
Brino, Lorenzo	Lyon Turin Ferroviaire L.T.F.s.a.s.
Carmona, Rafael	Dr., Conagua, Mexico City/MEX
Chabert, Alain	Lyon Turin Ferroviaire L.T.F.s.a.s.
Da Trindade, Antoine	CFF SA, Genève/CH
Füglister, Peter	Dr., Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern/CH
Frauenlob, Martin	Marti Bauunternehmung AG, Luzern/CH
Gàl, Thomas	Implenia Bau AG, Aarau/CH
Gollegger, Johannes	Amberg Engineering AG, Regensburg/CH
Gruber, Luzi R.	Implenia Bau AG, Zürich/CH, c/o Consorzio TAT
Gugelmann, Bruno	CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano/CH
Koch, Franz	ASTRA, Zofingen/CH
Monin, Nathalie	Lyon Turin Ferroviaire L.T.F.s.a.s.
Müller, Stefan	Frutiger AG, Thun/CH
Neidhart, Matthias	Lombardi AG, Luzern/CH
Peggs, Simon	AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Peláez González, Mario	Ineco, Madrid/E
Pochop, Frank	AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Röthlisberger, Bruno	Amberg Engineering AG, Sargans/CH
Roittner, Oskar	Strabag AG, Wien/A
Rufer, Peter	Marti Technik AG, Moosseedorf/CH
Saller, Bruno	ASNB Amt für Nationalstrassenbau, Brig/CH
Schneider, Alex	Dr. sc. techn., Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH
Simoni, Renzo	Dr. sc. techn., AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Spörri, Daniel	Implenia Bau AG, Zürich/CH, c/o Consorzio TAT
Stadelmann, Hanspeter	Implenia Bau AG, Aarau/CH
Wieland, Gerd	Amberg Engineering AG, Regensburg/CH
Ziegler, Hans-Jakob	Dr. phil. nat., Kellerhals + Haefeli AG, Bern/CH

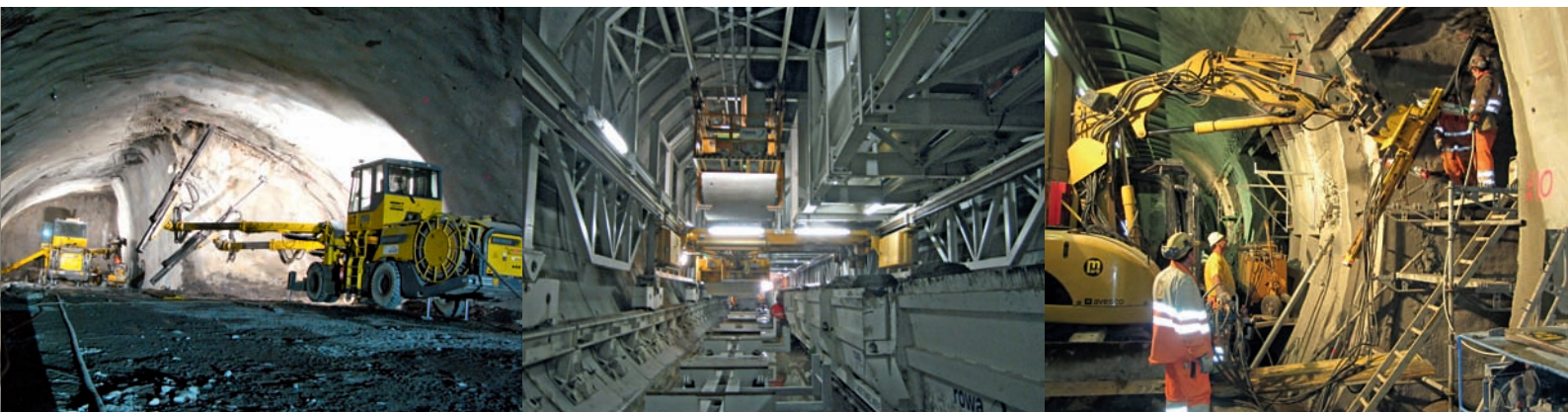
6	Bosshard, Martin	Vorwort • <i>Preface</i>
10	Füglister, Peter	Tunnelland Schweiz <i>Switzerland, a Country of Tunnels</i>
16	Simoni, Renzo	Gotthard 2016 <i>Gotthard 2016</i>
28	Ziegler, Hans-Jakob	150 km Vortrieb durch die Alpen <i>150 km Tunnelling Through the Alps</i>
38	Gruber, Luzi R. Böckli, Olivier Spörri, Daniel	Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau <i>Lining Installation as Excavation Continues</i>
50	Pochop, Frank Peggs, Simon	Die Betriebslüftung des Gotthard-Basistunnels <i>Ventilation in the Gotthard Base Tunnel</i>
62	Gugelmann, Bruno	Ceneri Basistunnel <i>Ceneri Base Tunnel</i>
76	Bolliger, Josef	Weinbergtunnel der Durchmesserlinie Zürich <i>The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail</i>
86	Da Trindade, Antoine	CEVA CEVA
98	Müller, Stefan Saller, Bruno Schneider, Alex	Tunnel Eyholz <i>The Eyholz Tunnel</i>
110	Roittner, Oskar	Niagarafälle <i>Niagara Falls</i>
118	Röthlisberger, Bruno Gollegger, Johannes Wieland, Gerd	Olympische Winterspiele 2014 <i>The 2014 Winter Olympics</i>



130	Bergmeister, Konrad	Brenner Basistunnel <i>The Brenner Base Tunnel</i>
142	Chabert, Alain Monin, Nathalie Brino, Lorenzo	Nuova Linea Torino – Lione <i>New Turin – Lyon Line</i>
154	Carmona, Rafael	Tunnel Emisor Oriente <i>Túnel Emisor Oriente</i>
160	Peláez, Mario	Tunnelprojekt Pajares <i>Pajares Tunnel Project</i>
170	Azer, Hany	Grossprojekt in Deutschland <i>Major Project in Germany</i>

Swiss Tunnel Colloquium 2011 Logistik im Untertagbau • *Logistics in Underground Construction*

182	Belloli, Alberto	Nachläuferkonstruktionen <i>Back-up Systems</i>
194	Rufer, Peter	Materialtransport mit Förderbändern <i>Belt Conveyors</i>
206	Stadelmann, Hanspeter Gàl, Thomas	Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut <i>Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials</i>
220	Frauenlob, Martin	Bahntunnel <i>Rail Tunnels</i>
236	Koch, Franz Neidhart, Matthias	Gesamterneuerung Cityring Luzern <i>All-in Reconstruction, Cityring Lucerne</i>





© Monika Schläppi

Vorwort • Preface

Martin Bosshard

Präsident der
Fachgruppe für Untertagbau

President of the
Swiss Tunnelling Society

Das Jahr 2010 war für die Schweizer Tunnelbauindustrie ein ganz aussergewöhnliches Jahr: Mit den letzten Durchschlägen des Gotthard-Basistunnels wurde bewiesen, dass die Schweizer Tunnelbauindustrie Grossartiges zu leisten vermag. Ein weiteres „Highlight“ des Jahres 2010 bildete die erfolgreiche Kandidatur für den World Tunnel Congress 2013 in Genf. Damit setzen wir Schweizer Tunnelbauer ein weiteres Zeichen, das die Leistungsfähigkeit der Schweizer Tunnelbauindustrie international demonstriert.

Der vorliegende zehnte Tagungsband des Swiss Tunnel Congress (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 und damit auch internationalisiert.

Der Direktor des Bundesamtes für Verkehr (BAV), Dr. Peter Füglistaler, hat sich in verdankenswerter Weise bereit erklärt, in diesem Jahr die Eröffnungsrede zu halten zum Thema „Tunnelland Schweiz – ein Land ohne Tunnelblick“.

Die Referate am Vormittag beleuchten die Arbeiten des Gotthard- und Ceneri-Basistunnels einmal mehr. Der Vormittag wird abgerundet mit einem Beitrag über die Durch-

2010 was an extraordinary year for Swiss tunnelling, with the final breakthroughs in the Gotthard Base Tunnel eminently showcasing this industry's outstanding capabilities. A second highlight of 2010 was Switzerland's successful candidature for the 2013 World Tunnel Congress in Geneva, giving us, as Swiss tunnel engineers, a further opportunity of demonstrating the potentials of Swiss tunnelling at international level.

This tenth Swiss Tunnel Congress (STC) proceedings provide incontrovertible proof that Switzerland's tunnel-engineering industry continues to implement demanding tunnel projects. Challenging projects are also underway in other countries (supported by Swiss tunnelling expertise, in many cases), and a number of these are examined in the context of our Swiss Tunnel Congress. This expansion of the scope of the STC, initiated a few years ago, has proven correct, and has moved the congress beyond the discussion of individual aspects of the 2 base tunnels, adding important and stimulating international content.

The Director of the Federal Office of Transport (FOT), Dr. Peter Füglistaler, has kindly agreed to deliver this year's keynote address on the topic of "Switzerland, a country of tunnels – but not a one track minded country".

The papers presented during the morning session thus again focus on the work on the Gotthard and Ceneri base tunnels. This session will be rounded off with a paper on the Zurich Cross Rail, an inner-city project which also celebrated its main breakthrough, in the Weinberg Tunnel, in 2010. The

messerlinie in Zürich, einem innerstädtischen Projekt, welches ebenfalls im Jahr 2010 den Hauptdurchschlag des Weinbergtunnels begehen konnte. Der Nachmittag beginnt mit einem weiteren innerstädtischen Bahnprojekt aus der Schweiz, dem Projekt CEVA in Genf. Nach dem Referat Umfahrung Visp folgen Beiträge über internationale Grossprojekte. Dabei wird der Bogen von den USA über Russland, Österreich/Italien, Frankreich, Mexiko bis hin zu Spanien gespannt, um dann beim Projekt Stuttgart 21 den Abschluss der Tagung zu finden.

In enger Zusammenarbeit mit dem Advisory Board ist es uns wieder gelungen, hochinteressante Vorträge und Themen zu einem spannenden Programm zusammenzustellen. Der Swiss Tunnel Congress (STC) pflegt stets eine grosse Offenheit gegenüber Projekten, bei welchen spezielle Schwierigkeiten zu bewältigen sind. In diesem Sinne sind wir gespannt auf die Ausführungen zu den Projekten.

Das Swiss Tunnel Colloquium widmet sich dieses Jahr dem Thema „Logistik im Tunnelbau“. Spezielle Herausforderungen bezüglich Logistik bieten sich bei langen und innerstädtischen Tunnels sowie bei Sanierungen unter Betrieb. Fachleute aus Unternehmerkreisen, Industrie und Ingenieurbüros berichten über die neuesten Entwicklungen. Wir sind überzeugt, dass auch das diesjährige Thema auf reges Interesse stossen und eine Plattform bieten wird, die Leistungsfähigkeit der Untertagebauindustrie auf diesem Gebiet zu präsentieren.

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. Nur dank ihnen gelang es, die Ausrichtung des World Tunnel Congress (WTC) 2013 in die Schweiz zu holen sowie den Swiss Tunnel Congress (STC) jedes Jahr organisieren und durchführen zu können.

Ich wünsche Ihnen einen spannenden Kongress und eine anregende Lektüre.

afternoon session will start with another Swiss inner-city rail project, the CEVA, in Geneva. The address on the Visp Bypass will be followed by papers on major international projects, ranging from the USA, via Russia, Austria/Italy, France and Mexico, up to and including Spain, with a report on Germany's Stuttgart 21 project closing the proceedings.

We have once again succeeded, in close co-operation with the Advisory Board, in compiling a lively programme of exceptionally interesting papers and topics. The Swiss Tunnel Congress (STC) has always welcomed reports on projects involving particular difficulties, and we therefore look forward to the addresses highlighting such tunnels.

The Swiss Tunnel Colloquium this year focuses on the subject of "logistics in tunnelling". Special logistical challenges occur, in particular, in the case of long and of inner-city tunnels, and in refurbishing projects in operational tunnels. Specialists from the fields of contracting, industry and engineering consultancies will report on the latest developments in these sectors. We are confident that this year's topic will arouse great interest and will provide a platform for spotlighting the underground-engineering industry's capabilities in this field.

I would like, in closing, to express my sincere thanks to all speakers, the congress managers, the organisers and their assistants, the Board's specialist editors and, of course, to our sponsors for their generosity. Only their support has made it possible to bring the 2013 World Tunnel Congress (WTC) to Switzerland, and to organise and hold the Swiss Tunnel Congress (STC) each year.

I wish all of you a stimulating congress, and absorbing reading!



Martin Bosshard, President

Hauptsponsoren • Main Sponsors



Hauptsponsoren • Main Sponsors



Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
ACO Passavant AG, Netstal
Agir Aggregat AG, Altdorf
Allianz Suisse Versicherungen, Zürich
Ankaba Ankertechnik und Bauhandel AG, Brüttsellen
Ascom (Schweiz) AG, Mägenwil
Atlas Copco (Schweiz) AG, Studen/BE
Avesco AG, Langenthal
CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano
Desoi GmbH, D-Kalbach
Dörken AG, Arlesheim
Elkuch Bator AG, Herzogenbuchsee
Gruner AG Ingenieure und Planer, Basel
Impresa Pizzarotti SA, Bellinzona

Kiener + Wittlin AG, Zollikofen
Liebherr Baumaschinen AG, Reiden
Minova AG, Birmensdorf
Miracom AG, Baar
Nagra, Wettingen
Nationale Suisse, Basel
Phoenix Contact AG, Tagelswangen
PORR Suisse AG, Altdorf
Rittal AG, Neuenhof
Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, Aarau
Ruwa Drahtschweisswerk AG, Sumiswald
Saint-Gobain Weber AG, Baden-Dättwil
Swisscom IT Services, Bern

Peter Füglistaler, Dr., Direktor Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern/CH

Tunnelland Schweiz

Ein Land ohne Tunnelblick

Die Schweiz ist ein Land der Baumeister, vor allem im Tunnelbau. Tunnelbauten aus den vergangenen Jahrzehnten und Tunnelbauprojekte der kommenden Jahrzehnte zeugen davon. Nach dem Jahrhundertdurchstich am Gotthard-Basistunnel wird der Bahnausbau in der Schweiz zur Normalität.

Switzerland, a Country of Tunnels

But not a one track minded country

Switzerland is a land of master builders, particularly in the field of tunnelling. The proof can be found in the tunnels constructed in the past decades and the projects planned for the coming ones. Upgrading of Switzerland's rail system has become part of our people's lives following the "breakthrough of the century" in the Gotthard Base Tunnel.

Vereina, Murgenthal, Oenzberg, Zimmerberg, Adler, Vauderens, Varens, Engelberg: Dies sind nur ein paar von rund 30 Bahntunnelbauten in den letzten 10 Jahren in der Schweiz. Noch nicht erwähnt ist das Paradebeispiel des Lötschberg-Basistunnels, oder Tiefbauten wie die M2 in Lausanne oder auch die Skymetro, die Standseilbahn im Flughafen Zürich.

Und auch in den nächsten Jahren wird weiter an Tunnelprojekten gebaut: die Durchmesserlinie in Zürich, CEVA in Genf, der Rosshäusern-Tunnel etwa und natürlich die Basistunnel am Gotthard sowie am Ceneri, die zusammen mit dem Lötschberg-Basistunnel und weiteren Ausbauten das Jahrhundertbauwerk NEAT bilden (Bild 1, 2).

Und wenn ich den Ausblick auf die Wünsche für das Projekt Bahn 2030 wage, dann sehen wir, dass die Geschichte weiter geht: Chestenberg, Zimmerberg, Wisenberg, Brüttener, Axen, Tiefbahnhof Luzern, Umfahrung Bellinzona usw.

Mit Fug und Recht dürfen wir also vom Tunnelland Schweiz sprechen.

An einem Tunnelkongress auch noch Schweizer Pionierleistungen der Vergangenheit aufzuzählen, wäre Wasser in die Reuss getragen. Deshalb lassen Sie mich einen Blick in die Zukunft werfen:

Bauprojekte von der Grösse der Gotthard- und Ceneri-Basistunnel, einer CEVA, aber auch eines Weinbergtunnels oder des gesamten Tiefbahnhofs in Zürich müssen in eine über-

Vereina, Murgenthal, Oenzberg, Zimmerberg, Adler, Vauderens, Varens, Engelberg: these are only a few of the around 30 rail tunnels completed in Switzerland in the past 10 years. Not to even mention the showpiece Lötschberg Base Tunnel, underground achievements such as the M2 in Lausanne, and the "Skymetro", the subterranean air-cushion cableway for Zurich Airport.

And work on tunnel projects will continue in the years to come: the Zurich Cross Rail, the CEVA project in Geneva, the Rosshäusern Tunnel, for example, and, naturally, the base tunnels under the Gotthard and the Ceneri which, together with the Lötschberg Base Tunnel and yet more impressive engineering works, make up the project of the century, the NRLA (Figures 1 and 2).

And when I chance a look at the expectations for the Rail 2030 project, we will all see that the story continues: Chestenberg, Zimmerberg, Wisenberg, Brüttener, Axen, Lucerne Low Level Station, the Bellinzona avoiding line – to name only a few.

We can rightly speak of "Switzerland – a country of tunnels".

To enumerate past Swiss pioneering achievements at a tunnel congress would be equivalent to carrying coals to Newcastle. So let me, instead, cast a glance at the future:

Projects of the magnitude of the Gotthard and Ceneri base tunnels, the CEVA, and even the Weinberg Tunnel and the overall Low Level Station in Zurich, must be embedded in an

La Suisse, pays des tunnels

A pleins tubes vers l'avenir

La Suisse est un pays de maîtres bâtisseurs, surtout dans la construction des tunnels. Les tunnels construits au cours des décennies passées et les projets de tunnels des décennies à venir en témoignent. Après la percée du siècle au Tunnel de Base du Saint-Gothard, l'extension de la voie ferroviaire en Suisse tournera une habitude.

geordnete Verkehrspolitik eingebettet sein. Nur dann sind sie von Bevölkerung und Politik akzeptiert und dadurch realisier- und finanzierbar (Bild 3, 4).

Die Leitlinien der Verkehrspolitik sind seit Jahrzehnten dieselben: vom Volk immer wieder an der Urne bestätigt. Es sind Leitlinien für eine nachhaltige Mobilität.

In der Schweiz haben wir ein starkes Bekenntnis zur Verlagerungspolitik und zur Förderung des Schienenverkehrs. Das schafft eine Grundakzeptanz, auch in der Bevölkerung. Die Bevölkerung will den Güterverkehr von der Strasse auf die Schiene verlagern sowie im Personenverkehr ein qualitativ hochwertiges Angebot im öffentlichen Verkehr und hat wiederholt Milliarden-Investitionen in die Infrastruktur an der Urne gutgeheissen.

Diese Grundzüge gelten heute noch, doch die Rahmenbedingungen haben sich verändert. Die Schweiz hat das öV-Angebot in den letzten Jahren stark ausgebaut, das Netz wird stärker genutzt denn je. Doch aufgrund der ausgedehnten Betriebszeiten bleibt weniger Zeit für nächtliche Unterhaltsarbeiten, Fahrplanreserven für Baustellen sind rar, Rollmaterial wird stärker belastet: Dies sind einige Beispiele,



1 Der Lötschberg-Basistunnel, eine technische Meisterleistung in kürzester Bauzeit
The Lötschberg Base Tunnel, a technical masterpiece achieved in an ultra-short space of time
Quelle/Source: BLS

Svizzera, il paese delle gallerie

C'è sempre luce alla fine delle gallerie

La Svizzera è un paese di esperti costruttori, soprattutto nel settore delle gallerie. Le gallerie degli scorsi decenni e i progetti di gallerie per i decenni futuri ne sono una testimonianza. Dopo l'epocale abbattimento del diaframma della Galleria di Base del Gottardo, l'ampliamento ferroviario in Svizzera diventa una abitudine.

overall transport policy. Only then will they be accepted by the voters and the politicians, and thus become feasible and, indeed, financeable (Figures 3 and 4).

The guiding tenets of transport policy have remained constant for decades, and have consistently been affirmed by the Swiss people at the ballot box. Because they are guidelines for sustainable mobility.

We in Switzerland have a firm commitment to the move away from road transport and the promotion of rail. This assures fundamental acceptance, particularly among the population. The Swiss people desire the transfer of goods traffic from road to rail, and a high-quality public passenger transport system, and have repeatedly shown their approval of multi-billion infrastructural investments at the ballot box.

These basic facts remain true today, but the boundary conditions have changed. Switzerland has greatly expanded its public transport facilities in recent years, and they are now better used than ever before. But the extended operating hours leave little scope for night-time maintenance work, timetable space for worksites is scarce, rolling-stock is subjected to ever great burdens: and these are just a few exam-



2 Der Lötschberg-Basistunnel wurde 2007 eröffnet und bewährt sich im Betrieb bestens
The Lötschberg Base Tunnel was inaugurated in 2007, and is eminently proving its operational worth
Quelle/Source: BLS



3 Bereich des Nordportals des Ceneri-Basistunnels in Camorino, Kernstück des Jahrhundertbauwerks NEAT
Around the north portal of the Ceneri Base Tunnel at Camorino, the centrepiece of the NRLA project of the century
Quelle/Source: ATG



4 Der Bohrkopf ist durch! Grosser Moment im Durchschlag des Gotthard-Basistunnels am 15. Oktober 2010
The cutter head is through! The great moment at the Gotthard Base Tunnel breakthrough on October 15, 2010
Quelle/Source: ATG

die die Unterhalts- und Betriebskosten in die Höhe treiben. Zusätzlich gilt es, die Folgekosten von Ausbauten zu finanzieren. Und parallel dazu – geht es nach den Wünschen von Kunden, Bahnen und Kantonen – ist das Angebot noch weiter auszubauen. Dies alles in Zeiten, wo der Verteilungskampf um Gelder immer heftiger wird, um Budget-Wachstumsfaktoren in einzelnen Bereichen gefeilscht wird.

All diesen Aspekten muss der Staat bei der Umsetzung der Leitlinien der Verkehrspolitik Rechnung tragen. Die Finanzierung des öV-Systems muss gesichert sein. Im Bereich Bahninfrastruktur steht die Schweiz deshalb vor einer Neuregelung: Die Schweiz hat gute Erfahrungen gemacht mit dem FinöV-Fonds, dem Fonds zur Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs, aus welchem die NEAT, Bahn2000, ZEB sowie Lärmsanierungsmassnahmen und der Anschluss der Schweiz an die internationalen Hochgeschwindigkeitslinien finanziert werden. Ein Finanzierungsmodell, welches äusserst hohe Planungssicherheit brachte und international viel Beachtung erhielt.

Dieses Erfolgsmodell soll nun für die gesamte Finanzierung der Bahninfrastruktur übernommen werden. Der Bundesrat schlägt die Schaffung eines neuen Fonds vor, einen Fonds zur Bahninfrastrukturfinanzierung (BIF). Aus diesem Fonds sollen sowohl Unterhalt, Betrieb, Erneuerung, aber auch Ausbauten finanziert werden. Doch dies ist nur möglich, wenn wir auch genügend Mittel finden. Es ist kein gangbarer Weg, mit Fingern auf alle anderen zu zeigen, die einen höheren Beitrag leisten sollen. Die VCS-Initiative ist mit ihrem Vorschlag exemplarisch: Zahlen sollen die anderen! Alle werden ihren Beitrag leisten müssen: Die Bahnbenutzer über höhere Tarife, die Steuerzahler, die Kantone, die Bahnunternehmen. Diese Einsicht wird sich durchsetzen.

Als Tunnel-Fachleute wird Sie jedoch namentlich die Auswirkung auf künftige Infrastrukturausbauten interessieren. Wir haben in den vergangenen Jahren die Erfahrung gemacht,

ples of factors which drive up maintenance and operating costs. The consequential costs of expansion and upgrading must also be financed. And, in parallel – if the expectations of system users, rail operators and the cantons are to be fulfilled – the range of facilities and services must be expanded even further, and this in a time of ever more intense infighting for allocations, and of haggling over budget growth factors in certain sectors.

The Swiss state is obliged to take all these aspects into account in applying its transport policy guidelines. Financing of the public transport system must be assured. Our country is therefore embarking on an innovation in the field of rail infrastructure: Switzerland has good experience with FinöV funds, the source of financing for public transport infrastructure projects, from which the NRLA, Rail 2000, the ZEB future rail-infrastructure development programme, noise-abatement measures, and the connection of Switzerland to the international high-speed rail system, are being financed. A financing model, indeed, which has assured exceptionally high planning certainty, and enjoys much international regard.

This successful model is now to be adopted for the entire financing needs for the rail infrastructure. The Federal Council proposes the creation of a new fund, to be known as the Fund for Rail Infrastructure Financing (BIF), and to be used to finance both maintenance, operation, renewal, and also upgrading and expansion. This will only be possible if we can find adequate means, however. Simply pointing the finger at all the others who we think should make a bigger contribution is not an acceptable course. The VCS initiative, with its proposal, is typical: let someone else pay! Everyone will have to make their contribution: rail users, in the form of higher fares, the taxpayer, the cantons, and the rail operators. Simple facts which must, and will, be acknowledged.

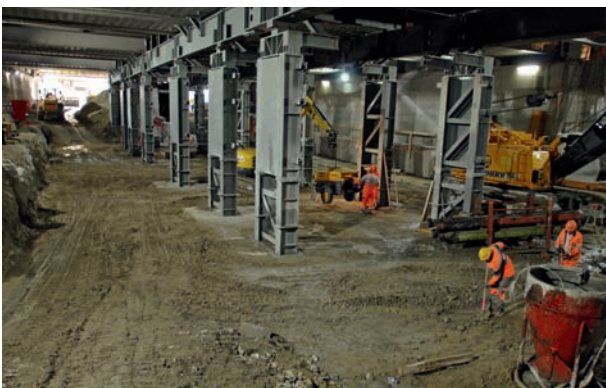
dass Sammel-Ausbauprogramme wie Bahn 2000, ZEB oder auch die NEAT inklusive Zufahrtsbauten in der Umsetzung Schwierigkeiten bergen. Da von Planungsbeginn bis zur Parlamentsberatung und allfälliger Volksabstimmung mehrere Jahre bis Jahrzehnte vergehen, sind sie oft bereits überholt, wenn sie in die Umsetzung gelangen. Zu rasch ändern sich Rahmenbedingungen und Schwerpunktsetzungen, so sind nachträgliche Korrekturbeschlüsse des Parlaments die Folge. In Zukunft planen wir deshalb den Ausbau der Bahninfrastruktur in Schritten von rund 3 bis 5 Mrd. CHF alle 4 bis 8 Jahre. Dadurch kann flexibler reagiert werden auf Änderungen im Bedarf, in der Verkehrs- oder Nachfrageentwicklung und auch auf die finanzielle Situation innerhalb des BIF. Auch der Planungsstand grosser Projekte kann besser berücksichtigt werden.

Wir erleben derzeit eine spannende Zeit. Nach dem Jahrhundertdurchstich am Gotthard machen wir den Bahnausbau zur Normalität. Mit der langfristigen Finanzierung, welche wir mit dem BIF umsetzen wollen, können wir in Zukunft kontinuierliche Ausbauschritte umsetzen. Es ist nicht mehr die Zeit von Jahrhundert-Tunnelbauwerken oder -Tiefbauwerken. Aber es bleiben komplexe Herausforderungen, wie ein Blick auf die Durchmesserlinie in Zürich zeigt (Bild 5, 6): Dem Weinbergtunnel geht es ein bisschen wie dem kleinen Bruder, der im Schatten des grossen Bruders steht: Ohne Gotthard-Basistunnel wäre der Weinbergtunnel die derzeit spektakulärste und eindrucklichste Tunnelbaustelle der Schweiz. Die Komplexität des Baus mitten unter der Limmat durch, mitten durchs Stadtgebiet wie auch der hohe Nutzen für das gesamte Bahnsystem der Schweiz stehen dem grossen Bruder in nichts nach. Und wie eingangs erwähnt: Die Wünsche nach neuen Tunnelbauten in der Schweiz bleiben uneingeschränkt hoch.

Richtige Grösse liegt darin, dass bei uns komplexe Tunnelbauten fast an der Tagesordnung sind. Insofern wird die

The implications for future infrastructural projects will, of course, interest you, as tunnellers, most particularly: in recent years, we have learned that “packaged” expansion programmes, such as Rail 2000, ZEB, and even the NRLA, and also their approach lines, harbour implementation difficulties: several years – or even decades – can pass from the start of planning up to discussion in parliament and a possible referendum, and then the plans are often virtually obsolete when implementation starts. Boundary conditions and emphases can change too quickly, and supplementary, “corrective”, parliamentary resolutions are the consequence. For this reason, we are now planning expansion of Switzerland’s rail infrastructure in increments of around 3 to 5 billion CHF every 4 to 8 years. This will make it possible to react more flexibly to changing needs, to new transport developments, to changing trends in demand, and to the financial situation within the BIF. It will also be possible to take better account of the planning status of major projects.

We are living in exciting times. With the breakthrough of the century in the Gotthard, rail expansion has effectively become the rule, rather than the exception. The long-term financing which we intend to achieve via the BIF will in future enable us to implement continuous expansion steps. The time for tunnels and other underground works “of the century” is coming to an end. But complex challenges still remain, as a glance at Zurich Cross Rail will show (Figures 5 and 6); the Weinberg Tunnel, for instance, can be well compared to a young boy, standing in the shadow of his older brother – but we should never forget that, were it not for the Gotthard Base Tunnel, the Weinberg Tunnel would, in fact, be Switzerland’s most spectacular and imposing tunnel project. The complexity of its construction right under the Limmat, through the city, and the great benefits for the whole of our country’s rail system, are just as significant as those of its “big brother”. And, as I mentioned initially: calls for new tunnels in Switzerland remain unchangingly vociferous.



5 Eine der komplexesten Tiefbaustellen der Schweiz: Arbeiten im Sihlbett/Arbeiten über dem neuen Durchgangsbahnhof Löwenstrasse für die Zürcher Durchmesserlinie
One of Switzerland’s most complex underground worksites: work at Sihlbett/work on the new Löwenstrasse through station for Zurich Cross Rail
Quelle/Source: SBB



6 Die Arbeiten gehen voran: Der Weinbergtunnel als wichtiges Teilstück der DML in Zürich
Work continues: the Weinberg Tunnel, an important element in Zurich Cross Rail
Quelle/Source: SBB

Schweiz für ihr Bahnsystem auch in Zukunft komplexe Tunnel- oder Tiefbau-Ausbauten realisieren. Angesichts der finanziellen Möglichkeiten werden sie über Jahre gestaffelt zu realisieren sein und nur dann, wenn deren Dringlichkeit erwiesen ist.

So sind dies zwar nicht die grossen Tunnelbauvisionen für die Zukunft: Aber es ist ein nachhaltiges, vernünftiges Vorgehen. Kopf statt Bauch, Realität statt Träume, Finanzierung vor Ausbau. Dafür gibt es auch kein böses Erwachen. Der Schweiz, der Bevölkerung, Ihnen und Ihren Nachkommen zuliebe.

The fact that complex tunnel projects are virtually a part of our everyday life is a sign of true greatness. Switzerland will therefore continue in the future to build complex tunnel and underground infrastructural elements for her rail system. In view of the available financial potentials, they will be implemented in stages spread across years, and only provided their urgent necessity can be demonstrated.

These, of course, are not grand tunnel-building visions for the future – but they do mark out a rational and sustainable course. Intellect, rather than instinct, reality over dreams, financing before expansion. But then there will be no rude awakening. Neither for Switzerland, nor for her population, nor for you and your children.

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

Gotthard 2016

Alle Signale auf Grün?

Die Bauarbeiten für die NEAT Achse Gotthard sind auf Kurs. Beim Gotthard-Basistunnel steht im Frühjahr 2011 der zweite Hauptdurchschlag in der Weströhre und somit das Ende des Vortriebs an. Im Abschnitt Bodio-West hat der Einbau der bahntechnischen Installationen begonnen. Der voraussichtliche Inbetriebsetzungstermin des Gotthard-Basistunnels wird für Ende 2016 erwartet. Am Ceneri-Basistunnel läuft an allen 3 Baustellen der Hauptvortrieb. Anfang 2011 waren bereits 27 % des Tunnelsystems ausgebrochen.

Gotthard 2016

All signals on green?

Construction work on the NRLA Gotthard route is on schedule. The second main breakthrough, in the west bore, and thus the completion of tunnelling on the Gotthard Base Tunnel, is planned for the spring of 2011. Installation of rail equipment has already started in the Bodio West section, and commissioning of the Gotthard Base Tunnel system as a whole is anticipated in late 2016. Driving of the main tunnel continues at all three sites in the Ceneri Base Tunnel; no less than 27 % of this tunnel system had been excavated by the start of 2011.

1 Einleitung

Das Projektjahr 2010 war mit dem Hauptdurchschlag am Gotthard-Basistunnel ein herausragendes für die AlpTransit Gotthard AG als Bauherr der NEAT Achse Gotthard. Auch für die Ingenieurs- und Untertagebaubranche kann von einem einmaligen Jahr gesprochen werden, das über die Zunft, aber auch über die Landesgrenzen hinausstrahlte. Die Beteiligten können sich jedoch nicht auf den Lorbeeren ausruhen, sondern haben sich neuen Herausforderungen zu stellen.

Eine davon ist die Terminoptimierung, die aufgrund der erfreulichen Projektentwicklung des Gotthard-Basistunnels zur Diskussion steht. Dieses Thema wird im Folgenden nach der Übersicht über den Stand der Arbeiten auf der Gotthard-Achse erläutert.

2 Stand der Arbeiten auf der Gotthard-Achse (Anfang 2011)

2.1 Gotthard-Basistunnel

Nach dem Hauptdurchschlag in der Oströhre zwischen Faido und Sedrun am 15. Oktober 2010 und mit dem Beginn des Bahntechnikneubaus begibt sich das Bauprojekt Gotthard-Basistunnel in eine neue Phase. Einmalig laufen für einige Monate die Arbeiten von Rohbau, Rohbau-Ausrüstung und

1 Introduction

The 2010 project year was an outstanding one for AlpTransit Gotthard AG, the client for the NRLA Gotthard route, the highpoint being the main breakthrough in the Gotthard Base Tunnel. The engineering and underground-construction sectors can also speak of a unique year, one which resounded not only beyond the profession, but also beyond national boundaries. Those involved cannot afford to rest on their laurels, however, but must instead face up to even more challenges.

One of these will be the schedule optimisation now under discussion as a result of the extremely pleasing progress on the Gotthard Base Tunnel project. This subject is examined below, following an overview of the status of work on the overall Gotthard route.

2 Status of work on the Gotthard route (early 2011)

2.1 The Gotthard Base Tunnel

The Gotthard Base Tunnel project entered a new phase with the main breakthrough in the east bore between Faido and Sedrun on October 15, 2010 and the start of installation of rail equipment. For a number of months, work on shell com-

Le Saint-Gothard en 2016

Tous les feux au vert ?

Les travaux de l'axe du Saint-Gothard pour la NLFA maintiennent le cap. En ce qui concerne le tunnel de base du Saint-Gothard, le deuxième percement dans le tube ouest aura lieu au printemps 2011 et donc, la fin de l'excavation. Dans le tronçon Bodio ouest, la pose des installations ferroviaires a commencé. La date probable de la mise en service du tunnel de base du Saint-Gothard est attendue pour la fin 2016. En ce qui concerne le tunnel de base du Ceneri, le creusage principal est en cours sur les trois chantiers. Début 2011, 27 % du système du tunnel étaient déjà excavés.

Gottardo 2016

Scatta il verde?

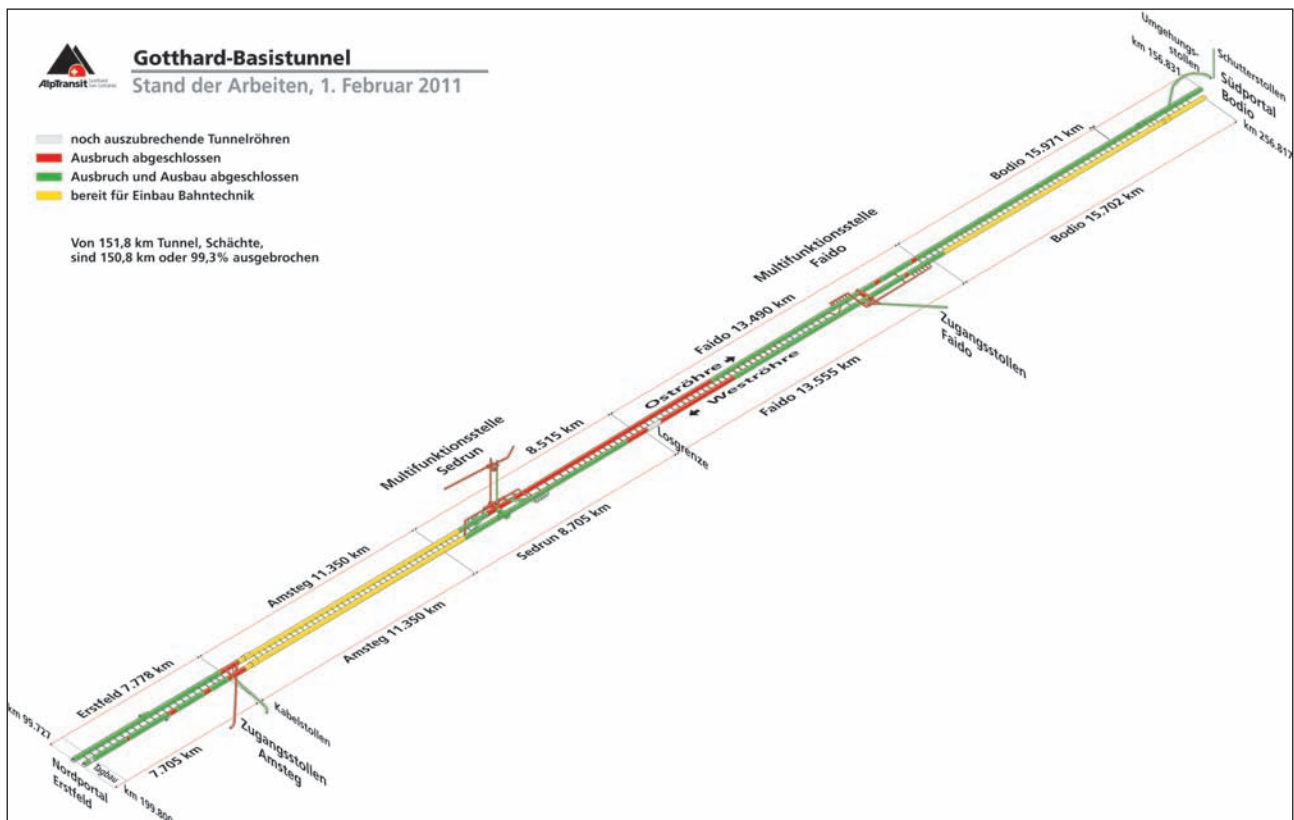
I lavori per l'asse NFTA del Gottardo sono in tabella di marcia. Per la galleria di base del Gottardo nella primavera del 2011 è prevista la caduta del secondo diaframma principale nel tubo ovest e quindi la fine dell'avanzamento. Sulla tratta Bodio est è iniziato il montaggio delle installazioni tecniche ferroviarie. La messa in funzione della galleria di base del Gottardo è attesa per la fine del 2016. Nella galleria di base del Ceneri è in corso l'avanzamento principale in tutti e 3 i cantieri. Ad inizio 2011 era già stato scavato il 27 % del sistema di gallerie.

Bahntechnik parallel. Mit dem zweiten Hauptdurchschlag in der Weströhre, der für März 2011 vorgesehen ist, und dem Abschluss des Innenausbaus zeichnet sich das Ende des Rohbaus ab.

Anfang 2011 waren mehr als 99 % vom insgesamt 151.8 km langen Tunnelsystem des Gotthard-Basistunnels ausgebrochen. Nur noch 1048 m verblieben in der Weströhre zwischen Faido und Sedrun. Die Vortriebsleistung im Jahr 2010 betrug rund 8.7 km (Bild 1).

pletion, tunnel fitting-out and rail installations will, uniquely, run in parallel. The completion of the tunnel shell is imminent, with the second main breakthrough, in the west bore, planned for March, 2011, and the completion of fitting-out.

More than 99 % of the total of 151.8 km of the overall Gotthard Base Tunnel system had been excavated by early 2011, leaving only 1048 m in the west bore, between Faido and Sedrun. Around 8.7 km of new tunnel were created during 2010 (Figure 1).



1 Übersicht Gotthard-Basistunnel
Overview of the Gotthard Base Tunnel



2 Tagbautunnel West mit Rezirkulationsschacht im Sommer 2010
The west cut-and-cover tunnel, showing the recirculation shaft, in the summer of 2010



3 Ausbrucharbeiten am Verzweigungsbauwerk in der Weströhre Erstfeld
Excavation work on the branch structure in the west bore at Erstfeld

2.1.1 Offene Strecke Altdorf – Rynächt

Entlang der offenen Zufahrtsstrecke zum Gotthard-Basistunnel entstehen verschiedene Kunstbauten wie Unterführungen, Brücken, Durchlässe oder Stützmauern. Diese Arbeiten werden laufend weitergeführt.

Parallel dazu haben die Vorbereitungen für den Bahntechnik-Einbau im Norden des Gotthard-Basistunnels begonnen. Damit die effektiven Einbauarbeiten im Juli 2011 aufgenommen werden können, wird in der Nähe des Nordportals das Bahntechnikgebäude Erstfeld erstellt. Dieses wird für die Installationsarbeiten genutzt und erlaubt beim späteren Betrieb des Gotthard-Basistunnels die Unterbringung verschiedener Bahntechnikinstallationen. Im Oktober 2010 konnte der Rohbau der Gebäudehülle abgeschlossen werden. Ebenfalls entsteht entlang der offenen Strecke der Bahntechnikinstallationsplatz Rynächt. Analog zum Bahntechnikinstallationsplatz Süd in Biasca wird hier die logistische Basis für den Bahntechnik-Einbau errichtet: Auf dem ca. 70'000 m² grossen Areal entstehen bis Herbst 2011 Werkstätten und -hallen, Unterkünfte, Bürogebäude und Besucherräume.

2.1.2 Teilabschnitt Erstfeld

Am Tagbautunnel Erstfeld kamen die Arbeiten planmässig voran. Bis Ende 2010 konnte der östliche Tagbautunnel ans bergmännische Portal angeschlossen werden. Beim Tagbautunnel West fehlten noch 188 m (Bild 2).

Am 22. September 2010 erfolgte die letzte Sprengung für die Verzweigungsbauwerke West und Ost im Teilabschnitt Erstfeld. Diese Anschlussbauwerke würden für eine zukünftige Fortsetzung Uri Berg lang–Axen benötigt. Nach 11 Jahren sind damit die Ausbruch- und Vortriebsarbeiten für den Gotthard-Basistunnel im Kanton Uri beendet. Parallel wurden die Innenausbauarbeiten im Teilabschnitt Erstfeld vorangetrieben. Bis Ende 2010 verblieben in den beiden Röhren vor allem noch Gewölbeausbauten auszuführen (ca. 550 m in der Oströhre und 2.6 km in der Weströhre) (Bild 3).

2.1.1 The Altdorf-to-Rynächt surface line

Various engineering works, such as underpasses, bridges, passages and retaining walls, are under creation along the surface approach line to the Gotthard Base Tunnel. This work is progressing continuously.

In parallel, preparations for installation of rail equipment in the northern section of the Gotthard Base Tunnel have also started. The Erstfeld rail-equipment centre is under construction near the north portal, in order that actual installation work can be commenced in July, 2011. This building is to be used for installation work, and will house various rail equipment systems during subsequent operation of the Gotthard Base Tunnel. The basic building shell was completed in October, 2010. Also under construction on the surface line is the Rynächt rail-equipment work yard. The logistical basis for installation of rail equipment is being set up here, analogously to the southern rail-equipment work yard in Biasca: workshops, accommodation and office buildings, and also visitors' rooms, are taking shape on this approximately 70,000 m² site, and are due for completion by the autumn of 2011.

2.1.2 Erstfeld sub-sector

Work has progressed according to plan on the Erstfeld cut-and-cover tunnel; its eastern counterpart was connected to the underground tunnelled portal in late 2010. Some 188 m remain to be completed in the western cut-and-cover tunnel (Figure 2).

The final blasting operation for the east and west branch tunnels in the Erstfeld sub-sector took place on September 22, 2010. These connecting structures will be needed in case of a future extension along the Uri Berg to Axen. The excavation and tunnelling work on the Gotthard Base Tunnel in the Canton of Uri has thus been completed, after 11 years. Fitting-out work in the Erstfeld sub-sector is continuing apace in parallel. At the end of 2010, roof installations, in particular, remained to be carried out in the 2 bores (around 550 m in the east bore, and 2.6 km in the west bore – see Figure 3).

2.1.3 Teilabschnitt Amsteg

Der Abschnitt ist im Rohbau in beiden Röhren fertiggestellt und bereit für den Einbau der Bahntechnik. Ab Mitte 2010 begann der Generalunternehmer Bahntechnik im Rahmen erster Vorbereitungsarbeiten für die Installationsphase, Funk und Festnetz einzubauen.

2.1.4 Teilabschnitt Sedrun

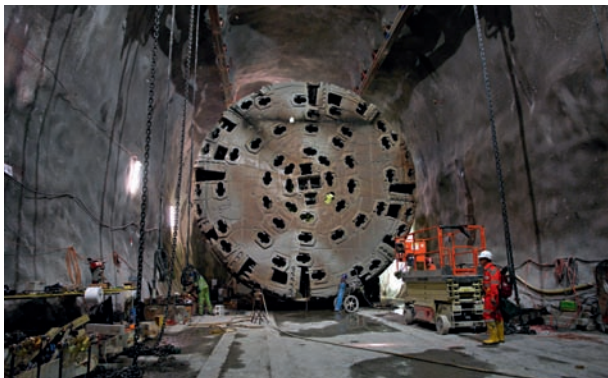
Die Sprengvortriebe Richtung Süden bewegten sich 2010 in der geologisch günstigen Formation der Streifengneise sowie in der Piz-Fuorcla-Zone, die durch wechselhafte geologische Verhältnisse gekennzeichnet ist. Teilweise waren zusätzliche Sicherungsmittel wie Stahlbögen, Zusatzanker und Spiesse notwendig. Mit fortschreitendem Vortrieb erhöhte sich die Gebirgsüberdeckung von 2300 auf 2500 m.

Am 15. Oktober 2010 erfolgte um 14.17 Uhr in der Oströhre zwischen Sedrun und Faido der Hauptdurchschlag. Mit einer Abweichung von 8 cm quer und 1 cm in der Höhe war der Durchschlagsfehler sehr gering. In der Folge wurde die Tunnelbohrmaschine in der eigens dafür errichteten Kaverne demontiert und in Einzelteilen aus dem Tunnel befördert. Bis Ende 2010 wurde die Sohle zwischen den Teilabschnitten Sedrun und Faido geschlossen (Bild 4).

In der parallel verlaufenden Weströhre wurde bis Mitte November 2010 der Punkt erreicht, an dem voraussichtlich im März 2011 der zweite Hauptdurchschlag und somit letzte Durchschlag im Gotthard-Basistunnel erfolgen wird. Auch die Weströhre des Gotthard-Basistunnels wird dann vollständig ausgebrochen sein.

Nebst den Vortrieben wurde der Innenausbau der Multifunktionsstelle vorangetrieben. Im Dezember 2010 begann zudem in der Oströhre Richtung Süden der Gewölbeeinbau, in der Weströhre Richtung Süden wurde dieser bis Ende 2010 zu 80 % fertiggestellt.

Da die Gemeinde Tujetsch im Gebiet der Deponie Claus Surrein künftig einen Badesee realisieren wird, wurden Ende 2010 erste Schüttungsarbeiten des Profils ausgeführt.



4 Demontage der Tunnelbohrmaschine in der Kaverne in Sedrun
Dismantling of the tunnel-boring machine in the cavern at Sedrun

2.1.3 Amsteg sub-sector

The shells of both bores for this section have been completed, and are ready for installation of rail equipment. From mid-2010 onward, the prime rail-equipment contractor started installation of radio and landline communications systems, as initial preparatory work for the installation phase.

2.1.4 Sedrun sub-sector

Drilling-and-blasting (D&B) tunnelling toward the south traversed the geologically favourable Streifengneis formation and the Piz Fuorcla zone, characterised by variable geological conditions, during 2010. Extra support systems, including steel arches, additional rock-bolts and spikes, were necessary in some cases. The rock overburden increased from 2300 to 2500 m as tunnelling progressed.

The main breakthrough in the east bore took place between Sedrun and Faido at 14:17 h on October 15, 2010. Deviation at the breakthrough was extremely slight – only 8 cm in the horizontal and 1 cm in the vertical. The tunnel-boring machine was then dismantled in the cavern created specially for this purpose, and removed in its individual parts from the tunnel. The tunnel floor between the Sedrun and Faido sub-sectors was completed by the end of 2010 (Figure 4).

In the parallel west bore, the point at which the second main breakthrough, and thus the concluding breakthrough for the Gotthard Base Tunnel, will take place – probably in March, 2011 – had been reached by mid-November, 2010. This west bore of the Gotthard Base Tunnel will then also have been completely excavated.

In addition to the tunnelling operations, internal fitting-out of the combined technical and rescue station also continued at full speed. Roof installation in the east bore also started, heading south, in December, 2010; in the west bore, this work had been 80 % completed by the end of 2010, also progressing toward the south.

Initial in-filling for the profile for the recreational lake and swimming facility planned by the town of Tujetsch close to the Claus Surrein landfill was started in late 2010.

2.1.5 Faido sub-sector

Tunnelling using tunnel-boring machines (TBMs) continued in the 2 single-track bores of the Faido sub-sector during 2010. Large portions of the fitting-out work at the combined technical and rescue station and at the north and south crossover points have been completed (Figure 5).

The tunnel-boring machine in the west bore encountered a fault zone on March 3, 2010, and a cave-in made it necessary to suspend tunnelling operations. The provisions implemented stabilised the cavity, and the cutter head was freed again by means of counter-tunnelling for a length of 85 m. Tunnelling restarted on July 24, 2010, and passage through

2.1.5 Teilabschnitt Faido

In beiden Einspurröhren des Teilabschnitts Faido wurde der Vortrieb im Jahr 2010 mit den Tunnelbohrmaschinen (TBM) weitergeführt. Grosse Teile der Innenausbauarbeiten in der Multifunktionsstelle und in den Tunnelwechsellinien Nord und Süd konnten abgeschlossen werden (Bild 5).

Am 3. März 2010 fuhr die Tunnelbohrmaschine in der Weströhre in eine Störzone. Wegen eines Niederbruchs musste der Vortrieb unterbrochen werden. Durch Stabilisierungsmassnahmen wurde der Hohlraum verfestigt und der Bohrkopf mit einem Gegenvortrieb von 85 m Länge wieder freigelegt. Am 24. Juli 2010 wurde der Vortrieb wieder aufgenommen und die Störzone konnte bis 28. Juli 2010 vollständig durchfahren werden. Danach ging der Vortrieb wie geplant weiter.

In der Oströhre wurden im August gute Vortriebsleistungen von bis zu 27.9 m pro Arbeitstag erreicht. Am 15. Oktober 2010 wurden die letzten Meter in Richtung Sedrun aufgeföhren: Der Hauptdurchschlag am Gotthard war realisiert.

2.1.6 Teilabschnitt Bodio

Im Mai 2010 begann im 16 km langen Teilabschnitt Bodio West der Einbau der Bahntechnik. Dieser Teilabschnitt wird als erster komplett mit bahntechnischen Installationen ausgerüstet. Zuerst brachte der Generalunternehmer Bahntechnik temporäre Installationen wie Baustrom, Baukommunikation und Beleuchtung in den Tunnel ein. Dann wurden Lichtwellenleiterkabel und Mittelspannungskabel eingezogen und das strahlende Kabel für die Baukommunikation verlegt. Im Oktober 2010 begann der Einbau der festen Fahrbahn. Dabei kam erstmals der Betonzug im Tunnel zum Einsatz. Bis Januar 2011 waren 7.2 km feste Fahrbahn verlegt.

In der Oströhre des Teilabschnitts sind die Arbeiten bis 2012 unterbrochen, da die Röhre vom Rohbau-Konsortium als Transportweg für die Ver- und Entsorgung im Teilabschnitt



5 Faido Spurwechsel Nord: Nische zum Einbau eines Spurwechsellinien
The Faido North crossover point; alcove for installation of a crossover door

this fault zone was completed without further incident on July 28, 2010. Tunnelling then continued as planned.

Good rates of advance, of up to 27.9 m per working day, were achieved in the east bore in August. The final metre toward Sedrun was excavated on October 15, 2010, and the main breakthrough for the Gotthard Base Tunnel completed.

2.1.6 Bodio sub-sector

The installation of rail equipment in the 16 km long Bodio West sub-sector started in May, 2010. This sub-sector will be the first to be equipped with the complete rail installations. The prime rail-equipment contractor firstly installed temporary facilities, such as site power, site communications and lighting, in the tunnel. Fibre-optics cables and medium-voltage power cables were then laid, and the luminescent cable for site communications installed. Installation of the ballastless track started in October 2010, involving the first deployment of the concrete train in the tunnel. Some 7.2 km of this track had been completed by January, 2011.



6 Als erste bahntechnische Installationen werden Kabel in die seitlichen Bankette eingebracht
The cables – the first rail-equipment – are installed in the side bench



7 Fahrbahneinbau im Abschnitt Bodio West: Präzise ausgerichtete Schwellen und Geleise vor der Betonage
Installation of track in the Bodio West section; precisely aligned sleepers and rails prior to concreting

Faido benutzt wird. Am Bahntechnikgebäude Bodio wurden die Innenausbauarbeiten ausgeführt (Bild 6, 7).

2.1.7 Teilabschnitt Gotthard-Süd/Biasca

Die Aufbauarbeiten auf dem Bahntechnik-Installationsplatz Biasca wurden weitergeführt und bis Ende April 2010 konnte die Betriebsbereitschaft des Installationsplatzes hergestellt werden. Auf einer 220 m langen Musterstrecke wurde ab Juli 2010 auf dem Installationsplatz der Einbau der festen Fahrbahn geübt und optimiert. Dieser erfolgt mit dem Betonzug, einer Betonproduktionsanlage auf Schienen (Bild 8).

2.2 Ceneri-Basistunnel (Ende 2010)

Am Ceneri-Basistunnel liefen im Jahr 2010 an allen 3 Vortriebsbaustellen Vigana, Sigirino und Vezia die Arbeiten. Ende 2010 waren 10.8 km von den insgesamt 39.78 km im Sprengvortrieb aufgeföhren. Damit waren bereits rund 27 % ausgebrochen (Bild 9).

2.2.1 Camorino

Nördlich des Ceneri-Nordportals wurden die Arbeiten an verschiedenen Teilprojekten und Kunstbauten weitergeführt: Die neue SBB-Brücke über die Morobbia wurde im Oktober 2010 im Rohbau fertiggestellt. Für die neue Eisenbahnbrücke über die A2 wurden bis Ende 2010 die Pfeiler realisiert. Für die Unterföhierung der Kantonsstrasse konnten die Aushubarbeiten im zentralen Teil fast abgeschlossen werden. Im April 2010 begannen nördlich der Kantonsstrasse die Hauptarbeiten mit dem Abbruch von bestehenden und provisorischen Bauwerken. Am 16. Dezember 2010 wurde der Werkvertrag für das rund 1 km lange Viadukt Lugano – Bellinzona unterzeichnet, ein zentrales Bauwerk des Nodo di Camorino.

2.2.2 Vigana

Beim Ceneri-Nordportal Vigana musste der Vortrieb in Richtung Süden wegen der geringen vertikalen Distanz zur Autobahn A2 und zur SBB-Linie und wegen des lockeren Baugrunds mit besonderer Vorsicht ausgeführt werden. Im Mai 2010 konnte der Vortrieb für das eingleisige Portal der Neubaustrecke Lugano-Bellinzona beendet werden und die Ausbrucharbeiten wurden in der Kaverne West fortgesetzt. Beim zweigleisigen Portal (Neubaustrecke Bellinzona – Lugano und Verbindungsschlaufe Lugano – Locarno) erreichte der Kalottenvortrieb bis Ende Jahr 105 m, von der Strosse waren 56 m ausgebrochen. Damit war auch hier der Vortrieb im Einflussbereich der A2 erfolgreich abgeschlossen (Bild 10).

2.2.3 Sigirino

Nach den Aussenanlagen übernahm der Hauptunternehmer am 4. Januar 2010 auch die Untertagbaustellen und begann im März 2010 mit dem Sprengvortrieb. Dieser erfolgt in den beiden Einspurröhren Ost und West nach Norden und nach Süden. In den Sommermonaten wurden Förderbänder der Einspurröhren, die Betonanlage in der Caverna operativa sowie Lüftungsinstallationen erstellt. Seit September 2010 läuft der Sprengvortrieb an allen 4 Angriffsstellen.



8 Der Betonzug im Einsatz im Tunnel, im Vordergrund der Kieswagen
The concreting train in use in the tunnel, showing the aggregate car in the foreground

Work in the east bore of this sub-sector has been suspended until 2012, since this bore section is being used by the tunnelling consortium as a route for deliveries to and from the Faido sub-sector. Fitting-out work has been completed at the rail-equipment centre at Bodio (Figures 6 and 7).

2.1.7 Gotthard South/Biasca sub-sector

Assembly work at the Biasca rail-equipment work yard continued, this facility achieving operational status by late April, 2010. Installation of the ballastless track was practised and optimised, from July, 2010 onward, on a 220 m length of trial track at the work yard. This work was performed using the concrete train, a concrete-making facility on rails (Figure 8).

2.2 The Ceneri Base Tunnel (late 2010)

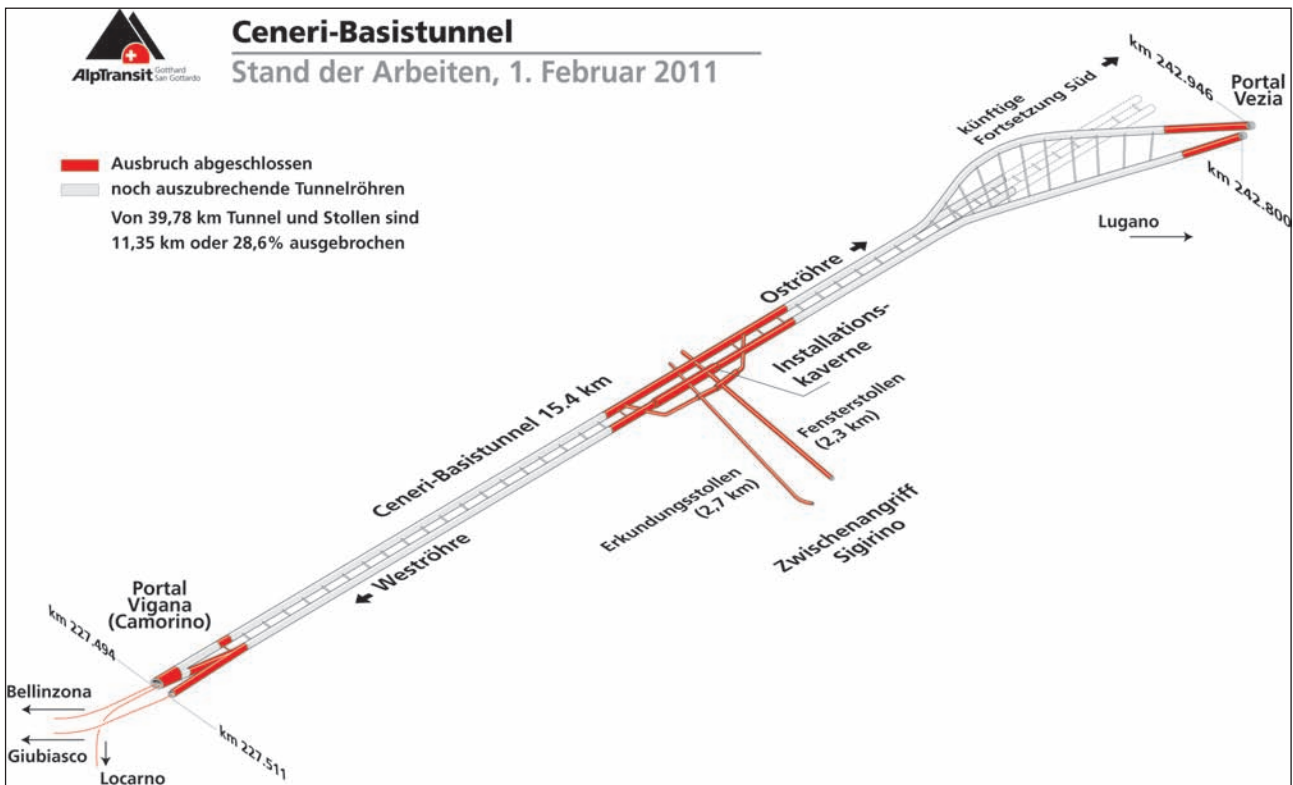
Work progressed at all 3 tunnelling sites on the Ceneri Base Tunnel (Vigana, Sigirino and Vezia) during 2010. By the end of the year, 10.8 km of the total of 39.78 km had been completed, using drilling and blasting methods. Around 27 % of the total excavation work had thus been accomplished (Figure 9).

2.2.1 Camorino

Work on various sub-projects and engineering works continued to the north of the northern Ceneri portal. The basic structure of the new SBB bridge over the Morobbia was completed in October, 2010. By the end of the year, the piers for the new rail bridge over the A2 were in place. The excavation work for the central section of the regional highway underpass was also almost complete. The main work to the north of the regional highway started in April, 2010, with the demolition of the existing temporary structures. The service contract for the around 1 km long Lugano-to-Bellinzona viaduct, a central engineering work for the Nodo di Camorino, was signed on December 16, 2010.

2.2.2 Vigana

Particular care was required in tunnelling southward from the north Ceneri portal at Vigana, due to the vertical proximity



9 Übersicht Ceneri
Overview of the Ceneri project

Zur logistischen Versorgung der Vortriebsbereiche wurden Hängebühnen montiert. Das Ausbruchmaterial wird mit Förderbändern aus dem Tunnel auf die Materialdeponie Sigrino abtransportiert (Bild 11).

2.2.4 Vezia

Seit Anfang 2010 war der Aushub der Baugrube bei der Villa Negroni beendet. Am 12. April 2010 begann beim künftigen Südportal des Ceneri-Basistunnels mit einer ersten Sprengung der bergmännische Gegenvortrieb Richtung Norden. Die Kreuzungsstelle mit dem Strassentunnel Vedeggio – Cassarate wurde im Juli 2010 vorzeitig erreicht. Bis Ende 2010 war der Vortrieb bereits ausserhalb des Einflussbereichs



10 Portal Vigana: Strossabbau in der Kaverne Ost
The Vigana portal; excavation of the bench in the East Cavern

of the A2 motorway and the SBB rail line, and the non-cohesive ground. Tunnelling for the single-track portal of the new Lugano-to-Bellinzona line was completed in May, 2010, after which excavation work continued in the west cavern. Roof-heading for the double-track portal (new Bellinzona-to-Lugano line and the Lugano-to-Locarno link-line) had reached 105 m by the end of the year, while 56 m of bench had been excavated. Tunnelling in the A2 "sensitivity zone" had thus also been successfully completed here (Figure 10).

2.2.3 Sigrino

After completion of the surface facilities, the prime contractor also took over the underground sites on January 4, 2010, and commenced D&B tunnelling in March, 2010. These operations are progressing, to the north and south, in the 2 east and west single-track bores. Belt conveyors in these bores, the concrete facility in the "caverna operativa", and ventilation systems, were installed during the summer months. D&B tunnelling has been in progress at all 4 faces since September, 2010. Suspended platforms have been installed for logistical supply of the tunnelling operations. The excavated material is removed from the tunnel to the Sigrino landfill on belt conveyors (Figure 11).

2.2.4 Vezia

Excavation of the trench near the Villa Negroni was completed in early 2010. Underground tunnelling in the opposite direction (toward the north) started with initial drilling and blasting at the future south portal of the Ceneri Base



11 *Ankern in der Weströhre Nord Sigrino
Rock-bolting in the northern west bore, near Sigrino*

dieser Kreuzungsstelle. Die Bauarbeiten für die südlich anschließende offene Strecke bis zum Massagnetunnel umfassen verschiedene Teilprojekte. Die Arbeiten wurden eng mit der SBB koordiniert und befinden sich auf Kurs (Bild 12).

3 Voraussichtliche Inbetriebnahme GBT 2016

Das Meilensteincontrolling ist Teil der Projektüberwachung der NEAT auf Behördenebene. Die AlpTransit Gotthard AG rapportiert darin halbjährlich unter vielen anderen Kennzahlen jeweils auch über den mutmasslichen Zeitpunkt der Inbetriebnahme der beiden Basistunnel am Gotthard und am Ceneri. Unter „Meilenstein 8“ wird am Gotthard-Basistunnel jeweils der „Beginn kommerzieller fahrplanmässiger Betrieb“ prognostiziert. In der Phase des Vorprojektes war eine Inbetriebnahme 2007 vorgesehen. Über die Jahre hinweg hat sich dieser Meilenstein in der Tendenz stetig zeitlich nach hinten verschoben. In der Planungsphase waren es vor allem Verfahren, die länger als geplant gedauert haben. Dazu gehörten auch Einigungsverhandlungen mit betroffenen Bevölkerungsgruppen (Bild 13).

Im zweiten Halbjahr 2001, als die Arbeiten an den Hauptlosen begannen, wurden die Soll-Termine auf eine neue Basis gestellt. Die kommerzielle Inbetriebsetzung war damals per

Tunnel on April 12, 2010. The point of intersection with the Veduggio-to-Cassarate road tunnel was reached, ahead of schedule, in July 2010, and tunnelling had progressed beyond the “sensitivity zone” of this intersection by the end of the year. The engineering work on the surface section up to the Massagno Tunnel connecting to the south comprises a number of sub-projects; work here has been closely co-ordinated with the SBB, and is on schedule (Figure 12).

3 Planned commissioning of the GBT in 2016

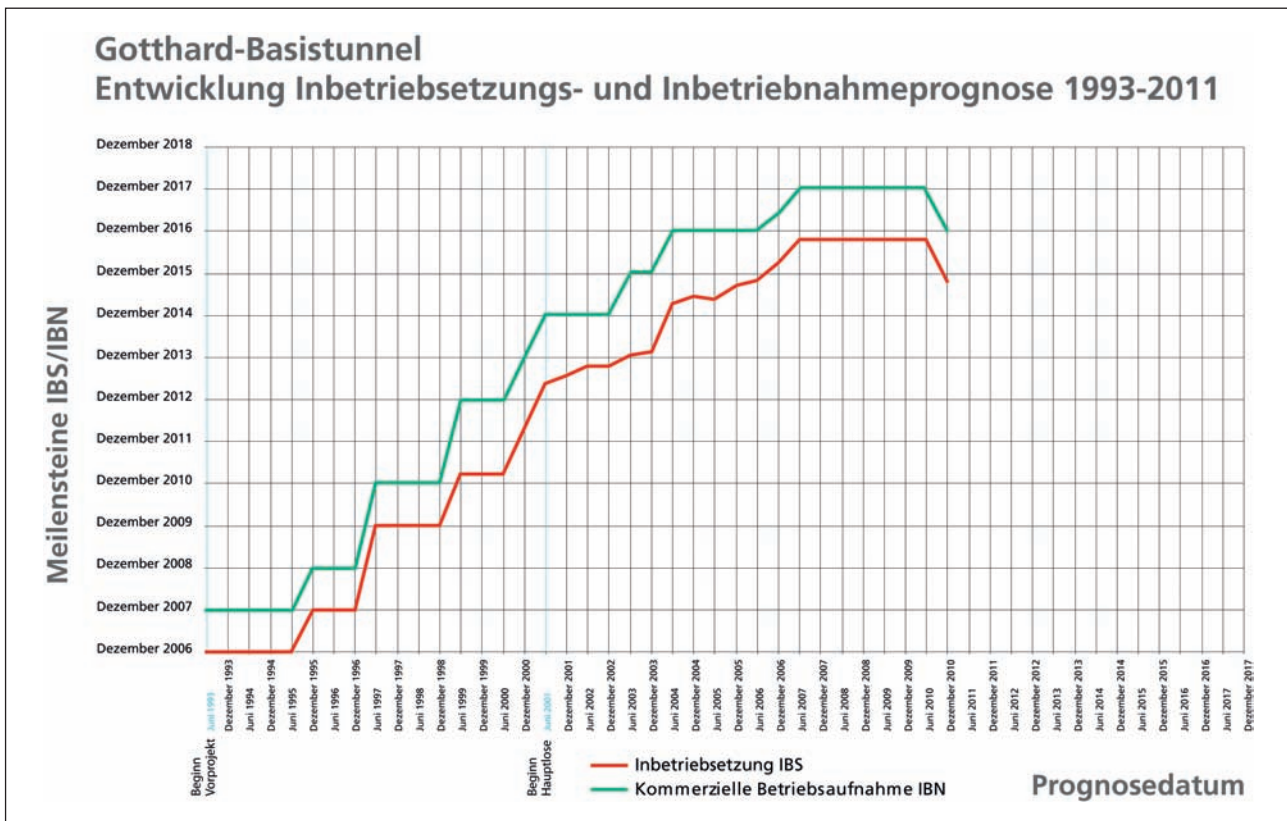
Milestone monitoring is part of NRLA project supervision at official level. AlpTransit Gotthard AG also reports in this context on the probable time of commissioning of the 2 (Gotthard and Ceneri) base tunnels, among many other indicators. “Start of scheduled revenue-earning operation” for the Gotthard Base Tunnel is forecast under “Milestone 8”. Commissioning in 2007 was originally envisaged during the pre-project planning phase; this milestone has tended over the years to recede into the future, primarily due, during the planning phase, to procedures which consumed more time than envisaged. These included negotiations with groups of affected residents (Figure 13).

Target deadlines were then put on a new basis in the second half of 2001, when the work on the main lots began. The start of revenue-earning operation was then scheduled for 2014; delays have occurred since this time primarily as a consequence of civil-engineering realities, which have diverged, drastically in some cases, from the forecast. The most recent adjustment of this reporting took place between mid-2006 and mid-2007, at which time commercial inauguration, in 2 stages, was postponed from late 2016 to early 2017. The principal reasons for this can be summarised as follows:

- engineering difficulties in the southern sector, particularly at the Faido combined technical and rescue station,
- deadlocked start of work on the Erstfeld lot, due to repeated appeals,
- deadlocked signature of the service contract for the prime contractor’s rail-equipment lot, as the result of an appeal.



12 *Portalbereich Vezia
The Vezia portal ensemble*



13 Entwicklung Inbetriebsetzungstermine 1993 bis 2011
Commissioning date forecasts, 1993 to 2011

2014 vorgesehen. Seither gab es vor allem Verschiebungen aufgrund der bautechnischen Realitäten, die teilweise massiv von der Prognose abwichen. Die letzte Anpassung erfolgte in der Berichterstattung von Mitte 2006 bis Mitte 2007. Darnach wurde die kommerzielle Inbetriebsetzung in 2 Schritten von Ende 2016 auf Ende 2017 verschoben. Die Hauptgründe dafür können wie folgt zusammengefasst werden:

- bautechnische Schwierigkeiten im südlichen Bereich, insbesondere bei der Multifunktionsstelle Faido,
- blockierte Arbeitsaufnahme im Los Erstfeld wegen wiederholter Rekurse,
- blockierte Werkvertragsunterzeichnung beim Generalunternehmer-Los Bahntechnik infolge Rekurs.

Seitdem blieb die Prognose stabil, obwohl die Fortschritte sowohl beim Bau als auch bei den Verfahren mehrheitlich optimistisch stimmen liessen. Dies hat sich in diversen Etappenerfolgen niedergeschlagen:

- Der Durchschlag Amsteg – Sedrun erfolgte im Herbst 2007 rund 9 bzw. 6 Monate früher als bisher veranschlagt.
- Beim Los Erstfeld wurde im Frühling 2007 die Deblockierung des Vergabeverfahrens erzielt. Im Anschluss konnten dank einer hervorragenden Performance des Ausbruchs die Durchschläge Richtung Amsteg rund 6 Monate früher erfolgen als gemäss Werkvertrag geregelt.
- Im Juni 2007 hat ein Rekurs die Vergabe der Bahntechnikerarbeiten blockiert. Nach dessen Rückzug Ende 2007 konnte der Generalunternehmer-Werkvertrag Ende April

The forecast has since remained stable, despite the fact that progress in both construction and in the various procedures provides, in the main, grounds for optimism. This has been reflected in a number of significant successes:

- The Amsteg – Sedrun breakthrough took place in the autumn of 2007, around 9 and 6 months, respectively, earlier than previously estimated.
- Resolution of the deadlock in the award procedure for the Erstfeld lot was attained in the spring of 2007. Thanks to excellent performance in the excavation work, the breakthroughs toward Amsteg were then achieved around 6 months earlier than specified in the service contract.
- An appeal hindered award of the rail-equipment work in June, 2007. Following the withdrawal of this appeal in late 2007, the prime contractor was able to sign the service contract in late April of 2008. Work in this sector has been proceeding according to plan since this time.
- ATG has revised the lot boundary between Sedrun and Faido to the south on the basis of the rates of advance achieved. This permitted optimised scheduling of the 2 main breakthroughs.
- It proved possible to tunnel through the Piora syncline without difficulty, at daily rates of advance of around 10 m. The subsequent good rates of advance achieved toward the north conformed with the forecasts.
- The construction schedule, from Faido onward, envisaged fitting-out of the single-track bores after completion of tunnelling. This threatened to delay commissioning, due

2008 unterzeichnet werden. Seit diesem Zeitpunkt laufen die Arbeiten in diesem Bereich nach Plan.

- Aufgrund der Vortriebsleistungen hat die ATG die Losgrenze zwischen Sedrun und Faido Richtung Süden verschoben. Dadurch konnten die beiden Hauptdurchschläge zeitlich optimiert werden.
- Die Pioramulde konnte mit Tagesleistungen von rund 10 m problemlos durchfahren werden. Die anschliessenden guten Vortriebsleistungen Richtung Norden entsprachen den Prognosen.
- Das Bauprogramm von Faido sah den Ausbau der Einspurröhren nach Abschluss der Vortriebe vor. Wegen der zeitraubenden vorgängigen Verzögerungen aufgrund bautechnischer Schwierigkeiten in der Multifunktionsstelle Faido drohte der Ausbau, sich zeitverzögernd auf die Inbetriebnahme auszuwirken. Als Gegenmassnahme wurde mit dem Konsortium vereinbart, den Ausbau der Multifunktionsstelle parallel zum Ausbau der Einspurröhren durchzuführen und durch geeignete Massnahmen auch den Einspurausbau zu beschleunigen.

Aufgrund der Entwicklungen verschiedener Faktoren, die den Termin beeinflussen, erhöhte sich die Prognosesicherheit stetig. Als grösster Unsicherheitsfaktor verblieb der noch zu leistende Ausbruch zwischen Sedrun und Faido mit dem Ziel des Hauptdurchschlags. Ende 2008 betrug die Reststrecken noch rund 8700 m in der Oströhre und 9500 m in der Weströhre.

Damit war der Zeitpunkt gekommen, die Detailfragen bei den Nahtstellen zwischen den beteiligten Unternehmungen des Rohbaus, der Rohbau-Ausrüstung und der Bahntechnik zu klären, Fragen, die vorher wegen hoher Ungewissheit bezüglich der Durchschlagsdaten nicht zu beantworten gewesen waren. Die diesbezüglich grössten Herausforderungen stellten sich hierbei im Bereich der Multifunktionsstellen. Die sehr komplexe Konfiguration von Haupt- und Fluchtröhren, Zu- und Abluftstollen, Schächten und Kavernen lässt erahnen, wie detailliert der Rückzug der Bauunternehmer bzw. die Übernahme durch den Generalunternehmer Bahntechnik geplant werden muss.

Anfang 2009 setzte die AlpTransit Gotthard AG eine Arbeitsgruppe ein, die einerseits die Aufgabe hatte, die Details rund um die erwähnten Nahtstellen mit dem Ziel der Bestellungsvereinbarung zu definieren, und andererseits das Gesamtterminprogramm zu optimieren. Im Laufe dieser Abklärungen kristallisierte sich unter Einbezug des zuvor ausgeführten sehr guten Projektfortschritts immer mehr die Möglichkeit heraus, den Beginn des kommerziellen Betriebs bereits 2016 anzupeilen. Dies natürlich unter dem Vorbehalt, dass die geplanten Hauptdurchschläge im Herbst 2010 bzw. im Frühling 2011 erfolgen konnten. Aufgrund dieser Erkenntnisse entschied die Geschäftsleitung der AlpTransit Gotthard AG im Herbst 2009, die Nahtstellenvereinbarung mit den Hauptunternehmern und dem Generalunternehmer Bahntechnik mit der Zielsetzung Inbetriebnahme 2016 durchzuführen.

to the previous time-consuming delays caused by civil-engineering difficulties at the Faido combined technical and rescue station. To counteract this, an agreement was made with the consortium to perform fitting-out of the combined technical and rescue station parallel with that of the single-track bores, and also to implement appropriate measures to accelerate this work in these bores.

Forecasting certainty improved steadily, due to the trends in various factors influencing the deadline. The greatest impediment remained the excavation work still to be performed between Sedrun and Faido, with the ultimate aim of achieving the main breakthrough. The lengths still to be excavated at the end of 2008 were 8700 m in the east bore and 9500 m in the west.

It was thus time to clarify the detailed questions concerning the interfaces between the participating tunnelling, tunnel-equipping and rail equipment contractors – questions to which, up to this time, there had been no answers, due to the high level of uncertainty concerning the breakthrough dates. The greatest challenges were encountered here in conjunction with the combined technical and rescue stations. The extremely complex configuration of the main and evacuation bores, the downcast and upcast air tunnels, shafts and caverns gives some impression of the detail in which the withdrawal of the engineering contractors and the take-over by the prime rail-equipment contractor must be planned.

In early 2009, AlpTransit Gotthard AG set up a workgroup with the task, on the one hand, of finalising details concerning the above-mentioned interfaces, with the target of rationalising orders and, on the other hand, of optimising the schedule as a whole. It became apparent during these deliberations, when the previously mentioned extremely good project progress had been taken into account, that there was an increasingly great possibility of scheduling the start of revenue-earning operation for 2016 – on the condition, of course, that the planned main breakthroughs could be accomplished in the autumn of 2010 and the spring of 2011, respectively. These perceptions led the AlpTransit Gotthard AG Board of Management to decide, in autumn 2009, to clarify interface questions with the main contractors and the prime rail-equipment contractor, on the basis of a target of commissioning in 2016.

The workgroup conducted its work, deliberations and negotiations under the working title of “Capricorn”, and there are not a few affinities between this ATG project and the Alpine ibex, whether it be as the “king of the mountains”, heraldic symbol of Grison or as a celestial constellation:

- The path to the target was long, difficult, not always straight, and rarely free of hindrances. But however steep the rock face may be, the ibex is never deterred, and climbs to the peak or the ridge. All project participants have pursued undeterred the path taken, and reached their targets.

Die eingesetzte Arbeitsgruppe führte ihre Arbeiten, Abklärungen und Verhandlungen unter dem Arbeitstitel „Capricorn“, also Steinbock, durch. Affinitäten zwischen diesem ATG-Projekt und dem Steinbock, sei es als „König der Berge“, Wappentier Graubündens, oder als Sternzeichen, gibt es einige:

- Der Weg zum Ziel war lang, beschwerlich und nicht immer gradlinig und selten ganz frei von Hindernissen. Doch die Felswand mag noch so steil sein, der Steinbock lässt sich nicht beirren und erklimmt den Gipfel oder Grat. Auch alle Projektbeteiligten sind unbeirrt den eingeschlagenen Weg gegangen und haben die Ziele erreicht.
- Der Steinbock gehört zur Gattung der Ziegen und laut Tierlexikon sind die Ziegen eine Gattung mit äusserst komplizierter interner Systematik. Was sich auch bei unserem Projekt nicht ganz von der Hand weisen lässt.
- Die sogenannten Wendekreise sind Breitenkreise, die für die Sonnenbahn Grenzmarken darstellen. Und der südliche Wendekreis wird auch Wendekreis des Steinbocks – lateinisch *Tropicus capricorni* oder englisch *Tropic of Capricorn* genannt. Auch für die AlpTransit Gotthard AG hat Capricorn eine Wende eingeläutet. Nachdem der Eröffnungstermin des Gotthard-Basistunnels mehrere Male nach hinten geschoben werden musste, wird er nun erstmals um ein Jahr vorverlegt.
- Abschliessend noch zum Tierkreiszeichen Capricorn. Gemäss den Astrologen ist kein Sternzeichen so ehrgeizig wie der Steinbock. Er ist sehr belastbar und besitzt eine große Ausdauer. Dennoch ist es möglich, die Wünsche und Träume des Steinbocks zu verwirklichen, denn er ist ein echter Realist und bleibt auf dem Boden der Tatsachen. Auch das Projekt Capricorn bei der ATG ist ehrgeizig. Die Ziele sind hoch gesteckt, aber realistisch. Um sie zu erreichen, braucht es Hartnäckigkeit und Ausdauer.

Nach dem Grundsatzentscheid der Geschäftsleitung wurden Anfang 2010 die Vertragspartner systematisch in den weiteren Verlauf der Abklärungen miteingebunden. Parallel dazu wurden die Aufsichtsbehörden und Aufsichtsinstitutionen sowie die SBB über die sich abzeichnende Möglichkeit der Nahtstellenbereinigung inklusive der kommerziellen Betriebsaufnahme Ende 2016 informiert. Die folgenden Monate waren geprägt von intensiven Kontakten zwischen ATG und den Vertragspartnern zum Thema Nahtstellenbereinigung. Die daraus resultierenden Bestellungspräzisierungen konnten im Herbst 2010 schlussbereinigt und nach dem entsprechenden Einverständnis des Verwaltungsrats der AlpTransit Gotthard AG auch unterschrieben werden. Dies rund 1 Monat nach dem ersten Hauptdurchschlag und unter dem Vorbehalt des rechtzeitig erfolgenden, dazumal noch ausstehenden zweiten Hauptdurchschlags.

In der Folge konnte die ATG dem Bund erstmals per Ende 2010 einen im Vergleich zur Vorperiode früher prognostizierten Meilenstein für die kommerzielle Inbetriebnahme rapportieren. Die Gesamtterminplanung des Gotthard-Basistunnels sieht in der Endphase nun wie folgt aus:

- The ibex belongs to the goat genus, *Capra*, and, according to the encyclopaedia of animals, goats are a genus with an exceptionally complicated internal system – something they most definitely have in common with our project!
- The so-called tropics are circles of latitude marking the boundaries of the sun's orbit. The more southerly of these bears the name Capricorn – *tropicus capricorni* in Latin. And Capricorn also brought a reversal of fortunes for AlpTransit Gotthard AG – after several postponements of the Gotthard Base Tunnel's scheduled opening date, it has now, for the first time, been brought forward by a year.
- Finally, the astrological Capricorn. According to astrologers, no sign of the zodiac is as ambitious as Capricorn. Capricorns have great endurance, and enjoy great stamina. The desires and dreams of the Capricorn can nonetheless be made reality, he or she is a genuine realist, with his or her feet set firmly on solid facts. ATG's Project Capricorn is also ambitious – the targets are high, but realistic. And we need perseverance, stamina and endurance to achieve them.

Following the decision in principle by the Board of Management, the contractual partners were, from early 2010 onward, systematically integrated into the continuing deliberations. In parallel, the supervisory authorities and institutions, and the SBB, were informed concerning the ever more probable possibility of clarifying and defining interfaces, including commercial inauguration in late 2016. The following months were dominated by intensive contacts between ATG and the contractual partners on the subject of rationalisation of interfaces. The resultant more detailed specifications for orders were finalised in the autumn of 2010, and these orders also signed, after the obtainment of corresponding agreement from the AlpTransit Gotthard AG supervisory board. This occurred around 1 month after the first main breakthrough, and on the precondition of achievement of the second main breakthrough, then still outstanding, on time.

ATG was subsequently able, for the first time, to report to the federal government at the end of 2010 a milestone for commercial commissioning brought forward vis-à-vis the preceding period. Overall scheduling for the final phase of the Gotthard Base Tunnel is now as follows:

- start of Phase A of commissioning (co-ordination by ATG): early October, 2015,
- completion of Phase A/start of Phase B of commissioning (handover of co-ordination from ATG to SBB): late May, 2016,
- earliest possible fully commercial commissioning by SBB (integration into the timetable): new timetable to be introduced in December, 2016.

For ATG, the adjustment of this forecast date is much more than simply the bringing forward of a milestone, however. Once the work and deliberations had been completed, it was possible for the first time to define in detail an integrated

- Beginn der Inbetriebsetzung Phase A (Federführung ATG): Anfang Oktober 2015,
- Ende Inbetriebsetzungsphase A/Beginn Inbetriebsetzungsphase, B (Übergabe der Federführung von ATG an SBB): Ende Mai 2016,
- frühestmögliche volle kommerzielle Inbetriebnahme durch die SBB (Integration in den Fahrplan): Fahrplanwechsel Dezember 2016.

Für die ATG ist die Anpassung der Terminprognose jedoch weit mehr als lediglich die Vorverlegung eines Meilensteins. Zum Schluss der Arbeiten und Abklärungen konnte ein in sich stimmiges, über die Bereiche Rohbau, Rohbau-Ausrüstung und Bahntechnik erstmals im Detail kohärentes Terminprogramm definiert werden. Dank der damit verknüpften vertraglichen Vereinbarungen konnte so die zurzeit bestmögliche Planungssicherheit geschaffen werden. Die neue Grundlage ist eine ambitionöse Herausforderung für alle Beteiligten, die jedoch allseits mit Zuversicht und Motivation angepackt wird. Alle Signale stehen auf Grün.

In gut 5 Jahren wird es somit soweit sein: Der erste Zug mit Ehrengästen wird durch den längsten Eisenbahntunnel der Welt fahren. In Anlehnung respektive Abwandlung eines bekannten amerikanischen Wahlslogans könnte man deshalb unsere damit verbundene Mission mit „Yes we do“ umschreiben. Und dies durchaus auch im Sinne einer freundnachbarlichen Ermunterung ins nördliche und südliche Ausland.

and coherent schedule covering the tunnelling, tunnel-equipping and rail-equipment sectors. The associated contractual agreements also made it possible to achieve the current optimum planning certainty. The new basis is an ambitious challenge to all participants, but one which has been taken up by all with great confidence and motivation. All the signals really are on green!

And in just over five years, the task will have been accomplished, and the first train, bearing guests of honour, will pass through the world's longest rail tunnel. One could, therefore, describe our mission on this project, borrowing from a now famous US election slogan, with "Yes we do!". With well-meant encouragement to our neighbours to the north and south.

Hans-Jakob Ziegler, Dr. phil. nat., Geologe, Kellerhals + Haefeli AG, Bern/CH

150 km Vortrieb durch die Alpen

Ingenieurgeologische Erfahrungen

Es werden ausgewählte ingenieurgeologische Erfahrungen vom Vortrieb des Gotthard-Basistunnels vorgestellt. Dabei werden das Gebirgsverhalten in gestörten Bereichen und die Blockbildung in der Brust vor der TBM in gleichen Gesteinen bei unterschiedlicher Überlagerung bzw. in unterschiedlichen Gesteinen bei gleicher Überlagerung erläutert. Zudem werden Hinweise auf die gegenseitige Beeinflussung der Vortriebe sowie die unterschiedlichen geologischen Verhältnisse in Ost- und Weströhre gegeben. Ergänzend werden mögliche Ursachen von durch den Vortrieb indizierten Mikrobeben präsentiert. Abgeschlossen werden die Ausführungen mit einigen Aussagen zur möglichen Genauigkeit von Prognosen des Gebirgsverhaltens.

150 km Tunnelling Through the Alps

Engineering-geology experience

Selected engineering-geology experience gained in construction of the Gotthard Base Tunnel is examined here. Rock behaviour in faulted zones and block formation in the face confronting the TBM in the same rocks but with differing overburdens, and in differing rocks with the same overburden, are discussed. Mutual cross-influencing between parallel tunnelling operations, and the differing geological conditions in the east and west bores, are also examined. The possible causes of micro earthquakes induced by tunnelling are then analysed. The article concludes with a number of deliberations concerning the potential accuracy of rock behaviour forecasts.

1 Einleitung

Nachdem die Vortriebsarbeiten am Gotthard-Basistunnel im Frühjahr abgeschlossen werden konnten, ist der Zeitpunkt gekommen, ingenieurgeologische Erfahrungen anhand einiger Beispiele vorzustellen. Dabei wird das Gewicht auf das Gebirgsverhalten gelegt, da dieses – neben der hydrogeologischen Prognose – weitaus am schwierigsten zu prognostizieren ist. Einige der folgenden Beispiele wurden schon im Rahmen anderer Veranstaltungen vorgestellt; hier soll aber nun aus einem etwas anderen Blickwinkel darüber berichtet werden. Die geologische Lage der erwähnten Beispiele ist aus dem geologischen Befundprofil des Gotthard-Basistunnels ersichtlich (Bild 1).

2 Erfahrungen mit dem Gebirgsverhalten

Anhand einiger Beispiele wird das Gebirgsverhalten gleicher Gesteine bei unterschiedlicher Überlagerung bzw. unterschiedlicher Gesteine bei gleicher Überlagerung vorgestellt. Dabei werden Erfahrungen mit dem Gebirgsverhalten in gestörten Bereichen sowie solche mit der Blockbildung in der Brust vor der TBM erläutert. Ergänzend erfolgen zudem

1 Introduction

The time is now ripe, following completion of tunnelling in the Gotthard Base Tunnel this spring, to examine, on the basis of a number of examples, the engineering-geology experience gained. The focus here is on rock behaviour, since this – alongside hydrogeology – is by far the most difficult factor to predict. Some of the following examples have already been presented at other events; here, however, they are discussed from a somewhat different viewpoint. The geological location of the examples cited can be seen from the geological profile for the Gotthard Base Tunnel (Figure 1).

2 Experience with rock behaviour

The behaviour of the same rocks under differing overburden and of differing rocks under the same overburden is examined, citing a number of examples. Experience gained with rock behaviour in faulted zones, and with block formation in the face confronting the TBM, is discussed. Notes concerning mutual cross-influencing between, and the differing conditions encountered in, the east and west bores of the Gotthard Base Tunnel are provided additionally.

150 km l'avancement à travers les Alpes

Expériences de génie géologique

L'article présente une sélection des expériences de génie géologique acquises pendant l'avancement du Tunnel de Base du Saint-Gothard. On y explique le comportement de la roche en zones perturbées et la formation de blocs sur le front de taille devant le tunnelier, d'une part en roches identiques avec couverture différente et d'autre part, en roches différentes avec couverture identique. D'autre part, des indications sont fournies sur l'influence réciproque des percements et sur les différentes situations géologiques rencontrées dans les tubes est et ouest. En complément, l'article présente les causes possibles de microséismes induits par l'avancement et se termine par des exposés accompagnés de quelques propos sur le niveau de précision possible des pronostics émis sur le comportement de la roche.

150 km avanzamento attraverso le Alpi

Esperienze di ingegneria geologica

Viene trattata una selezione di ingegneria geologica raccolte durante l'avanzamento della Galleria di Base del Gottardo spiegare il comportamento della roccia nelle aree disturbate e la formazione di blocchi nel fronte di avanzamento davanti alla TBM, sia nelle rocce uguali a diversa sovrapposizione, sia nelle rocce diverse a uguale sovrapposizione. Vengono fornite inoltre indicazioni sulla reciproca influenza degli avanzamenti, nonché sulle differenti condizioni geologiche nel tubo est e ovest. Vengono presentate infine le possibili cause dei microsismi rilevati nell'avanzamento, concludendo con alcune affermazioni sulla possibile precisione delle prognosi sul comportamento delle rocce.

Hinweise auf die gegenseitige Beeinflussung und die unterschiedlichen Verhältnisse in Ost- und Weströhre des Gotthard-Basistunnels.

2.1 Störungen

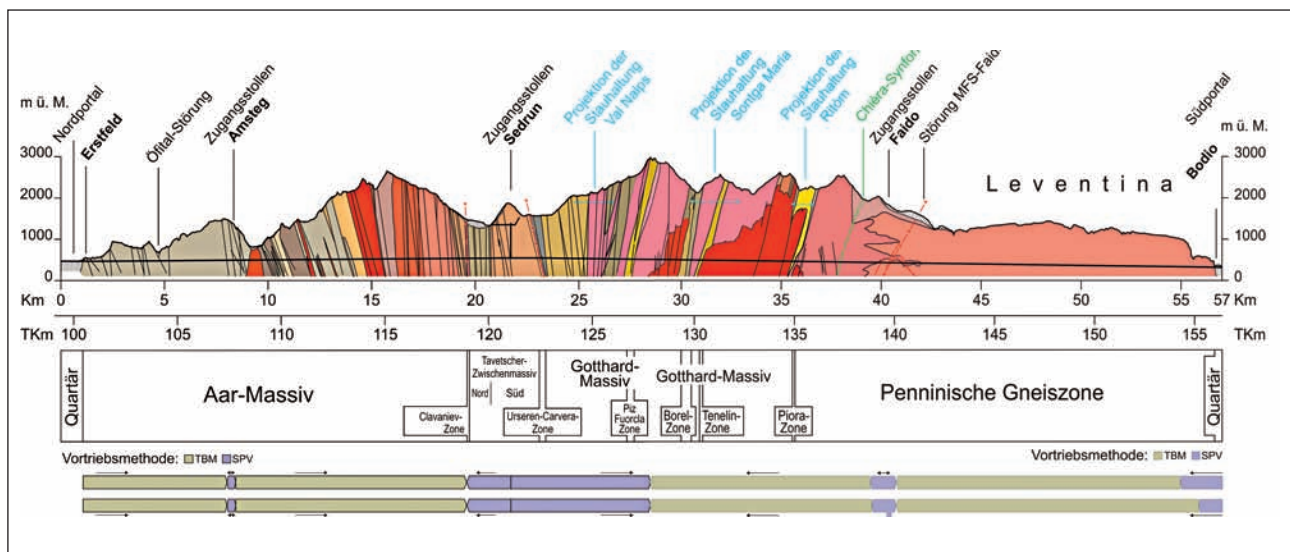
Um unterschiedliches Gebirgsverhalten bei vergleichbaren geologischen Verhältnissen zu zeigen, drängt sich ein Vergleich der im Teilabschnitt Erstfeld in den Erstfelder Gneisen liegenden Öfital-Störung mit dem im Teilabschnitt Sedrun durchbohrten Tavetscher Zwischenmassiv Nord auf.

Das Gebirge war in der Öfital-Störung stellenweise stark zerrüttet, zerschert und von zahlreichen Rissen und Trenn-

2.1 Faults

A comparative assessment of the Öfital Fault located in the Erstfeld gneisses of the Erstfeld sub-sector against the northern Tujetsch median massif traversed in the Sedrun sub-sector is an important step in illustrating differing rock behaviour under comparable geological conditions.

In the Öfital Fault, the rock was in some cases severely fractured, disintegrated and interspersed with numerous cracks and fracture planes. Zones of thin (< 0.05 m), loamified faults and graphite strata, dipping steeply east and west, occurred locally. The disintegrated gneisses are usually of low strength, friable, and can in many cases be crumbled in the



1 Geologisches Befundprofil des Gotthard-Basistunnels
Profile of geological findings for the Gotthard Base Tunnel

flächen durchsetzt. Lokal traten Zonen mit geringmächtigen (< 0.05 m), verlehmtten, steil von Osten und Westen einfallenden Störungen und Graphitlagen auf. Die zerscherten Gneise sind normalerweise wenig fest, brüchig und können oft von Hand zerbrochen werden. Immer wieder sind jedoch auch kompaktere Biotit-Gneise eingeschaltet.

Neben einem halben Dutzend kleineren, bis 0.3 m mächtigen verlehmtten oder kataklastisch deformierten Störungen wurden auch 4 grössere, in der Oströhre bis 3 m und in der Weströhre bis 6 m mächtige, kakiritische Störungen gequert, welche schiefrige, z.T. verlehmtte Graphitlagen enthalten können (Bild 2).

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass das Gestein in der Öfital-Störzone auf rund 1/3 der Strecke stark zerschert und gestört vorliegt und der Rest einzelne Scher- und Harnischflächen aufweist. Es ist allerdings auch in diesen Bereichen generell deutlich stärker verschiefert als die Erstfelder Gneise ausserhalb der Öfital-Störzone.

Das Tavetscher Zwischenmassiv Nord stellt – wie erwartet – eine grosse Störzone dar, die hauptsächlich aus mehr oder weniger stark zerbrochenen, kataklastischen Bereichen aufgebaut ist. Darin eingeschaltet sind Kakirite unterschiedlichster Mächtigkeit (0.2 bis 10 m; Bild 3). Wie die beiden Fotos (Bild 2, 3) zeigen, ergibt sich insgesamt rein optisch ein sehr ähnliches Bild.

Trotz der lithologisch sehr ähnlichen Ausbildung haben sich diese beiden Abschnitte bautechnisch äusserst unterschiedlich verhalten. Die Öfital-Störung konnte mit relativ geringem Aufwand und kleinen Deformationen mit der TBM ausgebrochen werden. Das Tavetscher Zwischenmassiv

hand. More compact biotite gneisses are also encountered again and again, however.

In addition to half a dozen smaller loamified or cataclastic deformed faults of up to 0.3 m in thickness, 4 larger fault gouges, which are capable of containing schistous, and in some cases loamified, graphite strata, of up to 3 m in thickness in the east bore, and up to 6 m in thickness in the west bore, were traversed (Figure 2).

It is apparent from Table 1 that the rock in the Öfital Fault is severely disintegrated and faulted for around 1/3 of the length, the remainder exhibiting individual shear planes and polished rock surfaces. Even in these zones, however, it is generally significantly more severely foliated than the Erstfeld Gneisses at other locations.

The northern Tujetsch median massif was – as expected – a major fault zone consisting primarily of more or less severely disintegrated cataclastic sub-zones. Also present are cataclastic formations of extremely varying thicknesses (0.2 to 10 m; Figure 3). As the 2 plates illustrate (Figures 2 and 3), a very similar picture also results, all in all, visually.

Despite their extremely similar lithological structure, these 2 sectors behaved exceptionally differently in tunnel-engineering terms. The Öfital Fault was TBM-excavated with only relatively little difficulty and only minor deformations. It was necessary, in contrast, to traverse the northern Tujetsch median massif using heavy flexible tunnel support and massive face support. The anticipated radial deformations of up to 1 m did indeed occur [1]. There are probably 2 main reasons for this differing behaviour:

Zerscherungsgrad Shear disintegration	Gefüge/Gesteinsmehlanteil Structure/Rock flour content	Öfital-Störung Öfital Fault		Tavetscher Zwischenmassiv Nord Northern Tujetsch median massif	
		[m]	[%]	[m]	[%]
1	intakt/fehlend intact/absent	–	–	346	22
2	kataklastisch, einzelne Scherflächen/fehlend cataclastic, isolated shear planes/absent	361	68	197	13
3	kataklastisch/gering – fehlend (< 10 %) cataclastic/low – absent (< 10 %)	–	–	835	52
4	kataklastisch (zerschert, zerbrochen)/ gering – mässig (10–30 %) cataclastic (disintegrated, disintegrated)/ low – moderate (10–30 %)	146	31	184	12
5	kakiritisch (zerschert, mürbe, zerreibbar)/hoch (> 30 %) kakiritic (disintegrated, friable, frangible)/high (> 30 %)	5	1	16	1

Tabelle 1 Vergleich Zerscherungsgrad der Öfital-Störung mit jenem aus dem Tavetscher Zwischenmassiv Nord

Table 1 Comparison of the shear disintegration of the Öfital Fault with that in the northern Tujetsch median massif



2 Öfital-Störung: Graphitlage in kataklastisch bis kakiritischem Gneis (km 103.863)
 The Öfital Fault: graphite stratum in cataclastic to kakiritic gneiss (km 103.863)
 (Foto/photo: S. Bucher)

Nord dagegen musste mit einem schweren, deformierbaren Einbau und massiven Brustsicherungen gequert werden. Die erwarteten Radialdeformationen von bis zu 1 m traten auch auf [1]. Zwei Gründe dürften hauptsächlich für dieses unterschiedliche Verhalten verantwortlich sein:

- Die Öfital-Störung wurde bei einer Überdeckung von rund 200 m und das Tavetscher Zwischenmassiv Nord hingegen mit einer solchen von 800 bis 1000 m gequert.
- Das Tavetscher Zwischenmassiv Nord wurde im Gegensatz zur Öfital-Störung alpin stark spröd überprägt, was sich deutlich am sehr hohen Anteil des Zerschierungsgrades 2 zeigt (Tabelle 1).

2.2 Blockbildungen in der Ortsbrust

Für die TBM-Vortriebe Amsteg und Faido wurde in der Prognose darauf hingewiesen, dass bei den vorliegenden, quer streichenden Strukturen vor allem in schiefrig-plattigen Gesteinen mit Block- und Plattenbildungen in der Ortsbrust zu rechnen ist. Die Gefährdung für die Belegschaft wurde aufgrund des permanenten Schutzes durch den Bohrkopf allerdings als gering eingestuft.

In beiden Teilabschnitten zeigte sich im Verlaufe der Vortriebsarbeiten, dass Ausbrüche aus der Ortsbrust eher häufiger als erwartet auftraten. Die Ausbruchtiefe lag in den meisten Fällen zwischen 1 und 2 m, erreichte teilweise

- The Öfital Fault was traversed under an overburden of around 200 m, the northern Tujetsch median massif under 800 to 1000 m.
- Unlike the Öfital Fault, the northern Tujetsch median massif was severely brittle overburdened in Alpine geological terms, as is clearly apparent from the extremely high degree of Shear Disintegration "2" (Table 1).

2.2 Block formation phenomena in the face

The forecast drew attention, for the Amsteg and Faido TBM sections, to the fact that block and slab formation phenomena in the face would have to be anticipated in the transversely striking structures present, and in foliated and laminated rocks, in particular. The hazard for the workforce was classified as low, due to the permanent protection provided by the cutter head, however.

It became apparent during tunnelling in both sub-sectors that falls from the face were tending to occur more frequently than expected. In most cases, collapse depth was between 1 and 2 m, but also reached 3 m in some instances, and nearly 5 m in an isolated case in Faido. The phenomenon typically took the form of a pronounced "block" character ahead of the cutter head (Figure 4). The face collapsed in some cases in front of the cutter head, particularly in relatively compact, solid, coarsely fissured rock with individual distributed joint and foliation planes. These phenomena can be attributed to stress redistribution ahead of the cutter head.

In Amsteg, the block-like falls from the face were increasingly observed as from the crystalline basement ("Altkristallin") migmatites and from an overburden of 925 m. These phenomena also occurred in all lithologies traversed (migmatites, granites, granite-gneisses). The observations made at Amsteg confirm findings from the construction of the Lötschberg Base Tunnel [2, 3]. According to [3], block formation in the face occurs only from a certain overburden



3 Tavetscher Zwischenmassiv Nord: kataklastisch bis kakiritischer Gneis mit Verfaltung (km 120.537)
 The northern Tujetsch median massif: cataclastic to kakiritic gneiss with folding (km 120.537)
 (Foto/photo: P. Guntli)



4 Aufnahme der Ortsbrust von km 228.718, deutlich erkennbar sind die Spurrillen beim oberen Block
View of the face at km 228.718; the grooves in the upper block are clearly apparent
(Foto/photo: F. Habit)

aber auch 3 m und in einem Einzelfall in Faido bis gegen 5 m. Das typische Erscheinungsbild war eine ausgeprägte Blockigkeit vor dem Bohrkopf (Bild 4). Besonders in relativ kompaktem, festem, grob durchtrenntem Gebirge mit einzelnen, diskreten Kluft- und Schieferungsflächen mit grossem Durchtrennungsgrad brach die Ortsbrust vor dem Bohrkopf streckenweise aus. Zurückzuführen sind diese Erscheinungen auf Spannungsumlagerungen vor dem Bohrkopf.

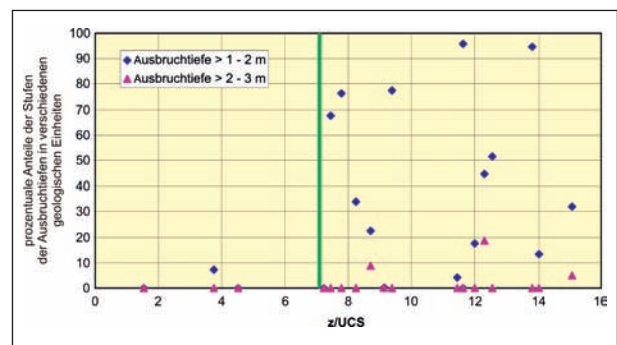
In Amsteg wurden die blockigen Ablösungen aus der Ortsbrust vermehrt ab den altkristallinen Migmatiten und ab einer Überlagerung von 925 m beobachtet. Diese Blockbildungen traten zudem in allen durchfahrenen Lithologien auf (Migmatite, Granite, Granitgneise). Die Beobachtungen in Amsteg bestätigen Untersuchungen, welche beim Bau vom Lötschberg-Basistunnel gemacht worden waren [2, 3]. Gemäss [3] macht sich Blockbildung in der Ortsbrust erst ab einer gewissen Überlagerung bemerkbar. Sie ist zudem abhängig von der Druckfestigkeit des Gesteins. Dabei zeigte sich beim Bau des Lötschberg-Basistunnels, dass bei einem zunehmendem Verhältnis zwischen der Überlagerung (= z in m) und der einachsigen Druckfestigkeit (= UCS in MPa) des aufzufahrenden Gesteins die Ausbruchtiefe vor dem Bohrkopf zunimmt. Ab einem Verhältnis von 7 sind gemäss [3] Ausbruchtiefen von mehr als 1 m Tiefe zu erwarten.

onward. It is, in addition, dependent on the rock's strength in compression. It was observed during construction of the Lötschberg Base Tunnel that the collapse depth ahead of the cutter head increases as the ratio between overburden (= z in m) and the uniaxial compressive strength (= UCS, in MPa) of the rock to be penetrated increases. According to [3], collapse depths of greater than 1 m may be anticipated from a value of 7 for this ratio.

This was confirmed in TBM-tunnelling in Amsteg insofar as the percentage of lengths featuring collapse depths > 1 m increases abruptly when the z/UCS ratio reaches 7 (Figure 5). This percentage even tends toward 100 in individual geological units. The sectors of rock with collapse depths of > 2 m were, in fact, all observed to have a z/UCS ratio of > 7.

In the east bore, tunnelled ahead of the west bore, the proportion of lengths manifesting unstable face behaviour was, at Amsteg, significantly higher than in the west bore. It is possible that the rock stresses favouring block-like phenomena ahead of the cutter head during TBM-tunnelling, due to stress redistribution, may have already partially decayed by the time the "trailing" west bore arrived at the critical point.

Block formation in the face also occurred in the granites and gneisses traversed during TBM-tunnelling in Faido. Figure 6 shows not the percentage of the various levels of collapse depths shown in Figure 5, but instead maximum collapse depth. The empirical correlation determined in [3] could not be verified in TBM-tunnelling at Faido, due to the generally thicker overburden (never less than > 1600 m) (z/UCS ratio never < 7). It should be noted, however, that collapse depth was less than 1 m in just under 1/3 of the cases observed, despite the fact that the z/UCS ratio was significantly larger than 7.



5 Prozentuale Anteile der Ausbruchtiefen > 1 m beim TBM-Vortrieb Amsteg in der Oströhre. Für jede geologische Einheit wurde ein Wert für z/UCS berechnet (z = Überlagerung, UCS = einachsige Druckfestigkeit). Ein Punktepaar an dieser Stelle zeigt die prozentualen Anteile der Stufen der Ausbruchtiefen > 1 m (die schwarze vertikale Linie zeigt das Verhältnis z/UCS = 7)
Percentages of collapse depths > 1 m during TBM-tunnelling in the east bore at Amsteg. A value for z/UCS was calculated for every geological unit (z = overburden, UCS = uniaxial compressive strength). A pair of points here shows the percentages of stages of collapse depths > 1 m (the vertical black line shows the z/UCS ratio = 7)

Dies hat sich im TBM-Vortrieb Amsteg insofern bestätigt, da ab dem Verhältnis z/UCS von 7 der Anteil der Strecken mit Ausbruchtiefen > 1 m schlagartig zunimmt (Bild 5). Dieser Anteil erreicht in einzelnen geologischen Einheiten gegen 100 %. Die Gebirgsabschnitte mit Ausbruchtiefen > 2 m waren sogar ausschliesslich bei einem Verhältnis $z/UCS > 7$ zu beobachten.

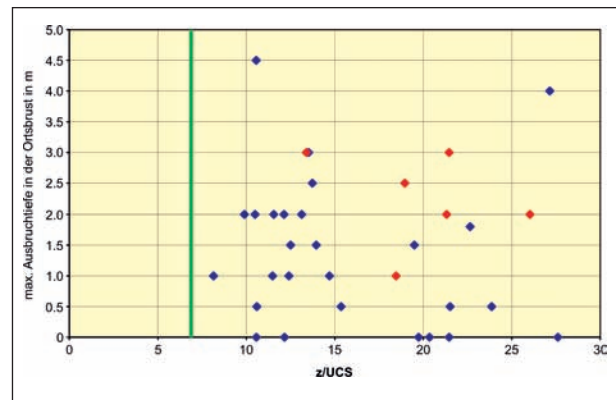
In der vorausseilenden Oströhre war in Amsteg der Anteil an Strecken mit instabilem Ortsbrustverhalten deutlich höher als in der Weströhre. Möglicherweise hat sich die Gebirgsspannung, welche die Blockigkeit vor dem Bohrkopf beim Auffahren mit der TBM durch Spannungumlagerungen begünstigt, bis zum Eintreffen der nachteilenden Weströhre bereits teilweise abgebaut.

Auch beim TBM-Vortrieb in Faido trat die Blockbildung in der Ortsbrust in den durchfahrenen Graniten und Gneisen auf. In Bild 6 ist nicht der prozentuale Anteil der Stufen der Ausbruchtiefen wie in Bild 5, sondern die maximale Ausbruchtiefe dargestellt. Die in [3] ermittelte empirische Beziehung kann im TBM-Vortrieb Faido wegen der generell grösseren Überlagerung (durchwegs > 1600 m) nicht überprüft werden (keine Werte < 7 für das Verhältnis z/UCS). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in knapp 1/3 der beobachteten Fälle die Ausbruchtiefe weniger als 1 m betrug, obwohl das Verhältnis z/UCS deutlich grösser als 7 war.

Da die Blockbildung vor der Ortsbrust ein spannungsbedingtes Phänomen ist, ist auch nicht überraschend, dass sie relativ unabhängig von der jeweiligen Lithologie auftritt. Im TBM-Vortrieb in Faido kam es in den Gneisen etwa gleich häufig zu Blockbildungen vor der Ortsbrust wie im Granit. Es kann aber darauf hingewiesen werden, dass in den Gneisen tendenziell eher grössere maximale Ausbruchtiefen (Mittelwert ≈ 2.3 m) auftraten als in den Graniten (Mittelwert ≈ 1.3 m). Der Grund dürfte darin liegen, dass die Blockbildung durch die vorhandenen Trennflächen zumindest begünstigt wird und in den Gneisen mit ihren deutlicher ausgebildeten Schieferungsflächen solche Trennflächen häufiger vorhanden sind als in den massigeren Graniten.

2.3 Gegenseitige Beeinflussungen

Bei der Projektierung des Gotthard-Basistunnels hatte man den Achsabstand der beiden Einspurtrunnelröhren mit Berechnungen und Abschätzungen auf 40 m bestimmt. Einzig in jenen Bereichen, in denen grössere Deformationen erwartet wurden (wie zum Beispiel im Tavetscher Zwischenmassiv Nord), wurde der Achsabstand vergrössert. Dieses Konzept hat sich grundsätzlich bewährt, da in den meisten Abschnitten keine gegenseitigen Beeinflussungen beobachtet werden konnten. Einzig im Teilabschnitt Faido traten solche auf und führten zum Teil zu erheblichen Schwierigkeiten. In diesem Zusammenhang sind zwei völlig unterschiedliche Fälle zu erwähnen.



6 Maximale Ausbruchtiefe im TBM-Vortrieb Faido in der Oströhre (die schwarze vertikale Linie zeigt das Verhältnis $z/UCS = 7$; blau = Granit, rot = Gneis)
Maximum collapse depth in TBM-tunnelling at Faido in the east bore (the vertical black line shows the z/UCS ratio = 7; blue = granite, red = gneiss)

Since block formation ahead of the face is a stress-induced phenomenon, it is not surprising that it occurs relatively independently of the particular lithology. In TBM-tunnelling in Faido, block formation phenomena ahead of the face occurred at approximately the same frequency in the gneisses as in granite. It may be noted, however, that greater maximum collapse depths (average ≈ 2.3 m) tended to occur in the gneisses than in the granites (average ≈ 1.3 m). The reason for this is probably the fact that block formation is at least favoured by the existing fracture planes and that such planes are present to a greater extent in the gneisses, with their clearly pronounced foliation planes, than in the more massive granites.

2.3 Mutual cross-influencing

The centre-to-centre spacing of the 2 single-track bores was set at 40 m by means of calculations and estimates during planning of the Gotthard Base Tunnel. This spacing was increased only in those zones in which larger deformations were forecast (in the northern Tujetsch median massif, for example). This concept proved its worth in principle, since no mutual cross-influences were observed in the majority of sectors. They occurred only in the Faido sub-sector, causing difficulties of significance in some cases. Two totally different instances may be mentioned in this context.

Rock bumps occurred extremely frequently during tunnelling of the Faido "multifunctional station" (MFS) toward the north, as from the transverse cavern. In addition to incidents in the face of the particular length, massive rock bumps also occurred in the rear area and in adjacent lengths, irrespective of tunnelling in the corresponding bore. These incidents, which may better be referred to as rock bursts, caused great damage to the rock fall protection system, expelling shotcrete slabs and rock explosively from the roof, accompanied by massive heaving and bulging of the floor [4]. It was

In den Vortrieben der MFS Faido ab Querkaverne Richtung Norden traten sehr häufig Bergschläge auf. Neben Ereignissen in der Ortsbrust des jeweiligen Vortriebes gab es auch massive Bergschläge im rückwärtigen Bereich resp. in benachbarten Vortrieben, unabhängig vom Vortrieb in der entsprechenden Tunnelröhre. Diese eher als Gebirgsschläge zu bezeichnenden Ereignisse führten zu grossen Schäden in der Ausbruchsicherung mit explosionsartigem Wegschleudern von Spritzbetonplatten und Gesteinspaketen aus dem Gewölbe sowie massiven Hebungen und Aufwölbungen der Sohle [4]. Um die Sicherheit der Arbeiter zu gewährleisten, mussten auf der Baustelle Massnahmen wie zum Beispiel die Absperrung von ganzen Tunnelabschnitten ergriffen werden, was zu erheblichen Verzögerungen und entsprechenden Mehrkosten führte.

Kurz nach Beginn des TBM-Vortriebes von Faido Richtung Norden traten Deformationen auf, die fast zum Festsetzen der TBM resp. der Nachläufer führten. Wie in [5] gezeigt wurde, liegt die Ursache dieser Deformationen in Sprödbriichen im umgebenden Gebirge. In der nacheilenden Weströhre waren die Deformationen noch grösser als in der Oströhre, was zur Vermutung einer gegenseitigen Beeinflussung führte. Dies konnte mit den Überwachungsmessungen während der notwendigen Sanierungsarbeiten auch klar bestätigt werden (Bild 15 in [5]).

2.4 Unterschiede zwischen Ost- und Weströhre

Wie die Ereignisse in Amsteg, Sedrun und Faido zeigen, ist eine Extrapolation der Verhältnisse von einer Röhre auf die andere trotz des geringen Achsabstands nicht immer gegeben. So erfolgten in Amsteg (hydrothermal zersetzter Granit), Sedrun (Wasserführung bei einer Störung) und Faido (Niederbruch in einer Störungszone) die Vortriebe in der vorausgehenden Oströhre relativ problemlos, während in der Weströhre jeweils erhebliche Probleme auftraten. Für die

necessary, in order to assure the safety of the workforce, to implement precautions on the site, such as the cordoning off of complete tunnel sectors, for example, resulting in significant delays and corresponding extra costs.

Deformations which nearly resulted in the trapping of the TBM and the back-up system occurred shortly after the start of TBM-tunnelling from Faido toward the north. As is shown in [5], the cause of these deformations can be found in brittle fractures in the surrounding country rock. The deformations in the “trailing” west bore were even greater than in the east bore, resulting in the suspicion of a mutual cross-influencing effect. This suspicion was also clearly confirmed by the monitoring measurements performed during the necessary refurbishing work (Figure 15 in [5]).

2.4 Differences between the two bores

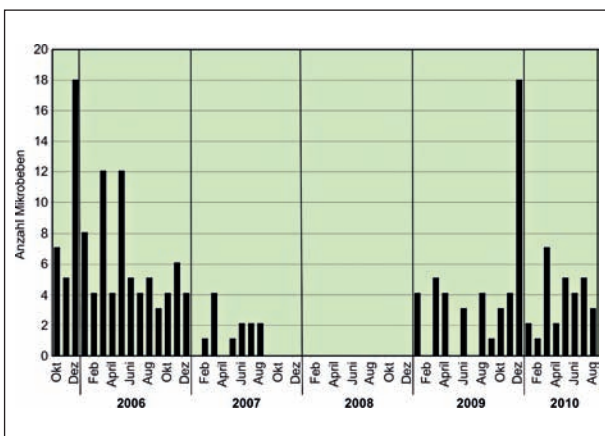
As the incidents at Amsteg, Sedrun and Faido demonstrate, extrapolation of the conditions in one bore to the other is, despite the narrow centre-to-centre spacing, not always permissible. Tunnelling operations in the “leading” east bore at Amsteg (hydrothermally decomposed granite), Sedrun (water influx from a fault) and Faido (fall in a fault zone) were relatively unproblematical, whereas significant problems occurred in each case in the west bore. Attention is drawn to the corresponding published articles for details of these incidents and their solution [6, 7].

Unlike the 2 other incidents, no water was involved in the fall in the west bore at Faido, which occurred at km 230.312 in the Tenelin Zone in early March of 2010. Any water present had probably been drained off by the “leading” east bore, in which around 2.5 l/s was initially encountered in this sector.

3 Micro earthquakes

Micro earthquakes may be induced not only in case of “hydraulic fracturing” in deep geothermal bore holes but also – as was the case in the Faido sub-sector – during deep-level tunnelling. As is apparent from Figure 7, these incidents occurred mainly in 2 different time sectors, during which, furthermore, totally different geological conditions were being traversed.

Excavation in the level Lucomagno gneisses in the northern area of the Faido MFS was conducted in the first “time sector”, from October, 2005 to February, 2008. A total of 112 micro earthquakes were detected in the Faido area during this period. The magnitude of these fluctuated between -0.9 and 2.4, with the major part below 1. The most severe micro earthquake occurred on March 25, 2006, at a magnitude of 2.4, and was clearly perceived by the local population. As explained in [8], these micro earthquakes occurred at fracture planes located a few hundred metres to the east of the east bore, and running parallel to the main “MFS” fault, with cataclastic formations, encountered in the tunnel (Figure 8). The precondition for the occurrence of such micro earthquakes



7 Zeitliche Entwicklung der Mikrobebenaktivität für die Zeiträume Oktober 2005 bis Februar 2008 und Januar 2009 bis August 2010 (Datengrundlage SED, Datenlücke März 2008 bis Dezember 2008)
 Plot of micro earthquake activity trend for the periods October 2005 to February 2008 and January 2009 to August 2010 (data-basis: SED; data for March 2008 to December 2008 not available)

Details dieser Ereignisse und ihrer Bewältigung sei auf die entsprechenden Artikel verwiesen [6, 7].

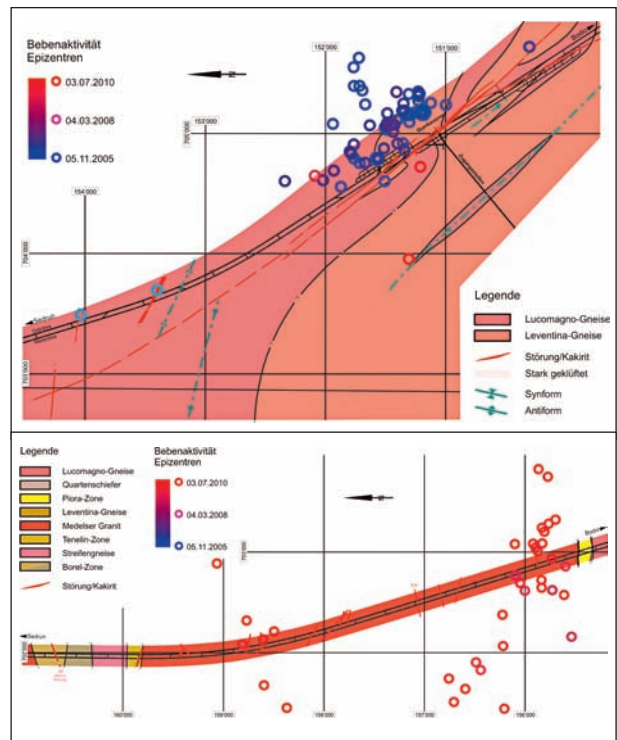
Beim Anfang März 2010 erfolgten Niederbruch in der Weströhre in Faido in der Tenelin-Zone bei km 230.312 war im Gegensatz zu den beiden anderen Ereignissen kein Wasser beteiligt. Dieses war vermutlich mit der vorausseilenden Oströhre, in der in diesem Abschnitt initial etwa 2.5 l/s angetroffen wurden, abdrainiert worden.

3 Mikrobeben

Nicht nur beim „hydraulic fracturing“ in tiefen Geothermiebohrungen können Mikrobeben indiziert werden, sondern – wie dies im Teilabschnitt Faido der Fall war – auch beim Vortrieb von tiefliegenden Tunneln. Wie aus Bild 7 ersichtlich ist, traten diese Ereignisse hauptsächlich in 2 unterschiedlichen Zeitabschnitten auf, in denen auch völlig unterschiedliche geologische Verhältnisse aufgefahen wurden.

Im ersten Zeitabschnitt von Oktober 2005 bis Februar 2008 erfolgte der Ausbruch in den flachliegenden Lucomagno-Gneisen im nördlichen Teil der MFS Faido. Insgesamt konnten während dieses Zeitraums 112 Mikrobeben im Raum Faido detektiert werden. Die Magnituden dieser Mikrobeben schwankten zwischen -0.9 und 2.4, wobei der Grossteil der Magnituden kleiner als 1 war. Das stärkste Mikrobeben trat am 25. März 2006 mit einer Magnitude von 2.4 auf und wurde von der Bevölkerung in der Umgebung von Faido deutlich gespürt. Wie in [8] erläutert, fanden diese Mikrobeben an Bruchflächen statt, welche sich in wenigen hundert Metern Distanz östlich der Oströhre befinden und parallel zu der im Tunnel angetroffenen Hauptstörung „MFS“ mit Kakiriten verlaufen (Bild 8). Voraussetzung für die Entstehung solcher Mikrobeben ist aber, dass sich im Bereich, in dem durch den Tunnelvortrieb Spannungsveränderungen verursacht werden, ein tektonisch vorgespanntes Bruchflächensystem befindet.

Während der zweiten Periode erfolgte der Vortrieb im vorwiegend massigen, teilweise grobkörnigen bis augigen Medelser Granit. Es wurden von Januar 2009 bis August 2010 insgesamt 65 lokalisierbare Mikrobeben aufgezeichnet (Bild 8), meistens mit einer Magnitude kleiner 1. Im Dezember 2009 ereignete sich eine ganze Serie von Mikrobeben. Sie begann am 7. Dezember 2009 mit 2 Mikrobeben der Magnituden 1.7 und 2.0, gefolgt von zahlreichen Mikrobeben mit kleineren Magnituden. Die Ereignisse dieser Serie konnten alle im Gebiet zwischen Piora-Zone und Lukmanierpasshöhe lokalisiert werden. Sie weisen zudem alle sehr ähnliche Wellenformen auf, weshalb geschlossen werden kann, dass die Mikrobeben vom gleichen Verwerfungssystem stammen. Wegen der Schwierigkeiten bei der Lokalisierung der Hypozentren können sie aber nicht mit ausreichender Sicherheit einer geologischen Grossstruktur zugeordnet werden.



8 Epizentren der lokalisierten seismischen Ereignisse im südlichen (oben) und im nördlichen Bereich (unten)
Epicentres of localised seismic events in the south (top) and north (bottom) zones

is the presence of a tectonically pre-stressed fracture plane system in a zone in which stress redistribution is caused by tunnelling.

During the second period, tunnelling was mainly in massive, in some cases coarsely disintegrated to eyed, Medel Granite. A total of 65 locatable micro earthquakes, predominantly of a magnitude of less than 1, were recorded between January, 2009 and August 2010 (Figure 8). A whole series of micro earthquakes occurred in December, 2009, commencing on December 7, 2009 with 2 micro earthquakes of magnitudes of 1.7 and 2.0, and followed by numerous seismic events of lower magnitudes. It was possible to locate all of the events of this series in the region between the Piora Zone and the Lukmanier Pass. They all, in addition, exhibited extremely similar waveforms, indicating that they originated from the same fault system. Due to the difficulties of pinpointing the hypocentres, it was not possible to assign them to a particular geological macrostructure with adequate certainty.

As northward tunnelling continued, the concentrations of micro earthquakes in some cases also migrated to the north. One other concentration, at which 4 events of maximum magnitudes of 1.4 were registered in March, 2010, is located a few kilometres further to the north, for example. Four further seismic events were located another around 5 km further to the north.

Beim weiteren Vortrieb Richtung Norden wanderten die Mikrobebenherde teilweise ebenfalls nach Norden. So findet sich ein weiterer Herd, wo im März 2010 4 Ereignisse mit Magnituden von maximal 1.4 registriert wurden, wenige Kilometer weiter nördlich. Vier weitere Ereignisse wurden noch einmal ca. 5 km weiter nördlich lokalisiert.

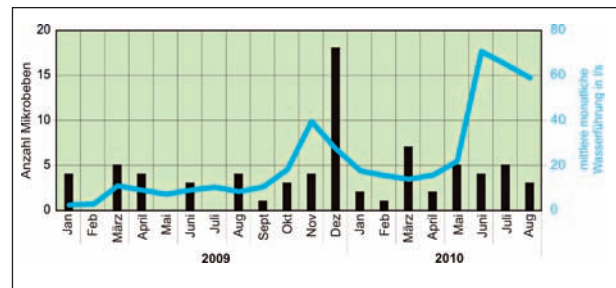
Beim Vergleich der Mikrobebenaktivität mit den Wasserzutritten in den Tunnel ergibt sich für die Mikrobebenserie vom Dezember 2009 eine gute Übereinstimmung mit den ersten grösseren Wasserzutritten von November 2009 (Bild 9). Beim zweiten grossen Wasserzutritt vom Juni 2010 ist kein solch direkter Zusammenhang mit der Mikrobebenanzahl ersichtlich. Immerhin wurden aber im Juni und Juli 9 Mikrobeben mit Magnituden bis 1.5 registriert. Dies legt den Gedanken nahe, dass die durch den Vortrieb im Medelser Granit induzierten Mikrobeben im Zusammenhang mit den Wasserzutritten stehen könnten. Dabei müssten die bei Klüftentleerungen auftretenden Spannungsänderungen (Wegfall der „Porenwasserspannung“) zu Brüchen im umgebenden Gebirge führen, welche als Mikrobeben registriert werden.

4 Prognosegenauigkeit

Wie mit diesen Beispielen gezeigt werden konnte, ist die Prognose des Gebirgsverhaltens eine sehr anspruchsvolle und schwierige Aufgabe. Einer der Gründe, die zu diesen Schwierigkeiten führen, liegt sicher darin, dass schon kleine Abweichungen, die vorgängig kaum erfasst werden können, grosse Auswirkungen zur Folge haben können. Zudem ist einmal mehr darauf hinzuweisen, dass Bauverfahren und Vortriebsgeschwindigkeit, welche beide normalerweise bei der Prognose noch nicht bekannt sind, das Gebirgsverhalten mit beeinflussen.

Aus diesen Gründen dürfte die einzige Möglichkeit, die Prognosegenauigkeit des Gebirgsverhaltens zu verbessern, darin bestehen, während der Projektierung die möglicherweise kritischen Bereiche auf dem Tunnelniveau mit aufwendigen und teuren Kernbohrungen zu erkunden. Die auszuscheidenden Bauverfahren sind dann den Erkundungsergebnissen anzupassen. Eines der besten Beispiele für diese Vorgehensweise ist sicher die erfolgreiche Querung des Tavetscher Zwischenmassivs Nord. Aber auch mit der vorgeschlagenen Vorgehensweise verbleibt eine Restunsicherheit, da mögliche kritische Bereiche nicht bekannt sein können und somit auch nicht erkundet werden.

Zum Schluss ist meinem Vorgänger F. Keller und den Baustellengeologen im Norden (S. Bucher) und Süden (P. Guntli, R. Lucchini) für die zur Verfügungstellung von Unterlagen und die anregenden Diskussionen zu danken.



9 Mikrobebenaktivität und Wasserführung im Zeitraum Januar 2009 bis August 2010
Micro earthquake activity and water influx for the period January, 2009 to August, 2010

Comparison of micro earthquake activity with water influxes into the tunnel indicates good accordance of the December, 2009 series of micro earthquakes with the first major influxes of water in November, 2009 (Figure 9). No such direct correlation with the number of micro earthquakes is apparent in the case of the second major influx in June, 2010. Nine micro earthquakes of magnitudes of up to 1.5 were nonetheless registered in June and July, suggesting that the micro earthquakes induced by tunnelling in the Medel Granites may be associated with the water influxes. The stress modifications occurring upon joint discharge (removal of “porosity-water stress”) would then be assumed to cause fractures in the surrounding rock, which are then registered as micro earthquakes.

4 Forecasting accuracy

The forecasting of rock behaviour is, as the above examples demonstrate, an extremely demanding and difficult task. One of the causes of these difficulties is most certainly the fact that even very small deviations, which can scarcely be registered in advance, can have major consequences. It should also again be noted that the tunnelling method and the rate of advance, both of which are normally not known at the time of forecasting, also influence rock behaviour.

For these reasons, the only means of improving the accuracy of rock-behaviour forecasting is probably that of exploring the potentially critical zones at tunnel level during project planning by means of expensive and work-intensive core bore holes. The tunnelling methods specified in the invitation-to-tender then need to be based on the results of such exploration. One of the best examples of the use of this procedure is the successful passage through the northern Tujetsch median massif. Even the procedure proposed results in a degree of residual uncertainty, since potentially critical zones may not be known, and would therefore also not be explored.

I wish, in closing, to express my gratitude to my predecessor, F. Keller, and the north site (S. Bucher) and south site (P. Guntli and R. Lucchini) geologists for the provision of documents and stimulating discussions.

Literatur/References

- [1] Kovari, K.; Ehrbar, H.: Gotthard Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun – Die druckhaften Strecken im TZM Nord – Projektierung und Realisierung. – Swiss Tunnel Congress 2008, S. 39–48
- [2] Weh, M.; Bertholet, F.: TBM Excavation and Stress-Induced Spalling in the Raron/Steg Drives. – Felsbau 24/6 (2006)
- [3] Kaiser, P.K.: Tunnel stability in highly stressed, brittle ground – rock mechanics considerations for Alpine tunneling. In: Geologie und Geotechnik der Basistunnels am Gotthard und am Lötschberg. – Tagungsband Geologie Alptransit 2005, vdf (2006)
- [4] Röthlisberger, B.; Sala, A.: Faido – Bewältigung schwieriger Gebirgsverhältnisse, Rückblick und Ausblick. – AlpTransit Tagung 2005, SIA Dokumentation D 0215, S. 89–96
- [5] Sala, A.: TBM-Vortrieb Faido – Erfahrungen mit Nachprofilierungen in der druckhaften Strecke. – Swiss Tunnel Congress 2010, FGU, S. 106–116
- [6] Wildbolz, A.: Amsteg – TBM-Stillstand in der Weströhre. – Swiss Tunnel Congress 2006, SIA Dokumentation D 0217, S. 43–48
- [7] Theiler, A.; Meier, R.: Injektion einer wasserführenden Störzone – Konzept und Ausführung. – Swiss Tunnel Congress 2007, SIA Dokumentation D 0222, S. 51–60.
- [8] Kissling, E.; Rehbock-Sander, M.: Gotthard-Basistunnel – Bergschläge und Mikrobeben in der MFS Faido. – Swiss Tunnel Congress 2007, SIA Dokumentation D 0222, S. 45–50

Luigi R. Gruber, dipl. Bau-Ing. ETH; Olivier Böckli, dipl. Bau-Ing. ETH; Daniel Spörri, dipl. Bau-Ing. ETH, Implen Bau AG, Zürich/CH, c/o Consorzio TAT

Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau

Technische und logistische Herausforderungen in den Teilabschnitten Bodio und Faido des Gotthard-Basistunnels

Die vom Consorzio TAT als Variante angebotene Loskombination sieht vor, die beiden Teilabschnitte Bodio und Faido nacheinander mit nur 2 TBM aufzufahren. Zur Einhaltung der Gesamtbauphase ist damit zwingend der Innenausbau gleichzeitig zu den Vortriebsarbeiten auszuführen. Diese Konstellation stellt hohe Anforderungen an die Logistik und erfordert massgeschneiderte Lösungen in der Ausführung.

Lining Installation as Excavation Continues

Technical and logistical challenges at the Bodio and Faido Sub-Sectors of the Gotthard Base Tunnel

The lot combination offered by Consorzio TAT as a variant involves successive driving of the 2 sub-sectors at Bodio and Faido using only 2 TBMs. It will therefore be imperative to perform lining of the tunnel while excavation work continues if the overall completion deadline is to be met. This arrangement makes great demands on site logistics and necessitates tailor-made solutions for its execution.

1 Einleitung

Das Consorzio TAT, bestehend aus den Firmen Implen Bau AG (Aarau, Federführung), Alpine Bau GmbH (Salzburg), CSC SA (Lugano), Hochtief AG (Essen) und Impregilo SpA (Milano) erstellt im Auftrag der AlpTransit Gotthard AG die beiden südlichen Bauabschnitte Bodio (Los 554) und Faido (Los 452) des Gotthard-Basistunnels im Rohbau.

Hauptarbeiten:

Los Bodio: TBM-Vortriebe mit 8.8 m Durchmesser (2 x ca. 14 km Länge) inkl. Innenausbau (2 x ca. 15.5 km)
Los Faido: Sprengvortrieb Multifunktionsstelle (ca. 2.5 km Länge) inkl. Innenausbau; TBM-Vortriebe mit 9.4 m Durchmesser (2 x ca. 11 km Länge) inkl. Innenausbau

Die als Variante angebotene und beauftragte Loskombination sieht gegenüber einem Bauablauf bei Einzellosen vor, die beiden Teilabschnitte Bodio und Faido nacheinander mit nur 2 Tunnelbohrmaschinen aufzufahren. Zur Einhaltung der vorgegebenen Gesamtbauphase zieht dies einen hohen Grad an Parallelisierung der Vortriebs- und Ausbauarbeiten nach sich und damit insbesondere die Notwendigkeit, den Innenausbau zeitlich parallel zu den Vortriebsarbeiten auszuführen, d. h. die Innengewölbebaustellen der beiden Tunnel-

1 Introduction

Consorzio TAT, consisting of Implen Bau AG (Aarau, consortial co-ordination), Alpine Bau GmbH (Salzburg), CSC SA (Lugano), Hochtief AG (Essen) and Impregilo SpA (Milan), is executing on behalf of AlpTransit Gotthard AG the 2 southern lots of the basic tunnel at Bodio (Lot 554) and Faido (Lot 452) for the Gotthard Base Tunnel.

Main works:

Bodio lot: TBM tunnelling, diameter 8.8 m (2 x approximately 14 km length), inc. lining installation (2 x approximately 15.5 km)
Faido lot: D&B tunnelling of multifunction station (length: approximately 2.5 km), inc. lining installation; TBM tunnelling, diameter 9.4 m (2 x approximately 11 km length), inc. lining installation

The lot combination offered as a variant and subsequently selected provides, unlike the schedule in the case of individual lots, for the driving of the 2 sub-sectors of Bodio and Faido in succession using only 2 tunnel-boring machines. This will involve a high level of parallel tunnelling and lining installation work and therefore, in particular, the necessity of performing lining installation as tunnelling continues, in order to meet the specified completion deadline; in other words, the lining

Simultanéité de l'excavation et de l'aménagement intérieur

Des défis techniques et logistiques dans les sections Bodio et Faido du Tunnel de Base du Saint-Gothard

La combinaison de lots proposée comme variante par le Consorzio TAT prévoit de creuser les 2 tronçons Bodio et Faido l'un après l'autre, avec seulement 2 tunneliers. Pour respecter la durée prévue pour l'ensemble des travaux, il est donc indispensable de réaliser l'aménagement intérieur en même temps que les travaux d'avancement. Cette configuration pose de grandes exigences en matière de logistique et exige des solutions sur mesure dans l'exécution.

Contemporaneità di scavo e allestimento interno

Le sfide tecniche e logistiche in le tratte Bodio e Faido della Galleria di Base del Gottardo

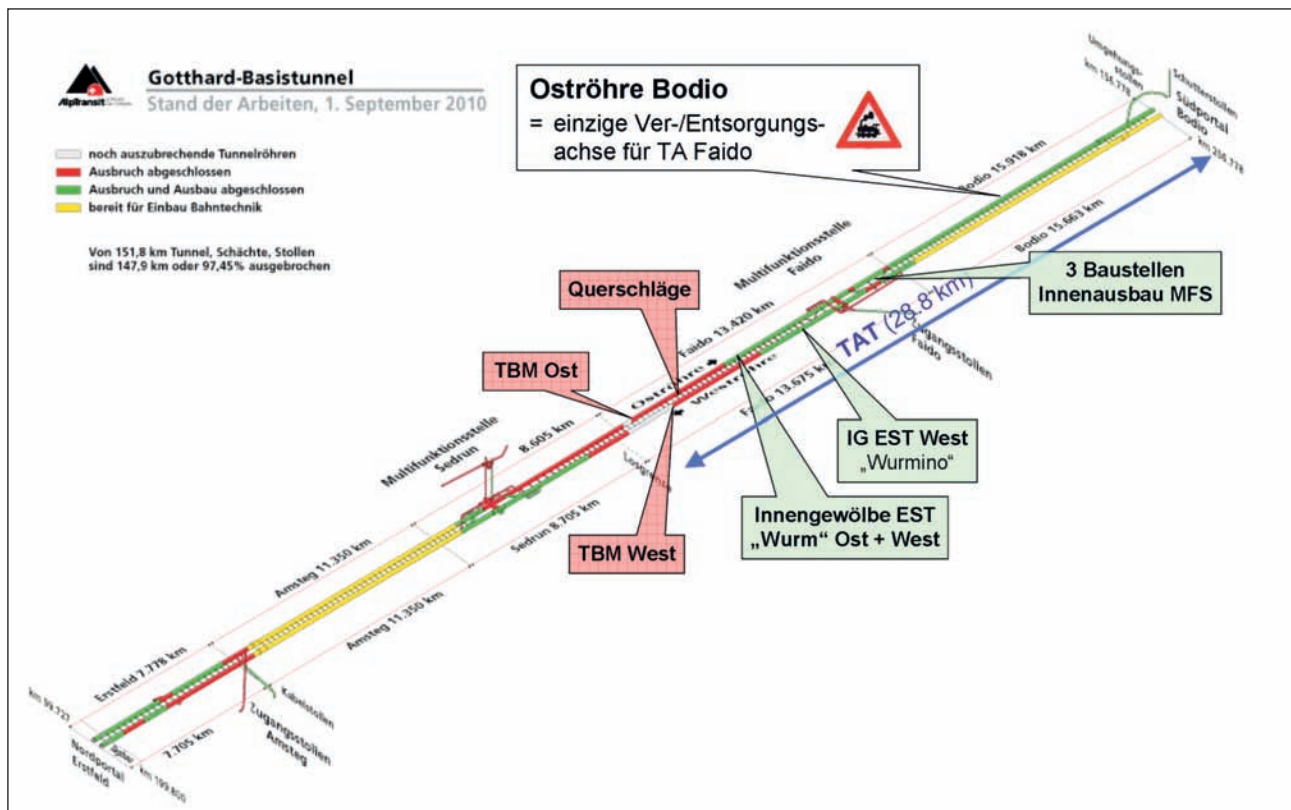
La combinazione di lotti proposta come variante dal Consorzio TAT prevede la realizzazione consecutiva delle tratte di Bodio e Faido con sole 2 TBM. Per rispettare i tempi di realizzazione, è quindi indispensabile portare avanti contemporaneamente gli allestimenti interni e l'avanzamento degli scavi. Questa costellazione pone enormi sfide alla logistica e richiede soluzioni su misura nella realizzazione.

röhren Ost und West folgen den TBM-Vortrieben im Abstand von wenigen Kilometern.

Die zeitliche Parallelität von Vortrieb und Innenausbau stellt besondere Herausforderungen an die Logistik der Baustelle und erfordert massgeschneiderte Lösungen in der Ausführung. Auf diese Thematik wird im Folgenden eingegangen.

installation worksites for the East and West Bores will follow TBM tunnelling operations at a lag of a few kilometres.

Simultaneous tunnelling and lining installation presents special challenges to the site logistics, and necessitates tailor-made working solutions. These topics are examined below. The overall construction sequence and schedule are firstly



1 Oströhre Bodio als einzige Versorgungsachse für Arbeiten im TA Faido ab Bauphase 2 (Beispiel: Stand September 2010)
The East Bore at Bodio, as from Phase 2 the only supply axis for work in the Faido sub-sector (example: status at September, 2010)
Grafik/Graphic: AlpTransit Gotthard AG

Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau • Technische und logistische Herausforderungen in den Teilabschnitten Bodio und Faido des Gotthard-Basistunnels

Zur besseren Veranschaulichung der teilweise komplexen Zusammenhänge werden zuerst der generelle Bauablauf und das Bauprogramm kurz erläutert.

2 Bauablauf und Bauprogramm

2.1 Genereller Bauablauf

Wie eingangs erwähnt kann der Einbau der Innengewölbe nicht wie üblich erst nach Abschluss der TBM-Vortriebe in Angriff genommen werden, sondern muss aus terminlichen Gründen – in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen – im Abstand von einigen Kilometern den TBM-Vortrieben folgen. Zwischen TBM und Innengewölbebaustelle erfolgt zusätzlich der sprengtechnische Ausbruch der Querschläge, welche ca. alle 300 m aus der Oströhre heraus vortrieben werden.

Der generelle Bauablauf basiert auf dem Vorgehen, dass in einer ersten Bauphase zeitgleich zu den TBM-Vortrieben im TA Bodio die Multifunktionsstelle (MFS) Faido ausgebrochen wurde. Nach Durchschlag der TBM in die MFS Faido wurden diese teildemontiert und durch die Multifunktionsstelle hindurchgefahren, um anschliessend in einer zweiten Phase mit neuen, grösseren Bohrköpfen den TA Faido bis zur Losgrenze Sedrun aufzufahren. Die dritte und letzte Bauphase umfasst nach Abschluss der Vortriebsarbeiten die Fertigstellung der laufenden Betonarbeiten in den Einspurtunneln sowie der Multifunktionsstelle bis zur gestaffelten Übergabe der Bauteile an die Bauherrschaft (Bild 2).

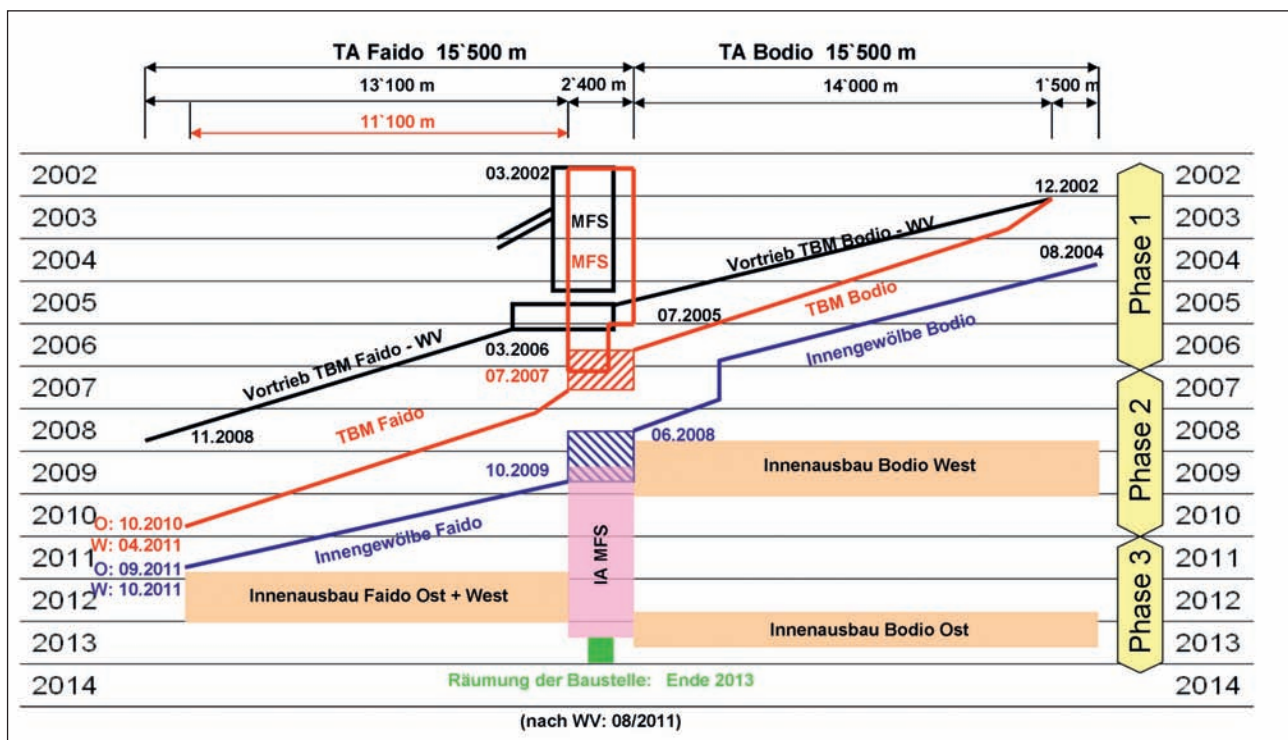
briefly discussed in order to provide an improved picture of the in some cases complex interdependencies prevailing here.

2 Construction sequence and schedule

2.1 General construction sequence

As initially mentioned, installation of the tunnel lining can here not be started only after completion of TBM tunnelling, but must, for completion-date reasons, instead follow up the face at a lag of a few kilometres, this distance depending on various boundary conditions. In addition, D&B excavation of the transverse galleries, which are to be driven from the East Bore at intervals of around 300 m, will be conducted between the TBM face and the lining installation worksite.

The general construction sequence is based on the procedure of excavation of the Faido multifunction station (MFS) simultaneously to the TBM tunnelling operations in the Bodio sub-sector in the initial construction phase. After the TBMs' breakthrough into the Faido MFS, this machine was partially dismantled and passed through the multifunction station, in order, during a second phase, to drive the Faido sub-sector, using new and larger cutter heads, up to the lot boundary at Sedrun. The third and final phase comprises, after completion of excavation, the completion of the ongoing concreting work in the single-track tunnels and of the multifunction station up to the stage-by-stage hand-over of the tunnel bores to the client (Figure 2).



2 Schematisches Bauprogramm – Vergleich zu ursprünglichem Werkvertragsprogramm
Schematic view of the construction schedule – comparison with original contractual schedule

Lining Installation as Excavation Continues • Technical and logistical challenges at the Bodio and Faido Sub-Sectors of the Gotthard Base Tunnel

Ab Beginn der zweiten Bauphase steht infolge Bankettarbeiten in der Weströhre Bodio und anschließender Übergabe der Röhre an den Bauherrn (zum Einbau der Bahntechnik durch separaten Unternehmer) für die gleisgebundene Ver- und Entsorgung aller Teilbaustellen des TA Faido nur noch die Oströhre Bodio zur Verfügung (Bild 1). Im Laufe der dritten Bauphase wird durch den Einbau der Bankette in der Oströhre Bodio die Gleisverbindung zum TA Faido endgültig unterbrochen.

2.2 Sondereinflüsse auf Innenausbau

2.2.1 Erste Bauphase (2002 bis 2007)

Die Innengewölbebaustellen im Teilabschnitt Bodio wurden ca. 1½ Jahre nach Vortriebsbeginn der TBM in Angriff genommen. Unerwartete Gebirgsdeformationen in den TBM-Vortrieben Bodio zogen umfangreiche Nachprofilierungsarbeiten nach sich, wodurch die Innengewölbebaustellen in beiden Tunnelröhren für über 1 Jahr zum Stillstand kamen und mit entsprechender Verspätung die Losgrenze zum TA Faido erreichten (Mitte 2008).

2.2.2 Zweite Bauphase (2007 bis 2010)

Ähnlich wie zuvor im TA Bodio zogen auch im TA Faido erhebliche Gebirgsdeformationen umfangreiche Reprofilierungsarbeiten in beiden Tunnelröhren nach sich und führten zu einer mehrmonatigen Verzögerung der Innengewölbebaustellen, wodurch diese für das Gesamtbauprogramm terminkritisch wurden und auf eine mittlere Monatsleistung von je 600 m beschleunigt werden mussten. Für die Reprofilierungsarbeiten im TA Faido wurde unter Weiterführung beider TBM-Vortriebe nacheinander je 1 Röhre für den Durchgangsverkehr gesperrt und mittels schräg angeordneter, baulogistischer Querschläge (Projektänderung) lokal umfahren.

2.2.3 Dritte Bauphase (2011 bis 2013)

Mit Abschluss der Vortriebsarbeiten im Frühjahr 2011 begann die dritte und letzte Bauphase, eine reine „Betonphase“. Bis Ende 2011 müssen die laufenden Innengewölbebaustellen beider Tunnelröhren abgeschlossen sein, gefolgt vom Einbau der Bankettarbeiten und anschließender Übergabe der Einspurtunnel an den Bauherrn im Jahr 2012.

Zeitgleich läuft der Innenausbau der MFS Faido an mehreren Arbeitsstellen auf Hochtouren. Bis Ende 2013 müssen auch hier sämtliche Bauteile im Rohbau fertig erstellt und an den Bauherrn übergeben sein.

2.3 Zeitliche Entwicklung des Werkvertragsbauprogramms

Aufgrund von erheblichen, geologisch bedingten Verzögerungen beim Ausbruch der MFS Faido, den TBM-Vortrieben im TA Bodio wie auch im TA Faido sowie infolge der in beiden Teilabschnitten erforderlichen Reprofilierungsarbeiten musste das Werkvertragsbauprogramm seit Baubeginn 2002 mehrfach angepasst werden. Die insgesamt kumulierte Bauzeitverlängerung konnte nur dank mehrerer, umfangreicher

As a result of bench work in the West Bore at Bodio, and subsequent hand-over of the bores to the client (for installation of rail equipment by other contractors), only the East Bore at Bodio is available as from the start of the second construction phase for rail-based transport movements to and from all the sub-sites of the Faido sub-sector (Figure 1). The rail link to the Faido sub-sector will be finally interrupted during the third phase, due to the installation of the bench in the East Bore at Bodio.

2.2 Special factors influencing lining installation

2.2.1 First construction phase (2002 to 2007)

The lining installation worksites in the Bodio sub-sector were established around 1½ years after the start of TBM tunnelling. Unexpected rock deformations in the TBM-tunnelling sectors at Bodio resulted in extensive reprofiling work, with the consequence that the lining installation worksites in both bores were idle for more than a year, and thus reached the lot boundary with the Faido sub-sector correspondingly late (mid-2008).

2.2.2 Second construction phase (2007 to 2010)

As previously in the Bodio sub-sector, significant rock deformations in the Faido sub-sector also necessitated extensive reprofiling in both bores, causing a delay of several months for the lining installation worksites, as a consequence of which these sites became completion-critical for the overall schedule, necessitating their acceleration to an average monthly rate of progress of 600 m each. For the reprofiling work in the Faido sub-sector, 1 bore in each case was closed to through traffic successively, while both TBM operations continued, and these sectors locally bypassed by means of oblique site-logistical transverse galleries (project change).

2.2.3 Third construction phase (2011 to 2013)

The third and final, purely “concreting”, phase started after completion of tunnelling work in the spring of 2011. The ongoing lining installation worksites in both bores must have completed their work by the end of 2011, followed by the installation of bench work and subsequent handover of the single-track tunnels to the client in 2012.

Lining installation of the Faido MFS at multiple worksites is continuing apace simultaneously. Here, too, all elements of the basic tunnel must have been completed and handed over to the client by the end of 2013.

2.3 Chronological development of the contractual construction schedule

It has been necessary to amend the contractual construction schedule since the start of work in 2002, due to considerable delays incurred as a result of the geology encountered during excavation of the Faido MFS, TBM tunnelling operations in the Bodio and the Faido sub-sectors, and the reprofiling work necessary in both sub-sectors. It was possible to restrict the total accumulated extension of the construction period to

Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau • Technische und logistische Herausforderungen in den Teilabschnitten Bodio und Faido des Gotthard-Basistunnels

Beschleunigungsmassnahmen, welche durch den Bauherrn beim Consorzio TAT bestellt wurden, auf die per Bauende voraussichtlich rund 2 Jahre begrenzt werden (Bild 2).

Unter dem Arbeitstitel „Projekt Capricorn“ hat der Bauherr 2010 mit den Rohbau-Unternehmern aller Teilabschnitte sowie mit dem Bahntechnikunternehmer eine von 2017 auf 2016 um 1 Jahr vorgezogene Inbetriebnahme des GBT geprüft und schliesslich beauftragt.

3 Logistische Herausforderungen und Lösungen im Gleisbetrieb

3.1 Bedeutung der Logistik

Durch die Komplexität und Grösse der Baustelle mit einer sehr hohen Parallelität von verschiedenen, teilweise auf weite Strecken verteilten Arbeitsstellen kommt der Logistik innerhalb der Baustellenorganisation eine entscheidende Rolle zu. Die Abteilung Logistik zählt zusammen mit der Maschinentechnischen Abteilung (MTA) zu den „Rückwärtigen Diensten“ der Baustelle und ist damit ein reiner Dienstleistungsbetrieb für die Produktion. Stützpunkt der Logistik ist der Installationsplatz in Bodio.

Die Logistik ist verantwortlich für die Sicherstellung der Ver- und Entsorgung der Gesamtbaustelle. Nebst dem Handling von Ausbruchmaterial, Beton und Baumaterialien koordinieren spezielle Dispo-Bauführer auch die Personentransporte sowie Unterhaltsaufgaben an Gleis- und Entwässerungsanlagen.

Auf der Baustelle sind ca. 50 Zugkompositionen mit insgesamt 70 Lokomotiven und über 350 Wagen im Einsatz. Im Tagesdurchschnitt erfolgt alle ca. 6 Min. eine Zugbewegung. Die Abwicklung dieses umfangreichen und komplexen Schienenverkehrs erfolgt ab einer zentralen Zugleitstelle, von wo aus jede einzelne Zugbewegung im weitverzweigten, vollautomatisierten Schienennetz via Bildschirm gesteuert und überwacht wird (Bild 3a, 3b).

an estimated around 2 years at completion only thanks to multiple – and radical – acceleration provisions, which were awarded by the client to Consorzio TAT (Figure 2).

In 2010, the client, under the working title “Project Capricorn”, examined with the tunnelling contractors for all sub-sectors and the rail-equipment contractor the bringing forward of the commissioning of the GBT by 1 year, to 2016, and ultimately opted for this alternative.

3 Logistical challenges and rail haulage solutions

3.1 The significance of the logistics

Decisive importance attaches to logistics within site organisation, in view of the complexity and magnitude of the site, involving an extremely high diversity of worksites, spread in some cases across large lengths, operating in parallel. The Logistics department, together with the Machine Technology (MT) department, forms part of the “Rear Services” for the site, and thus constitutes a pure “service-provider” for Production. The work yard at Bodio is the logistics base.

Logistics is responsible for the assurance of transport to and from the entire site. In addition to handling muck, concrete and construction materials, special site dispatchers also coordinate man-riding movements and maintenance work on the rail and drainage facilities.

Around 50 train formations, with a total of 70 locomotives and more than 350 wagons, are in use on the site. On a daily average, 1 train movement takes place approximately every 6 minutes. Management of this extensive and complex rail traffic is accomplished from a central Train Control Centre, from which every individual train movement in the highly ramified and fully automated rail system is supervised and controlled on monitor screens (Figures 3a and 3b).

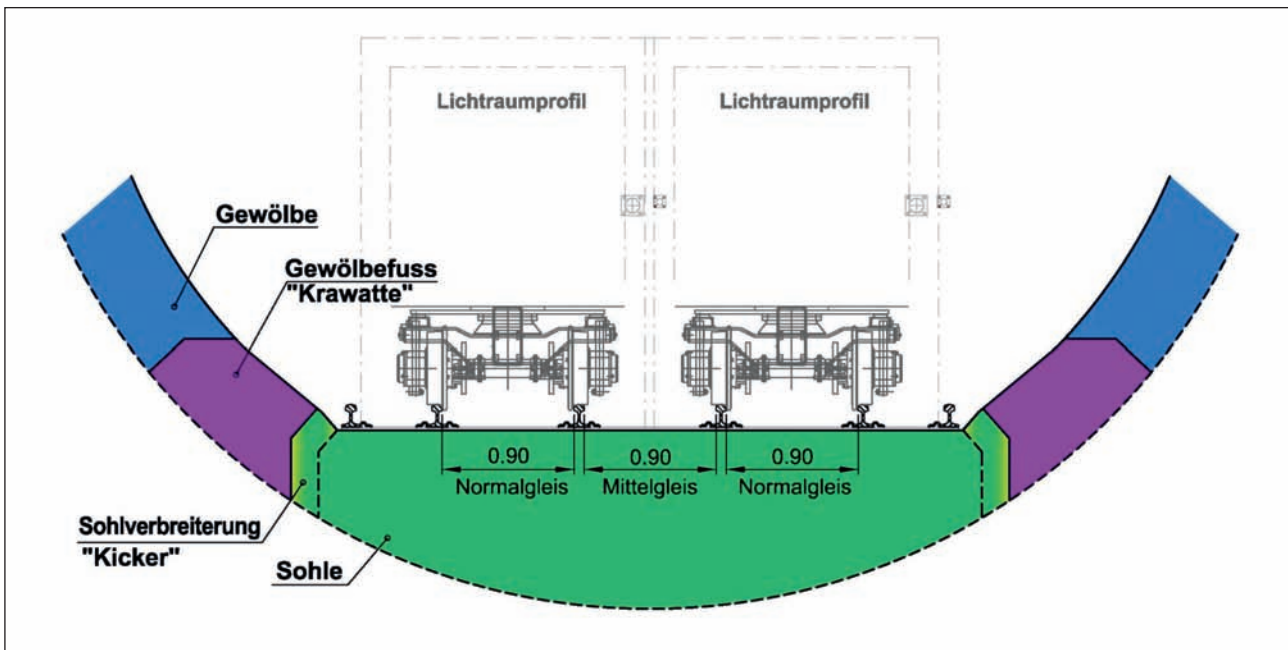


3a Zentrale Zugleitstelle auf dem Installationsplatz Bodio
The central train control facility at the Bodio work yard



3b Betonzug beim Verlad unter der Betonanlage Bodio
Concreting train being loaded under the concrete chute at Bodio

Lining Installation as Excavation Continues • Technical and logistical challenges at the Bodio and Faido Sub-Sectors of the Gotthard Base Tunnel



4 Anpassung des Sohldesigns und Anordnung der Gleisanlage
Modification of floor design, and arrangement of track system

3.2 Baugleisanlage

3.2.1 Anordnung Gleise im Tunnelquerschnitt

Die Transportlogistik für die TBM-Vortriebe, die Querschlagbaustelle, die beiden Innengewölbebaustellen sowie weitere Baustellen des Innenausbau der MFS erfolgt im Gleisbetrieb. Das Gleisnetz der Gesamtbaustelle erreicht in der zweiten Bauphase (Abschnitt 2.3) eine maximale Länge von 125 km mit über 200 elektrifizierten Weichen.

Damit im rückwärtigen Bereich der TBM-Vortriebe zeitgleich weitere Arbeitsstellen betrieben werden können, sind pro Tunnelröhre zwingend 2 Gleise erforderlich, wobei im Bereich der Arbeitsstellen je 1 Gleis als Arbeitsgleis und 1 Gleis als Durchfahrtsgleis dient. Die 2 Gleise mit einer Spurweite von 900 mm sind so angeordnet, dass die beiden innen liegenden Schienen wiederum eine Spurweite von 900 mm ergeben. Dies stellt einerseits sicher, dass das Rollmaterial mit einer lichten Breite von 1.6 m kreuzen und andererseits das „Mittelgleis“ für die Bankettarbeiten ohne weiteren Umbau als Fahrspur verwendet werden kann. Für die TBM-Nachläufer, die Innengewölbeinstallationen („Würmer“) und alle übrigen mobilen, gleisgebundenen Installationen sind 2 weitere, separate Schienen ausserhalb der beiden Fahrgleise angeordnet („Schalwagenschienen“) (Bild 4).

3.2.2 Einfluss Gleisanlage auf Sohldesign und Bauablauf Innengewölbe

Für die Anordnung der aussen liegenden Schalwagenschienen musste aus Stabilitäts- und Platzgründen das ursprüngliche Design der Sohle, welche im Bereich der TBM-Nachläufer erstellt wird, angepasst werden, indem diese beidseitig um ca. 20 cm verbreitert wurde. Dadurch umfasst der Sohlquerschnitt neu auf beiden Seiten die sog. „Kicker“, wel-

3.2 Site rail system

3.2.1 Arrangement of tracks in the tunnel cross-section

Supply and disposal logistics for TBM tunnelling, the transverse gallery site, the 2 lining installation worksites and also other sites for lining installation at the MFS, is accomplished by rail. During the second phase of construction (Section 2.3), the rail system for the site as a whole reached a maximum length of 125 km, with more than 200 sets of electrically operated points!

Two tracks per tunnel bore are vitally necessary in order that other worksites can be operated simultaneously to the rear of TBM operations, 1 track functioning as the “working track” at worksites, and 1 track as a through running track. The 2 tracks, each of 900 mm gauge, are arranged in such a way that the 2 inner rails themselves produce a gauge of 900 mm. This ensures, on the one hand, that the rolling stock, with an unobstructed clearance of 1.6 m, can pass and, on the other hand, that the “centre track” can be used without further conversion as a track for the bench work. Two further, separate, rails (“formwork-car rails”) are installed outside the 2 running tracks for the TBM back-up system, the lining installation units (“worms”) and all other mobile, rail-mounted installations (Figure 4).

3.2.2 The influence of the rail system on floor design and the installation sequence for the tunnel lining

It was necessary, for stability and space reasons, to modify the original design of the floor, which is laid in the sector occupied by the TBM back-up system, by widening it by around 20 cm on both sides, in order to permit installation of the “outboard” formwork-car rails. The floor cross-section thus

che als Anschlag der Gewölbefuss-Schalungen dienen. Die Gewölbefussbereiche werden im Bereich der Innengewölbebaustelle auf eine Höhe von ca. 1 m in einem separaten Schritt vorgängig zum eigentlichen Gewölbe betoniert (sog. „Krawatten“), um später das Ein- und Ausschwenken der seitlichen Segmente der Gewölbeschalungen zu ermöglichen, was ohne diesen Zwischenschritt aufgrund der Schalwagen-schienen nicht möglich wäre (Bild 4).

3.2.3 Spurwechsel und Einspurstrecken

Die Querschlagbaustelle, die Innengewölbebaustellen sowie alle „Wanderbaustellen“ wie Gleisunterhalt, Tunnelreinigung, Elektroinstallationsarbeiten, Vermessung usw. ziehen durch Besetzung eines der beiden Gleise Einspurstrecken nach sich, welche von den Ver- und Entsorgungszügen aller übrigen Baustellen im Gegenverkehr befahren werden müssen. Damit die besetzten Gleisabschnitte auf dem Nachbargleis umfahren werden können, sind auf der ganzen Tunnellänge im Abstand von ca. 1 km doppelte Spurwechsel (links und rechts) eingebaut.

Die Einspurstrecken ziehen durch den dadurch erzwungenen Zugbetrieb im Gegenverkehr eine erhebliche Einschränkung der Kapazität der Gleisanlage nach sich. Nebst Wartezeiten infolge entgegenkommender Züge ist bei der Vorbeifahrt an diesen Arbeitsstellen im Gleisbereich eine Reduktion der Geschwindigkeit auf 5 km/h vorgeschrieben (anstelle der sonst geltenden Maximalgeschwindigkeit von 24 km/h) (Bild 5).

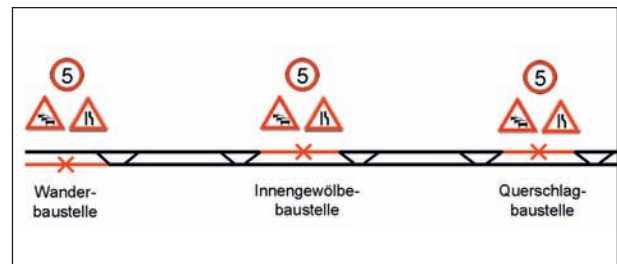
4 Umsetzung Parallelität TBM-Vortrieb – Innenausbau

4.1 Herausforderung und Lösungsansatz

Spezielle Herausforderung der Innengewölbebaustellen ist es, dass die Versorgungsleitungen für die TBM-Vortriebe sowie die Querschlagbaustelle (Kühl-/Brauchwasser, Strom, Kommunikation) „in Betrieb“ durch den Arbeitsbereich hindurch geführt werden müssen. Zu diesem Zweck sind die Innengewölbebaustellen in beiden Röhren mit allen dazu



6 Montage der „Würmer“ auf dem Installationsplatz in Bodio (Nachtaufnahme)
Assembly of the “worms” at the Bodio work yard (night photo)



5 Schema Gleisanlage mit Spurwechseln; Einfluss von Einspurbereichen auf Zugbetrieb
Diagram of track system, showing crossovers, and the influence of single-line sectors on train operation

now includes on both sides the so-called “kickers”, which serve as the stop for the lining base formwork systems. The lining bases are concreted prior to the lining itself up to a height of around 1 m at the lining installation worksite in a separate operation (so-called “neckties”), in order to permit subsequent pivoting in and out of the side segments of the lining formwork systems, which would not have been possible without this intermediate operation, due to the formwork-car rails (Figure 4).

3.2.3 Crossovers and single-track sections

Since they occupy 1 of the 2 tracks, the transverse gallery site, the lining installation worksites and all “itinerant worksites”, such as track maintenance, tunnel cleaning, electrical installation, surveying, etc., cause single-line sections which the supply/disposal trains for all other sites must be able to traverse in “single-line working”. Double crossovers (left and right) are installed throughout the length of the tunnel at intervals of around 1 km, in order to permit bypassing of the occupied sections of track, using the other track.

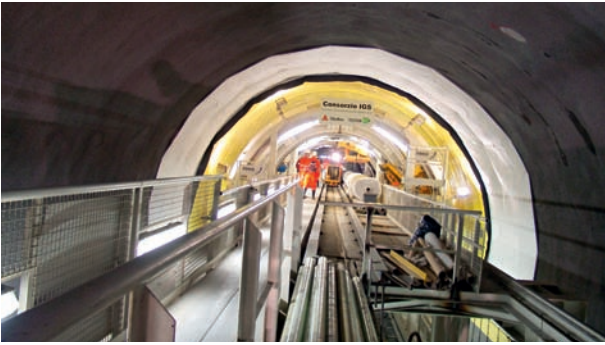
The single-track sections, due to the single-line working thus necessary, significantly reduce the track system’s haulage capacity. In addition to the waiting times caused by trains in the opposite direction, a speed limit of 5 km/h is mandatory (instead of the maximum speed of 24 km/h otherwise applying) when passing these worksites (Figure 5).

4 Simultaneous TBM-tunnelling and lining installation

4.1 Challenges and conceptual solution

The particular challenge posed by the lining installation worksites is the fact that the supply lines for TBM-tunnelling operations and for the transverse gallery site (cooling/utility water, power, communications) must be routed “in operation” through the working area. For this purpose, the lining installation worksites in both bores, with all the necessary sub-systems, are mounted in sequence for a length of around 600 m on corresponding installations (so-called “worms”), which function simultaneously as a pipe gantry (Figure 6).

Lining Installation as Excavation Continues • Technical and logistical challenges at the Bodio and Faido Sub-Sectors of the Gotthard Base Tunnel



7 Innengewölbeinstallation, Arbeitsbereich Gewölbeabdichtung
Installation of the tunnel lining, roof sealing work sector



8 „Wurm“ Ost im Bereich der MFS Faido: Vor- und Nachläufer-
schalung, „Elbogengelenk“
The east “worm” near the Faido MFS; preceding and trailing
shuttering systems, “elbow joint”

erforderlichen Teilarbeitsschritten auf ca. 600 m Länge hintereinander auf entsprechenden Installationen (sogenannte Würmer) angeordnet, welche gleichzeitig als Rohrbrücke dienen (Bild 6).

4.2 Innovation Innengewölbeinstallation („Wurm“)

Drei wesentliche Anforderungen sind es, welche es bei der Planung und Realisierung der Innengewölbeinstallationen zu berücksichtigen galt:

- Die Installation muss auf ihrer gesamten Länge zweigleisig unterfahrbar sein, wobei eines der beiden Gleise standardmässig durch die Beton- und Materialzüge für die Innengewölbebaustelle selber belegt wird.
- Alle Arbeitsschritte für die Erstellung des Innengewölbes müssen mit einem täglichen Takt von 2 Gewölbeblöcken à 12 m (entspricht 24 m/AT) durchgeführt werden können.
- Die Versorgungsleitungen für die TBM-Vortriebe sowie die Querschlagbaustelle, d.h. die Vor- und Rücklaufleitung für Kühlwasser, das 24-kV-Mittelspannungskabel sowie die Kommunikationsleitungen müssen vor der Innengewölbebaustelle von ihren Halterungen am Parament weggenommen, durch die Baustelle hindurchgeführt und hinten wieder seitlich am fertigen Innengewölbe aufgehängt werden. Dies soll so erfolgen, dass der Betrieb der Leitungen möglichst kontinuierlich gewährleistet bleibt.

Insgesamt setzt sich die Erstellung des Innengewölbes aus 10 Arbeitsschritten zusammen, welche auf der Innengewölbeinstallation räumlich hintereinander angeordnet sind, um eine Entflechtung der Arbeiten zu erzielen:

- Profilkontrolle mit allfälligen lokalen Reprofilierungen,
- Kontrolle Abdichtungsträger (Welligkeit Spritzbetonoberfläche) mit allfälligen Korrekturen,
- Reinigung Gewölbefussbereiche (Anschluss an Sohle),
- Verlegen Gewölbefussdrainageleitungen inkl. Kiespackung,
- Abdichtung Gewölbefussbereich,
- Schalen und Betonieren der Gewölbefussbereiche (sogenannte Krawatten),
- Abdichten Gewölbe (Bild 7),
- Aufbau Bewehrung Innengewölbe (nur in Störzonen und im Bereich der Querschläge),

4.2 Innovation: the lining installation units (“worms”)

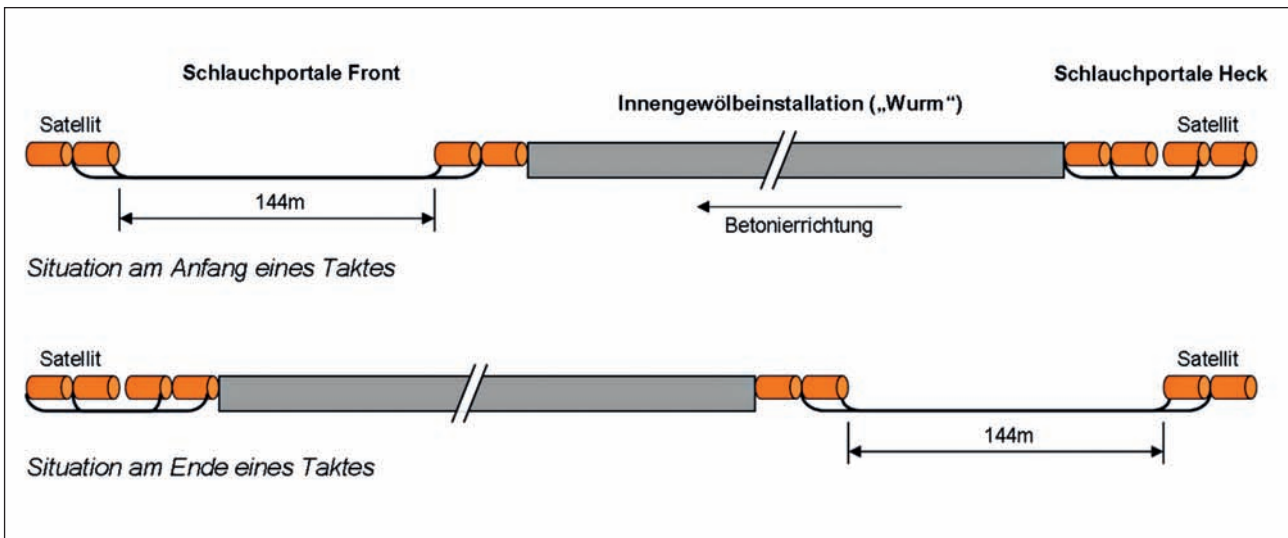
There were 3 essential requirements which had to be taken into account in the planning and execution of the lining installation unit:

- The installation had to permit double-track passage of trains throughout its length, 1 of the 2 tracks generally being occupied by the concreting and materials trains for the lining installation worksite itself.
- It had to be possible to perform all operations for the installation of the tunnel lining on a cycle of two 12 m lining blocks per day (equating to 24 m/working-day).
- It was necessary to route the supply lines for the TBM operations and for the transverse gallery site, i.e. the supply and return lines for cooling-water, the 24 kV medium-voltage cable and the communications lines, away from their mountings on the side walls before reaching the lining installation worksite, then through the site itself, and suspend them again to the side from the finished tunnel lining. This was to be accomplished in such a way that these lines remained continuously in operation wherever possible.

Installation of the tunnel lining consists, in all, of 10 operations which are spatially arranged in succession on the lining installation unit, in order to achieve separation of work:

- profile inspection, including any local reprofiling necessary,
- checking of sealing mountings (ripple of the shotcrete surface), including any corrections necessary,
- cleaning of the lining base areas (connection to floor),
- installation of lining base drainage lines, inc. gravel packing,
- sealing of the lining base area,
- shuttering and concreting of the lining base areas (so-called “neckties”),
- sealing of the lining (Figure 7),
- installation of the tunnel lining reinforcement (only in faulted zones and in the vicinity of the transverse galleries),
- shuttering and concreting of the tunnel lining using the “back-step” method, with 1 preceding and 1 trailing shuttering system,
- curing of the concrete (3 working-days).

Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau • Technische und logistische Herausforderungen in den Teilabschnitten Bodio und Faido des Gotthard-Basistunnels



9a Schema Einsatzweise Schlauchportale für Kühlwasserleitungen „Wurm“
Diagram of the use of the hose portals for the “worm” cooling-water lines

- Schalen und Betonieren Innengewölbe im Pilgerschrittverfahren mit je einer Vor- und Nachläuferschalung,
- Nachbehandlung des Betons (3 AT).

Die Längen der verschiedenen Arbeitsbereiche enthalten jeweils ausreichend Reserve, um nicht bereits bei geringen Störungen in einem einzelnen Arbeitsschritt den täglichen Takt von 24 m zu gefährden und gleichzeitig einen optimalen (minimalen) Personaleinsatz zu ermöglichen. Die Innengewölbeinstallationen haben eine Gesamtlänge über alles von je rund 600 m.

Die Fortbewegung der Innengewölbeinstallation erfolgt mittels eines „Ellbogengelenkes“ (Bild 8) unmittelbar vor den beiden Gewölbeschalungen, d.h. durch wechselweises Festklammern der hinteren resp. vorderen Hälfte der Installation an den Schalwagenschienen und entsprechendes Vorschieben resp. Nachziehen derselben mittels hydraulischer Zylinder. Diese Fortbewegungsart und die imposante Länge der Innengewölbeinstallationen haben ihr die Oberbezeichnung „Wurm“ eingetragen.

Technisch herausfordernd ist auch die möglichst unterbrechungsfreie Durchführung der Versorgungsleitungen für die Vortriebe durch die Innengewölbebaustelle. Gewählt wurde hier eine Lösung mit Auf- resp. Abtrommelungseinrichtungen für die Leitungen vor und hinter der Innengewölbeinstallation, welche ihrerseits als Rohrbrücke, d.h. mit fest installierten Leitungsabschnitten ausgebildet ist. Die Trommeln sind ausgelegt für die Aufnahme von je ca. 150 m Leitung, womit nur alle 6 Arbeitstage (resp. 144 m Innengewölbe) ein Umschlagen der Leitungen mit kurzzeitigem Unterbruch der Versorgung der Vortriebe (ca. 1.5 bis 2 Stunden jeweils während der Wartungsschicht der TBM-Vortriebe) erforderlich wird.



9b Schlauchportal „Wurm“, Front-Satellit
The “worm” hose portal, front satellite

The lengths of the various working zones in each case include sufficient reserves to ensure that minor problems in a single working operation do not endanger achievement of the daily 24 m cycle and, simultaneously, to permit optimum (i.e. minimum) manning. Each of the lining installation units has an overall total length of around 600 m.

The lining installation unit is moved by means of an “elbow joint” (Figure 8) located immediately ahead of the 2 lining formwork systems, i.e. by means of alternating gripping by the front or rear half of the installation on to the formwork-car rails and corresponding forward or rearward movement by means of hydraulic cylinders. This mode of movement, and the considerable length of the lining installation units, earned them the nickname “worms”!

Also technically challenging is the – wherever possible interruption-free – passage of the supply lines for tunneling operations through the lining installation worksite. Here, a solution involving drum-reel systems for the ca-

Lining Installation as Excavation Continues • Technical and logistical challenges at the Bodio and Faido Sub-Sectors of the Gotthard Base Tunnel

Imposant sind im Speziellen die Trommeln für die Kühlwasserleitungen. Hier gilt es, für die Vor- und Rücklaufleitung je 150 m Gummi-Spiralschlauch DN300 (PN25) aufzunehmen. Dazu sind vor wie auch hinter der Innengewölbeinstallation je 4 grosse, motorisierte Schlauchtrommeln paarweise auf Portalwagen aufgebaut, wobei ein Schlauchportalwagen an der Innengewölbeinstallation angekoppelt und der andere als Satellit verfahrbar ist (Bild 9a, 9b).

4.3 Einfluss auf das Schutterkonzept der TBM-Vortriebe

Im modernen Tunnelbau haben sich bei langen Vortrieben zur Schutterung seit Jahren Förderbandlösungen durchgesetzt und zwar sowohl bei mechanisierten wie auch bei konventionellen Vortrieben. Auch im vorliegenden Projekt wurde deshalb bereits in der Angebotsphase eingehend untersucht, ob auch hier diese Lösung Anwendung finden kann.

Schon in einem frühen Stadium kristallisierten sich die parallel zu den TBM-Vortrieben mitlaufenden Innengewölbebaustellen zum eigentlichen Knackpunkt bei der Lösungsfindung. Zum einen verunmöglicht das zur Verfügung stehende Lichtraumprofil im Bereich der Gewölbeschalungen die zusätzliche Durchführung eines Streckenbandes. Zum anderen wird auch die „Umgehung“ der Innengewölbebaustelle durch in den Querschlägen angeordnete Transferbänder in die jeweils andere Tunnelröhre durch den Umstand, dass die Innengewölbebaustellen in beiden Tunnelröhren praktisch gleichauf und mit hoher Leistung unterwegs sind, erheblich erschwert, indem praktisch monatlich Uminstallationen der Förderbandanlagen vorgenommen werden müssten.

Die Innengewölbebaustellen sind damit ausschlaggebend, dass für die TBM-Vortriebe anstelle einer Förderbandlösung der Schutterung im Gleisbetrieb der Vorrang gegeben werden musste.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Innenausbau parallel zum Vortrieb

Wann immer möglich sollte bei Tunnelprojekten der Innenausbau (Einbau der Innenschale) erst nach Abschluss der Vortriebsarbeiten in Angriff genommen werden. Damit werden zum einen Schnittstellen der Ver- und Entsorgung entflochten und gegenseitige Beeinflussungen und Behinderungen verhindert. Zum anderen können damit auch Einschränkungen in der Wahl der logistischen Lösungsansätze umgangen werden.

Im vorliegenden Projekt war dies aus terminlichen Gründen (Gesamtbauzeit) nicht möglich. Allen Friktionspunkten mit der Ver- und Entsorgung der Vortriebe musste mit entsprechenden technischen Lösungen begegnet werden, wozu die in dieser Art einmaligen Innengewölbeinstallationen, die sogenannten Würmer entwickelt und bereits für über 2 x 20 km Innengewölbe erfolgreich eingesetzt wurden. Geblie-

bles upstream und downstream of the lining installation unit, which for its part takes the form of a “pipe gantry”, i.e. with permanently installed line sections, was selected. The drums are each designed to accommodate approximately 150 m of line, with the result that repositioning/reconnection of the lines, with a short interruption to supply to the tunnelling operations (around 1.5 to 2 hours, in each case during the TBM-tunnelling operations’ maintenance shift) is necessary only every 6 working days (i.e. every 144 m of tunnel lining).

Particularly impressive are the drums for the cooling-water lines. These are each required to accommodate 150 m of DN300 rubberised spiral-reinforced hose (PN25) for the supply and return line. Four large motorised hose drums are installed in pairs in each case on portal cars ahead of and behind the lining installation unit, 1 hose portal car being coupled to the lining installation unit and the other remaining free, as a “satellite” (Figures 9a and 9b).

4.3 Implications for the muck-removal concept for TBM-tunnelling

Belt-conveyor solutions have been used for many years in modern tunnel construction, in both mechanised and conventional tunnelling, for muck removal from long drivages. For this reason, a detailed study was performed for this project, too, in order to determine whether this solution could be used here.

The lining installation worksites progressing simultaneously to TBM-tunnelling proved at an early stage to be the basic critical factor in the solution. On the one hand, the available unobstructed profile in the vicinity of the lining formwork systems makes the additional inclusion of a horizontal conveyor impossible. In addition, “bypassing” of the lining installation worksite by the transfer belts installed in the transverse galleries to the respective other tunnel bore is significantly complicated by the fact that the lining installation worksites in the 2 bores are practically at the same position in the tunnel, and progressing at high rates, since it would be necessary to relocate the belt-conveyor systems virtually at monthly intervals.

The lining installation worksites are thus the definitive factor in determining that muck removal from the TBM workings by rail should be preferred over a belt-conveyor solution.

5 Conclusions

5.1 Lining installation in parallel to tunnelling

Whenever possible, lining installation (installation of the inner shell) should be started in tunnel projects only after completion of tunnelling. This, on the one hand, simplifies supply/disposal interfaces and eliminates cross-influences and obstructions. In addition, there are then no restrictions on the selection of the logistical solutions.

Gleichzeitigkeit von Ausbruch und Innenausbau • Technische und logistische Herausforderungen in den Teilabschnitten Bodio und Faido des Gotthard-Basistunnels

ben sind trotzdem gegenseitige Beeinflussungen mit den Vortriebsarbeiten, welche nicht vollständig eliminiert werden können. Die Kumulierung von gleichzeitig betriebenen „Hochleistungsbaustellen“ (TBM-Vortriebe und Innengewölbebaustellen) stellt höchste Anforderungen an die (Gleis-)Logistik.

Als einschneidend eingestuft werden muss der Umstand, dass die den Vortrieben im Abstand von wenigen Kilometern folgenden Innengewölbebaustellen eine Förderbandlösung verunmöglicht haben und stattdessen eine kosten- und personalintensive Schutterung im Gleisbetrieb gewählt werden musste.

Als Nachteil aus Bauherrensicht hat sich die Parallelität des Innenausbaus zum Vortrieb im Zusammenhang mit denjenigen Tunnelabschnitten erwiesen, welche infolge unerwarteter grosser Gebirgsdeformationen umfassend reprofiliert werden mussten. Dies hat in beiden Losen Bodio und Faido zu mehrmonatigen Stillständen der Innengewölbebaustellen geführt, welche auf diese Bereiche „aufgelaufen“ sind, wodurch schlussendlich der Innenausbau terminkritisch für den Ablauf des Gesamtbauprogrammes wirkte.

5.2 Baulogistische Querschläge

Sowohl im TA Bodio wie auch im TA Faido mussten beide Tunnelröhren auf mehreren hundert Metern infolge unerwarteter grosser Gebirgsdeformationen reprofiliert werden. Im TA Faido konnten dank schnell getroffenen Entscheiden rechtzeitig zusätzliche „baulogistische Querschläge“, d.h. schräg angeordnete, mit der Stollenbahn befahrbare Querschläge (anstelle normaler Querschläge) erstellt werden. Dies ermöglichte, nacheinander die beiden zu sanierenden Tunnelabschnitte komplett für den Durchgangsverkehr zu sperren und mit grossem Gerät und geringstmöglichem Risiko für das eingesetzte Personal die Nachprofilierungsarbeiten in Rekordzeit auszuführen und gleichzeitig beide TBM-Vortriebe (und nach Abschluss der ersten Röhre auch die Innengewölbebaustelle) ohne Unterbruch weiterlaufen zu lassen.

Für die vorgängig ausgeführten Reprofilierungsarbeiten im TA Bodio standen keine baulogistischen Querschläge zur Verfügung. Dies hat die Ausführung der Reprofilierungsarbeiten gegenüber denjenigen im TA Faido deutlich erschwert.

Bei zukünftigen Tunnelprojekten mit ähnlichen logistischen Abhängigkeiten und dem Risiko von unerwarteter grossen Deformationen (oder z.B. Sohlhebungen) empfiehlt sich zu prüfen, ob bereits im Projekt „vorsorglich“ baulogistische Querschläge als terminsichernde Massnahme vorgesehen werden.

In the case of the present project, this was not possible, for completion-date (total construction period) reasons. It was necessary to counteract all points of friction with the supply/disposal facilities for tunnelling by means of appropriate technical solutions, for which purpose the lining installation units – unique of their kind – or so-called “worms” were developed and successfully used for more than 2 x 20 km of tunnel lining. It was nonetheless not possible to totally eliminate mutual cross-influencing with the tunnelling work. The accumulation of “high-performance sites” (TBM-tunnelling and lining installation worksites) operating simultaneously makes maximum demands on (rail) logistics.

The fact that the lining installation worksites trailing behind the tunnelling operations at a distance of a few kilometres made a belt-conveyor solution impossible and that a cost- and labour-intensive rail-based muck removal system had to be selected must be considered critical.

Parallel performance of lining installation and tunnelling proved disadvantageous from the client's point of view in those tunnel sections in which comprehensive reprofiling was necessary as a consequence of unexpectedly great rock deformations. In the Bodio and Faido lots, this resulted in the lining installation worksites, which had “caught up” in these areas, being idle for several months, and ultimately putting lining installation on the overall construction schedule's critical path.

5.2 Site-logistical transverse galleries

It was necessary, in both tunnel bores, and in both the Bodio and Faido sub-sectors, to reprofile several hundred metres as a result of unexpectedly severe rock deformations. In the Faido sub-sector, it was possible, thanks to quick decision-making, to create additional “site-logistical transverse galleries”, i.e. oblique transverse galleries suitable for passage of the gallery trains (and in place of normal transverse galleries) in good time. This made it possible to successively close the 2 tunnel sectors requiring reprofiling to through traffic completely, and to perform this reprofiling work, using heavy equipment, in a record time, and with the minimum possible hazard for the workforce deployed, while the 2 TBM faces (and also, after completion of the first bore, the lining installation worksite) continued in operation without interruption.

No site-logistical transverse galleries were available for the reprofiling work previously performed in the Bodio sub-sector. This fact significantly complicated performance of this work, compared to the same operations in the Faido sub-sector.

It would be recommendable, for future tunnel projects with similar logistical interdependencies and the possibility of unexpectedly severe deformations (or floor heaving, for example), to determine whether site-logistical transverse galleries might not be included “pre-emptively”, as a “completion-date-securing provision”, at the project planning stage.

Frank Pochop, Dipl. Bauing. HTL, AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Simon Peggs, Dipl. Bauing. HTL, AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH

Die Betriebslüftung des Gotthard-Basistunnels

Sicherstellung einer lebensrettenden Umgebung

Die Sicherstellung einer lebensrettenden Umgebung ist eine der Hauptaufgaben der Betriebslüftung im Gotthard-Basistunnel. Im Falle eines Ereignisses wird in der Gegenröhre Frischluft zugeführt, zeitgleich werden in der Ereignisröhre die Rauch- und Brandgase abgeführt. Weiter unterstützt die Betriebslüftung die permanente Funktionalität des Tunnels im Normal- und im Erhaltungsbetrieb. Während der Erhaltungsarbeiten sorgen die Lüftungsanlagen für die Abfuhr und Verdünnung der im Tunnel freigesetzten Schadstoffe.

Ventilation in the Gotthard Base Tunnel

Assurance of a life-preserving environment

Assurance of a life-preserving environment is one of the principal functions of the ventilation of the Gotthard Base Tunnel. In case of an incident, fresh air is fed into the other (“unaffected”) bore, while smoke and fumes are extracted from the bore in which the incident has occurred. In addition, the ventilation supports permanent tunnel functioning during normal and maintenance operation. During maintenance work, the ventilation systems assure the removal and dilution of harmful substances emitted in the tunnel.

1 Einleitung

Sollte es im Gotthard-Basistunnel je zu einem Brandereignis kommen, muss es den Passagieren möglich sein, sich innert kurzer Zeit in Sicherheit zu bringen. Die Sicherstellung einer lebensrettenden Umgebung ist eine der Hauptaufgaben der Betriebslüftung. Zudem unterstützt sie die permanente Funktionalität des Tunnels im Dauerbetrieb und während der Erhaltungsintervalle.

2 Die Infrastruktur des Gotthard-Basistunnels

Das Tunnelsystem besteht aus zwei 57 km langen Einspur-tunneln und 2 Multifunktionsstellen, welche den Tunnel in 3 gleich lange Abschnitte unterteilen. Ergänzt wird dieses System durch die für den Bau und teilweise auch für die Lüftung notwendigen Zugangsstollen in Amsteg und Faido sowie die 2 Schächte in Sedrun. Jede Multifunktionsstelle verfügt pro Tunnelröhre über 1 Nothaltestelle. Die Funktion dieser Nothaltestellen ist die Rettung der Zugpassagiere über je 6 Verbindungsstollen in einen geschützten Bereich. Jeder Verbindungsstollen verfügt über eine Fluchttüre zur Tunnelröhre. In den Nothaltestellen sind im Tunnelgewölbe 7 Abluftschächte angeordnet, welche mit Abluftklappen versehen sind (Bild 1).

1 Introduction

It must be possible, should a fire occur in the Gotthard Base Tunnel, for passengers to reach safety in the shortest possible time. The assurance of a life-preserving environment is one of the principal functions of the ventilation system. In addition, it also supports the permanent functioning of the tunnel during normal operation and maintenance periods.

2 The Gotthard Base Tunnel infrastructure

The tunnel system consists of two 57 km long single-track tunnel bores and 2 combined technical and rescue stations, the latter dividing the tunnel into 3 sections of equal length. This system is augmented by the access tunnels at Amsteg and Faido needed for construction and also, in some cases, for ventilation, and the 2 shafts at Sedrun. Each combined technical and rescue station features 1 emergency-stop point per tunnel bore. These emergency-stop stations have the function of evacuating of passengers into a protected zone via 6 connecting galleries in each case. Each connecting gallery is accessible from the tunnel bore via an escape door. Seven upcast air shafts, fitted with air dampers, are located in the tunnel roof at the emergency-stop stations (Figure 1).

La ventilation en régime d'exploitation du tunnel de base du Saint-Gothard

Garantir un environnement permettant de sauver des vies

L'une des tâches primordiales du système de ventilation d'exploitation du tunnel de base du Saint-Gothard est de garantir un environnement permettant de sauver des vies. En cas d'accident, le système amène de l'air frais dans le tube opposé, et simultanément, les fumées et les gaz d'incendie sont évacués du tube accidenté. D'autre part, la ventilation aide à assurer la fonctionnalité permanente du tunnel en régime d'exploitation normale et de maintenance. Pendant les travaux de maintenance, les systèmes de ventilation assurent l'évacuation et la rarefaction des substances nocives dégagées dans le tunnel.

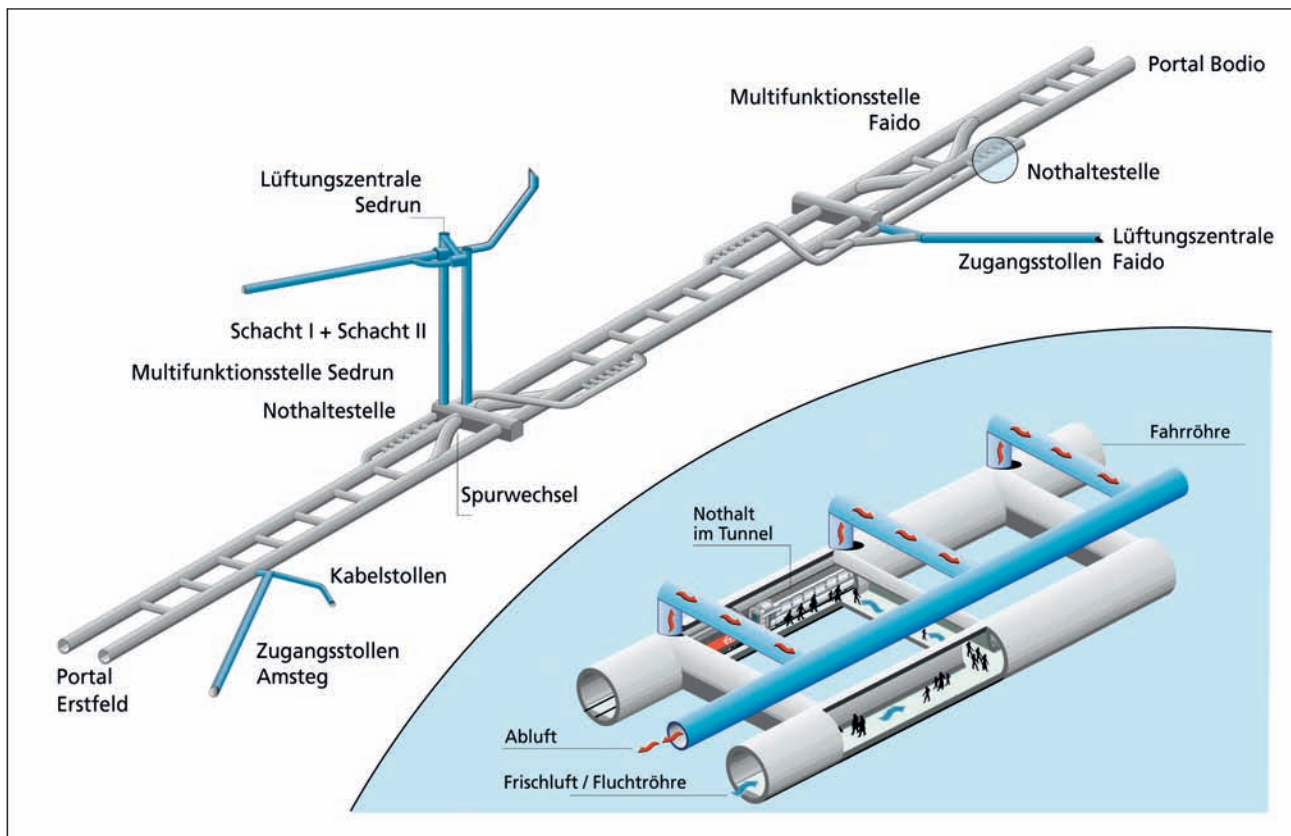
La ventilazione della galleria di base del Gottardo

Garantire un ambiente salvavita

Garantire un ambiente salvavita è uno dei compiti principali della ventilazione della galleria di base del Gottardo. In caso di incidenti la controgalleria viene alimentata con aria fresca e nel contempo vengono espulsi i fumi e i gas prodotti dall'incendio nella galleria dell'incidente. Inoltre la ventilazione permette la funzionalità permanente del tunnel in esercizio normale o di manutenzione. Durante i lavori di manutenzione gli impianti di ventilazione garantiscono l'espulsione e la rarefazione delle sostanze tossiche.

In den beiden Multifunktionsstellen Sedrun und Faido ermöglichen je 2 Spurwechsel Überfahrten von Zügen in die andere Tunnelröhre. Jeder der insgesamt 4 Spurwechsel ist mit einem Tor ausgerüstet.

At the 2 combined technical and rescue stations at Sedrun and Faido, 2 crossover stations in each case permit the transit of trains into the other tunnel bore. Each of these 4 crossover points is equipped with a door.



1 Übersicht Gotthard-Basistunnel
Overview of the Gotthard Base Tunnel

Die 2 Einspurttunnel sind rund alle 312 m über Querschläge miteinander verbunden, welche den Zugpassagieren als Fluchtweg aus der Ereignisröhre in die „gesunde“ Röhre dienen, falls ein Zug die Nothaltestelle nicht erreichen sollte.

Der Gotthard-Basistunnel verfügt über 2 Lüftungszentralen. Diese befinden sich am Schachtkopf in Sedrun bzw. am Portal des Zugangsstollens in Faido. Beide Lüftungszentralen werden mit Zu- und Abluftventilatoren ausgerüstet. Weiter sind in Portalnähe in beiden Tunnelröhren jeweils 6 Strahlventilatoren (total 24 Stück) installiert. Im Ereignisbetrieb weisen – mit Ausnahme der Lüftungskanäle (Stollen, Schächte) – alle Komponenten der Betriebslüftung, insbesondere die Zu- und Abluftanlagen Faido und Sedrun inkl. Abschlussorganen, elektrische Speisung und Steuerung, eine 100%ige Redundanz auf, d. h. bei Ausfall einer Systemkomponente ist ein sofortiger 100%iger Ersatz vorhanden, damit weiterhin die volle Leistung im Ereignisbetrieb sichergestellt werden kann.

3 Die Betriebsarten des Gotthard-Basistunnels

Im Gotthard-Basistunnel wird zwischen den 3 folgenden Betriebszuständen unterschieden:

- Normalbetrieb,
- Erhaltungsbetrieb,
- Ereignisbetrieb.

3.1 Normalbetrieb

Gemessen an der gesamten Betriebszeit befindet sich der Gotthard-Basistunnel zu ca. 90 % im Normalbetrieb. Während des Normalbetriebs wird die Oströhre von Norden (Erstfeld) nach Süden (Bodio) durchfahren. Der Gegenverkehr fährt von Süden nach Norden durch die Weströhre. Im Normalbetrieb gibt es keine Überfahrten von einer Röhre in die andere. Die Tore in den Spurwechseln bleiben dementsprechend geschlossen.

3.2 Erhaltungsbetrieb

Um eine hohe Verfügbarkeit der bahntechnischen Anlagen zu gewährleisten, werden regelmässig Unterhalts- und Wartungsarbeiten durchgeführt. Das Erhaltungskonzept der SBB für den Gotthard-Basistunnel sieht vor, an 2 Nächten pro Woche für jeweils 8 Stunden eine Tunnelröhre vollständig für den Erhaltungsbetrieb zu sperren. Neben diesen regelmässig stattfindenden Erhaltungsarbeiten (Regelintervall bzw. „2/2-Intervall“) besteht die Möglichkeit, bei Bedarf kurzzeitig (max. 4 Stunden) einen Abschnitt des Tunnels vom Zugverkehr zu trennen. In diesem sogenannten „Joker-Intervall“ (auch „6/6-Intervall“) werden die Züge abschnittsweise über die Spurwechsel in die Gegenröhre umgelenkt, wodurch die parallel zum Erhaltungsabschnitt verlaufende Teilstrecke der Gegenröhre abwechselnd in beiden Richtungen durchfahren werden muss.

3.3 Ereignisbetrieb

Mit Eingang einer Ereignismeldung geht die Betriebsart des Tunnels entweder automatisch (Ereignis-Frühwarnsystem)

The 2 single-track tunnels are connected approximately every 312 m to one another by means of transverse galleries which can be used by passengers as an escape route from the “affected bore” to the safe (“unaffected”) bore if their train has not been able to reach the next emergency-stop point.

The Gotthard Base Tunnel has 2 ventilation centres, located at the head of the shaft in Sedrun, and at the portal of the access tunnel in Faido. Both ventilation centres are equipped with upcast and downcast fans. Six jet fans are also installed close to the portals in both tunnel bores (total: 24). In incident mode, all components of the ventilation – with the exception of the ventilation ducts (galleries and shafts) – and the Faido and Sedrun upcast and downcast ventilation systems and their sealing elements, in particular, the electrical feed system and electrical control system, are 100 % redundant, i.e. in case of failure of a system component, a 100 % replacement is immediately available, in order that full ventilation capacity can be assured in incident mode.

3 Operating modes in the Gotthard Base Tunnel

The 3 following operating modes are differentiated in the Gotthard Base Tunnel:

- normal mode,
- maintenance mode,
- incident mode.

3.1 Normal mode

For around 90 % of total operating time, the Gotthard Base Tunnel is in “normal operating mode”. During this mode, the east bore is used for passage from the north (Erstfeld) to the south (Bodio). Traffic in the opposite direction travels from south to north through the west bore. During operation in normal mode, there are no crossovers from one bore to the other, and the doors at the crossover points correspondingly remain closed.

3.2 Maintenance mode

Servicing and maintenance work is performed at regular intervals, in order to assure high availability of the rail facilities. The SBB’s maintenance concept for the Gotthard Base Tunnel includes complete closure of 1 tunnel bore for maintenance work for 8 hours in each case on 2 nights of the week. In addition to this regular maintenance work (standard or “2/2” interval), it is also possible to close one sector of the tunnel to rail traffic for a short period if necessary (max. 4 hours). During this so-called “joker” interval (also known as a “6/6” interval), rail traffic is diverted sector-by-sector via the crossover points into the other bore, as a result of which the section of the other bore parallel to the section undergoing maintenance is alternately required to carry traffic in both directions.

3.3 Incident mode

When an incident alarm is received, tunnel operation changes to incident mode either automatically (early incident-warning system) or via intervention by the operator in

oder durch Eingriff des Operators im Tunnel Control Center in Pollegio in den Ereignisbetrieb über. Um die Sicherheit der von einem Ereignis betroffenen Personen während der Selbstrettung und Evakuierung zu maximieren, wurden allgemeine Handlungsgrundsätze für den Ereignisbetrieb definiert. Für Ereigniszüge gelten die folgenden Handlungsgrundsätze:

- **Reisezüge**, die von einem Ereignis betroffen sind (z.B. Brand, Betätigung der Notalarmierung oder technische Probleme), müssen sofort ihre Geschwindigkeit auf 80 km/h reduzieren und bis zur nächsten Nothaltestelle bzw. bis zum Ausfahrtsportal weiterfahren.
- **Reisezüge** werden nur bei Zugentgleisung, drohender Zugentgleisung oder technischem Totalausfall sofort angehalten.
- **Güterzüge und die rollende Landstrasse** müssen wenn möglich immer aus dem Tunnel herausfahren. Nur bei technischen Schäden, die eine Weiterfahrt verhindern oder eine Entgleisung zur Folge haben könnten, darf der Lokführer im Tunnel halten.

4 Geschützte Bereiche

Im Ereignisfall muss den betroffenen Passagieren und dem Zugpersonal ein geschützter Bereich im Tunnel zur Verfügung gestellt werden, den sie während der Selbstrettungsphase eigenständig erreichen und in dem sie sich bis zu ihrer Evakuierung ungefährdet von Rauch und übermässiger Temperatureinwirkung aufhalten können. Die geschützten Bereiche werden entsprechend ihrem Sicherheitsstandard in 3 unterschiedliche Klassen eingeteilt:

Typ 1

Das höchste Sicherheitsniveau wird in den Innenbereichen der Multifunktionsstellen erreicht. Hier wird bei einem Ereignis der gesamte Innenbereich auf einem ausreichenden Überdruck gegenüber der Ereignisröhre gehalten und somit ein Raucheintrag effektiv verhindert. Zudem bewegen sich die Passagiere und das Zugpersonal von der Ereignis-Nothaltestelle weg in Richtung Nothaltestelle der Gegenröhre. Somit besteht auch ein räumlich grosser Abstand zum Ereignisort.

Typ 2

Die Gegenröhre wird als geschützter Bereich Typ 2 angesehen. Auch sie ist räumlich von der Ereignisröhre getrennt und wird auf ausreichendem Überdruck gegenüber der Ereignisröhre gehalten, um einen Raucheintrag effektiv zu verhindern. Im Gegensatz zu den Innenbereichen der Multifunktionsstellen steht den auf einen Evakuierungszug wartenden Personen hier jedoch nur ein schmaler Seitenweg (Bankett) zur Verfügung und es muss mit stärkeren Längsströmungen gerechnet werden.

Typ 3

Die Querschläge werden als geschützter Bereich Typ 3 betrachtet. Die Querschläge sind nicht als Aufenthaltsbereich

the Tunnel Control Centre at Pollegio. General principles of action have been defined for incident mode, in order to maximise the safety of persons affected by an incident during their escape and/or evacuation. The following basic principles of action apply to trains affected by an incident:

- **Passenger trains** which are affected by an incident (e.g. fire, actuation of the emergency alarm system or technical problems) are required to reduce their speed to 80 km/h immediately and to continue to the next emergency-stop station or to the portal of the tunnel.
- **Passenger trains** may stop immediately only in case of a derailment, a probable derailment or total technical failure.
- **Freight trains and the rolling highway** shuttle must, wherever possible, continue their journey and leave the tunnel. The train driver may stop in the tunnel only in case of technical failures which would prevent continuation of the journey or could result in a derailment.

4 Protected zones

In case of an incident, a protected zone in the tunnel which passengers can themselves reach during the escape phase and in which they can remain until their evacuation without exposure to smoke and excessive temperature must be provided for the passengers and train crew personnel affected. The protected zones are categorised into 3 different classes on the basis of their safety standard:

Type 1

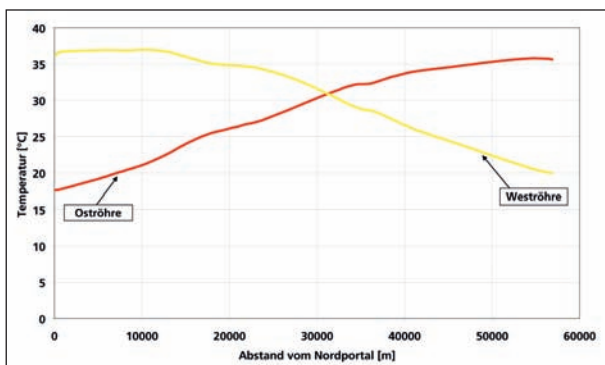
The highest safety level is implemented in the interior areas of the combined technical and rescue stations. In case of an incident, the entire interior zone here is kept at an adequate overpressure vis-à-vis the "affected bore", thus effectively preventing the ingress of smoke and fumes. In addition, the passengers and the train crew personnel move away from the emergency-stop station in the "affected bore" toward that of the other bore. A greater distance from the scene of the incident is thus created.

Type 2

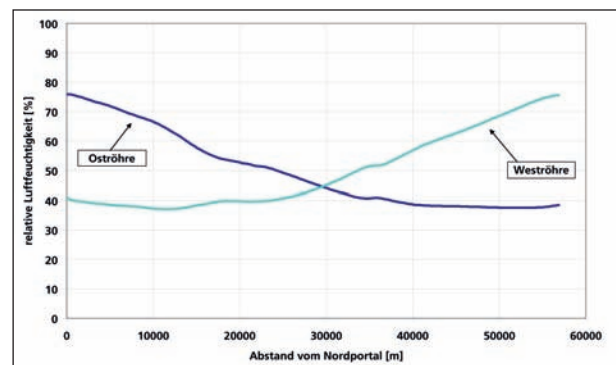
The other ("unaffected") bore is regarded as a Type 2 protected zone. It, too, is spatially separated from the "affected bore", and is kept at an adequate overpressure vis-à-vis the "affected bore", in order to effectively prevent the ingress of smoke. Unlike the interior zones of the combined technical and rescue stations, however, only a narrow side walkway (bench) is available to persons waiting for an evacuation train, and greater longitudinal flows must also be anticipated.

Type 3

The transverse galleries are classified as Type 3 protected zones. These galleries are not intended as safe refuges for escaping passengers, and serve only the purpose of providing a route to the other bore. In case of an incident, they are kept at an overpressure vis-à-vis the "affected bore", in order to prevent ingress of smoke into the "healthy" bore.



2 Temperaturverläufe gemäss Klimaprognose Referenzfall 2005 (Tagesmittelwert an einem Sommertag) (Quelle: AGr A&K)
Plot of temperatures from the Reference Case 2005 climatic forecast (daytime average in summer) (source: AGr A&K)



3 Verläufe der relativen Luftfeuchtigkeit gemäss Klimaprognose Referenzfall 2005 (Sommer) (Quelle: AGr A&K)
Plots of relative air humidity from the Reference Case 2005 climatic forecast (summer) (source: AGr A&K)

für die fliehenden Passagiere gedacht, sondern haben ausschliesslich eine Transitfunktion zur Gegenröhre. Sie werden bei einem Ereignis auf Überdruck zur Ereignisröhre gehalten, um eine Verrauchung der „gesunden“ Röhre zu verhindern.

5 Das Klima

Eine grosse Herausforderung für die technischen Anlagen im Gotthard-Basistunnel bildet das prognostizierte Betriebsklima im Tunnelsystem („Tunnelklima“). Der sogenannte Referenzfall 2005 für das Tunnelklima basiert auf dem zurzeit aktuellen Zugfahrplan und berücksichtigt durchschnittliche Werte für die Felstemperatur, die thermisch wirksame Masse der Züge, die Zugeintrittstemperatur und die Abwärme der technischen Installationen sowie den Wassereintrag aus dem Gebirge und durch die Züge.

Im Sommer ist gemäss der derzeit aktuellen Studien davon auszugehen, dass in der Oströhre des Gotthard-Basistunnels zwischen Faïdo und dem Portal Bodio (Bild 2) eine maximale Lufttemperatur von ca. 36 °C erreicht wird. In der Weströhre liegen etwas höhere Temperaturen vor. Es werden auf einer Länge von über 10 km ca. 37 °C prognostiziert.

Im Winter liegen die Tunnellufttemperaturen in beiden Einspurtunnelröhren unter 35 °C.

Die relative Luftfeuchtigkeit kann sowohl im Sommer (Bild 3) als auch im Winter im Bereich der Einfahrtsportale über wenige Kilometer hinweg oberhalb von 70 % liegen. Die relative Luftfeuchtigkeit nimmt in Fahrtrichtung des Tunnels trotz geringen Feuchtigkeitseintrags über Leckagen in den Tunnelwänden mit zunehmender Lufttemperatur ab und liegt im Bereich der Ausfahrtsportale, je nach Jahreszeit, zwischen 20 % und 40 %.

Tagesschwankungen der Aussentemperatur und Feuchtigkeit machen sich im Tunnel nur im Portalbereich bemerkbar und können bereits nach wenigen Kilometern nicht mehr wahrgenommen werden.

5 Tunnel climate

The forecast operating climate in the tunnel system (“tunnel climate”) presents a great challenge to the equipment installed in the Gotthard Base Tunnel. The so-called “Reference Case 2005” for the tunnel climate is based on the present rail operating timetable, and on average values for rock temperature, the thermally active mass of the trains, train entry temperature and the waste-heat from technical installations, and the ingress of water from the rock and the trains.

It can be assumed, on the basis of the latest current studies, that a maximum air temperature of around 36 °C will be reached in summer between Faïdo and the Bodio portal in the east bore of the Gotthard Base Tunnel (Figure 2). Slightly higher temperatures will predominate in the west bore, where around 37 °C is forecast across a tunnel length of more than 10 km.

In winter, air temperatures in the tunnel will be below 35 °C in both of these single-track bores.

Relative air humidity in the vicinity of the entry portals and for the next few kilometres will be above 70 % both in summer (Figure 3) and in winter. Despite slight inflows of moisture via leaks in the tunnel walls, relative air humidity in the direction of travel through the tunnel falls as air temperature drops, and is between 20 % and 40 % around the exit portals, depending on time of year.

Daily fluctuations in outdoor temperature and humidity levels are felt in the tunnel only around the portals, and after only a few kilometres are no longer perceptible.

6 The ventilation targets

6.1 Normal mode

During normal operation, the climatic conditions in the tunnel and the transverse galleries are required to assure the high availability and service-life of the equipment installed

6 Die Lüftungsziele

6.1 Normalbetrieb

Während des Normalbetriebs müssen die klimatischen Bedingungen im Tunnel und in den Querschlägen eine hohe Verfügbarkeit und Lebensdauer der dort installierten technischen Anlagen gewährleisten. Für den Normalbetrieb wurden die folgenden Lüftungsziele festgelegt:

- **Ziel N1:** In den Einspurtrunnelröhren muss während des Normalbetriebs die Temperatur auf max. 40 °C begrenzt werden.
- **Ziel N2:** In den Querschlägen muss während des Normalbetriebs die Temperatur auf max. 35 °C begrenzt werden.
- **Ziel N3:** In den Tunnelröhren und in den Querschlägen ist eine relative Luftfeuchtigkeit von max. 70 % anzustreben. Die anzustrebenden Klimavorgaben dürfen bis zu 4 Wochen pro Jahr überschritten werden.

6.2 Erhaltungsbetrieb

Im Erhaltungsbetrieb muss durch die Ventilatoren der Betriebslüftung sichergestellt werden, dass für das Erhaltungspersonal akzeptable lufthygienische Umgebungsbedingungen im Erhaltungsabschnitt vorliegen. Für den Erhaltungsbetrieb wurden die folgenden Lüftungsziele festgelegt:

- **Ziel EH1:** In den Erhaltungsabschnitten müssen mindestens die MAK-Werte eingehalten werden.
- **Ziel EH2:** In den Erhaltungsabschnitten muss die Strömungsgeschwindigkeit der Luft auf max. 5 m/s begrenzt werden.
- **Ziel EH3:** Für das Erhaltungspersonal ist sicherzustellen, dass die maximal zulässige Druckänderung von 10 kPa (während einer Schichtdauer von 8 Stunden) und Druckänderungsgeschwindigkeit von 1.5 kPa in 4 Sekunden nicht überschritten werden.
- **Ziel EH4:** In den Querschlägen des Gotthard-Basistunnels muss die Temperatur während der Erhaltung auf max. 40 °C begrenzt werden. Anzustreben sind 35 °C.

6.3 Ereignisbetrieb

Im Ereignisfall steht die Sicherheit der im Tunnelsystem anwesenden Menschen im Vordergrund. Bei einem Ereignis mit Zughalt (Normbrand: 20 MW) müssen folgende Lüftungsziele mindestens bis zum Abschluss der Evakuierung (Dauer max. 90 Minuten) über die Nothaltestelle der Gegenröhre erfüllt werden:

- **Ziel E1:** Sicherstellen eines rauchfreien, geschützten Bereichs (Typ 1) in der Multifunktionsstelle Faido oder Sedrun beim Brand eines Reisezugs mit Halt in einer Nothaltestelle. Durch einen ausreichenden Überdruck in der Multifunktionsstelle muss sichergestellt werden, dass in den geschützten Bereichen von Typ 1 kein Rauch eindringen kann. Diese Anforderung gilt für 90 Minuten ab Alarmierung des Tunnel Control Centers.
- **Ziel E2:** Unterstützung der Selbstrettung in der von einem Ereignis betroffenen Nothaltestelle durch die Bereitstellung einer Mindestsichtweite auf dem Perron von 10 m sowie einer für die Flucht genügenden Luftqualität. Dieses

there. The following ventilation targets are specified for normal mode:

- **Target N1:** Temperature in the single-track tunnel bores must be kept to a maximum of 40 °C during normal operation.
- **Target N2:** Temperature in the transverse galleries must be kept to a maximum of 35 °C during normal operation.
- **Target N3:** A relative air humidity of max. 70 % is targeted for the tunnel bores and the transverse galleries. The targeted climatic values may be exceeded for up to 4 weeks per year.

6.2 Maintenance mode

During maintenance work, the ventilation fans must assure that ambient air-hygiene conditions in the section undergoing maintenance are acceptable for the maintenance personnel. The following ventilation targets are specified for maintenance mode:

- **Target EH1:** Not less than the TLV values must be maintained in the sections undergoing maintenance.
- **Target EH2:** Air flow velocity must be kept to a maximum of 5 m/s in the sections undergoing maintenance.
- **Target EH3:** It must be ensured for the maintenance crew that the maximum permissible pressure change of 10 kPa (across an 8-hour shift) and maximum permissible rate of pressure change of 1.5 kPa in 4 seconds are not exceeded.
- **Target EH4:** Temperature in the transverse galleries of the Gotthard Base Tunnel must be kept to a maximum of 40 °C during maintenance work. A temperature of 35 °C is desirable.

6.3 Incident mode

In case of an incident, the safety of the persons present in the tunnel system is the main priority. In case of an incident involving a train stopping (reference fire: 20 MW), the following ventilation targets must be achieved until at least completion of evacuation (maximum duration: 90 minutes) via the emergency-stop station in the other bore:

- **Target E1:** Assurance of a smoke-free protected zone (Type 1) at the Faido or Sedrun combined technical and rescue station in case of a fire in a passenger train involving stopping at an emergency-stop station. It must be ensured by means of adequate overpressure in the combined technical and rescue station that no smoke can enter the Type 1 protected zone. This requirement applies for 90 minutes from the alerting of the Tunnel Control Centre.
- **Target E2:** Support of escape at the emergency-stop station affected by the incident via the provision of a minimum visibility on the platform of 10 m and of an air quality adequate for escape. This target applies throughout the phase of escape from the train into the escape gallery.
- **Target E3:** Assurance of a smoke-free protected zone (Type 2) in the other bore in case of a fire involving a train stopping in the tunnel but not at an emergency-stop station. Thanks to adequate overpressure in the other bore, no smoke can enter the Type 2 protected zone. This

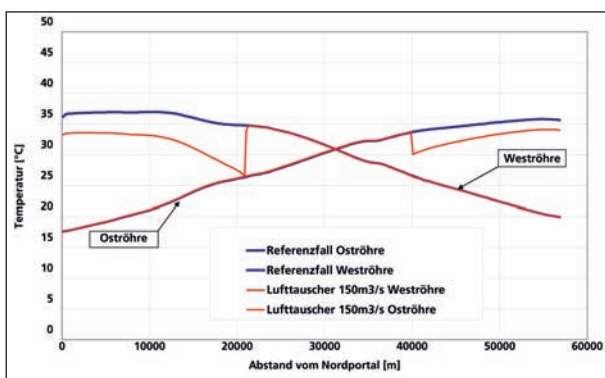
Ziel gilt für die gesamte Zeitdauer der Selbstrettungsphase aus dem Zug in den Fluchtstollen.

- **Ziel E3:** Sicherstellen eines rauchfreien geschützten Bereiches (Typ 2) in der Gegenröhre bei einem Brand mit Zughalt im Tunnel ausserhalb einer Nothaltestelle. Durch einen ausreichenden Überdruck in der Gegenröhre kann in den geschützten Bereich vom Typ 2 kein Rauch eindringen. Diese Anforderung gilt für 90 Minuten ab Alarmierung des Tunnel Control Centers.
- **Ziel E4:** Sicherstellen eines geschützten Bereiches (Typ 3) in den Querschlägen bei einem Brand mit Zughalt im Tunnel ausserhalb einer Nothaltestelle. Diese Anforderung gilt für 90 Minuten ab Alarmierung des Tunnel Control Centers.
- **Ziel E5:** Für einen störungsfreien Betrieb der Bahntechnik müssen im Ereignisfall alle Querschläge weiterhin ausreichend belüftet und gekühlt werden. In den Querschlägen des Gotthard-Basistunnels soll die Temperatur während 90 Minuten ab Alarmierung des Tunnel Control Centers auf max. 40 °C begrenzt werden. Anzustreben sind 35 °C. Diese Anforderung gilt für 90 Minuten ab Alarmierung des Tunnel Control Centers.
- **Ziel E6:** Sicherstellen einer schnellen und sicheren Evakuierung der Passagiere und des Zugpersonals durch Rauchfreiheit in der Gegenröhre während der gesamten Evakuierungsphase ab Alarmierung des Tunnel Control Centers (90 Minuten).

7 Das Lüftungskonzept

7.1 Betriebslüftung im Normalbetrieb

Der Gotthard-Basistunnel befindet sich ca. 90 % seiner Betriebszeit im Normalbetrieb. Die Tunnelröhren sind hierbei aerodynamisch getrennt. Die Spurwechsellöre sind deshalb geschlossen und ein Luftaustausch zwischen der Ost- und Weströhre findet nur sehr begrenzt über Leckagen in den Spurwechsellören und in den Querschlagsabschlüssen statt. Durch die Kolbenwirkung des Zugverkehrs wird in beiden Tunnelröhren ein Luftwechsel mit der Aussenluft erzwungen. Deshalb ist keine aktive Lüftung in dieser Phase



4 Leistungsgrenzen des Lufttauscherbetriebs mit 150 m³/s im Sommer (Quelle: AGr A&K)
Performance limits of air exchanger operation at 150 m³/s in summer (source: AGr A&K)

requirement applies for 90 minutes from the alerting of the Tunnel Control Centre.

- **Target E4:** Assurance of a protected zone (Type 3) in the transverse galleries in case of a fire involving a train stopping in the tunnel but not at an emergency-stop station. This requirement applies for 90 minutes from the alerting of the Tunnel Control Centre.
- **Target E5:** All transverse galleries must continue to be adequately ventilated and cooled in case of an incident, in order to assure trouble-free operation of the rail systems and equipment. Temperature in the transverse galleries of the Gotthard Base Tunnel should be kept to a maximum of 40 °C for 90 minutes from the alerting of the Tunnel Control Centre. A temperature of 35 °C is desirable. This requirement applies for 90 minutes from the alerting of the Tunnel Control Centre.
- **Target E6:** Assurance of rapid and safe evacuation of passengers and train crew personnel thanks to the absence of smoke in the other bore throughout the evacuation phase as from the alerting of the Tunnel Control Centre (90 minutes).

7 The ventilation concept

7.1 The ventilation system in normal mode

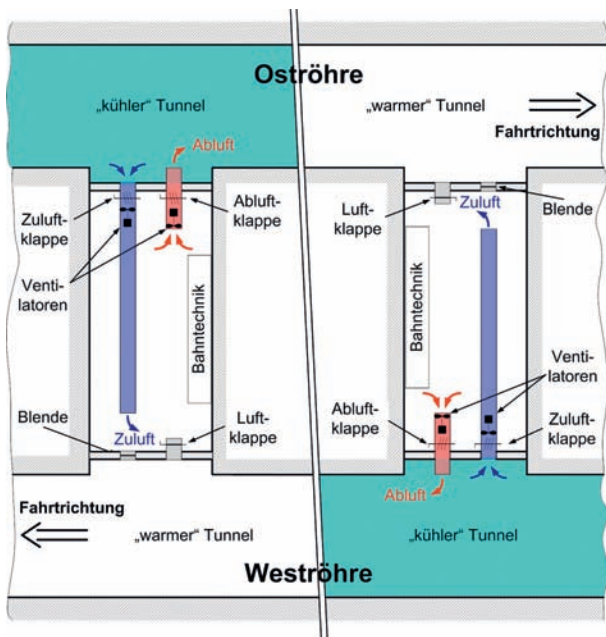
The Gotthard Base Tunnel is in normal operating mode for around 90 % of its total operating time. The tunnel bores are aerodynamically isolated from each other. The bore crossover doors therefore remain closed and exchange of air between the east and west bores occurs only to a very limited extent via leaks in the bore-crossover doors and in the sealing systems of the transverse galleries. The “pumping action” of rail traffic forces interchange of air with outdoor atmospheric air in both tunnel bores. Active ventilation is therefore not necessary during this phase. On the basis of the “Reference Case 2005” climatic forecast, this pumping action caused by the trains will induce a rate of air exchange sufficiently high to keep the temperature in both bores below 40 °C.

7.1.1 Air-exchanger operation

Should the temperature threaten to exceed 40 °C, the ventilation system can inject air into the tunnel for cooling of the single-track bore. In so-called “air-exchanger” mode, air is injected into the final thirds of the tunnel at the ventilation centres located at the combined technical and rescue stations at Sedrun and Faido. A reduction in temperature of approximately 1.5 °C in the east bore, and of approximately 3.5 °C in the west bore, can be achieved by this means in summer (Figure 4).

7.1.2 Transverse-gallery ventilation

Corresponding cooling is necessary in order to keep the temperature in the transverse galleries to a maximum of 35 °C. The air is obtained from the cooler of the 2 tunnel bores, and flows via an air-supply pipe to the closing wall of the transverse gallery on the “warm” tunnel bore side. From here, the air flows back along the transverse gallery and is blown by a



5 Lüftungssystem der Querschläge (Quelle: IG GBT Süd)
Transverse-gallery ventilation system (source: IG GBT Süd)

notwendig. Basierend auf die Klimaprognose Referenzfall 2005 wird durch diese Kolbenwirkung der Züge ein ausreichend hoher Luftwechsel erzwungen, um die Temperatur in beiden Tunnelröhren unterhalb von 40 °C zu halten.

7.1.1 Lufttauscherbetrieb

Droht die Temperaturgrenze von 40 °C überschritten zu werden, kann die Betriebslüftung zur Kühlung der Einspurröhren Luft in den Tunnel einblasen. Im sogenannten Lufttauscherbetrieb wird in den Lüftungszentralen der Multifunktionsstellen Sedrun und Faido Luft in den letzten Dritteln des Tunnels eingeblasen. Dadurch kann im Sommer eine Temperaturabsenkung von ca. 1.5 °C in der Oströhre und in der Weströhre eine Absenkung von ca. 3.5 °C erreicht werden (Bild 4).

7.1.2 Querschlagsbelüftung

Um die Temperatur in den Querschlägen auf maximal 35 °C zu beschränken, ist eine entsprechende Kühlung der Querschläge erforderlich. Die Luft wird der kühleren Tunnelröhre entzogen und strömt durch ein Zuluftrohr bis zur Abschlusswand des Querschlags auf der Seite der „warmen“ Tunnelröhre. Von dort strömt die Luft im Querschlag zurück und wird von einem Abluftventilator über einen kurzen, ausserhalb des Querschlags liegenden Abluftkanal in die „kalte“ Tunnelröhre ausgeblasen. Falls der Temperaturverlauf anders sein sollte als prognostiziert, kann die Anlage ummontiert werden (Bild 5, 6).

7.2 Erhaltungslüftung

7.2.1 Regelintervall Erhaltung

Im Regelintervall ist entweder die Ost- oder die Weströhre vollständig für den Bahnbetrieb gesperrt. Die Lüftung der Er-



6 Querschlag mit Lüftung
Transverse gallery, showing ventilation system

waste-air fan into the “cold” tunnel bore by means of a short waste-air duct located outside the transverse gallery. This equipment can be relocated if the pattern of temperature proves to be different to that forecast (Figures 5 and 6).

7.2 Maintenance mode

7.2.1 Standard-interval maintenance

During the standard maintenance interval, either the east or west bore is completely closed to rail traffic. Ventilation of the sectors undergoing maintenance is assured by the ventilation fans. The downcast air during the standard maintenance interval is injected into the tunnel undergoing maintenance via the opened escape doors of the connecting galleries at both emergency-stop stations.

7.2.2 Joker interval maintenance

In so-called “joker” mode (see Section 3.2), only the section of tunnel affected by the acute need for repair is closed to rail traffic. This is accomplished by opening 1 or 2 bore-crossover doors and by sector-by-sector diversion of rail traffic into the other bore. Traffic in both directions thus passes alternately through the section of the other tunnel bore running parallel to the section undergoing maintenance.

Supply of air to the section undergoing maintenance takes place either via the opened escape doors or via the injection ports installed for the air exchanger in the caverns of the combined technical and rescue stations.

7.3 Incident mode ventilation

In case of an incident alarm during normal operation, the next emergency-stop station reachable by the train is automatically prepared for evacuation, as a function of the site of tripping of the alarm.

7.3.1 Ventilation of the tunnel and the combined technical and rescue stations

Immediately upon an incident alarm, all 7 upcast-air dampers at the corresponding emergency-stop station are opened, and a ventilation overpressure generated in the other bore.

haltungsabschnitte wird von den Ventilatoren der Betriebslüftung sichergestellt. Die Zuluft wird im Regelintervall über die geöffneten Fluchttüren der Verbindungsstollen beider Nothaltestellen in den Erhaltungstunnel eingeblasen.

7.2.2 Joker-Intervall Erhaltung

Im Joker-Betrieb (Abschnitt 3.2) wird nur der von einer akuten Reparatur betroffene Tunnelabschnitt für den Zugverkehr gesperrt. Dies erfolgt durch das Öffnen von 1 oder 2 Spurwechsellern und durch eine abschnittsweise Umleitung des Zugverkehrs in die Gegenröhre. Somit wird der Tunnelabschnitt der Gegenröhre, der parallel zum Erhaltungabschnitt verläuft, abwechselnd in beiden Fahrtrichtungen durchfahren.

Die Luftzufuhr in den Erhaltungabschnitt erfolgt entweder durch die geöffneten Fluchttüren oder durch die in den Kavernen der Multifunktionsstellen installierten Einblasöffnungen für den Lufttauscher.

7.3 Ereignislüftung

Bei einer Ereignismeldung im Normalbetrieb wird in Abhängigkeit vom Ort der Alarmauslösung sofort automatisch die nächste mit dem Zug zu erreichende Nothaltestelle für die Selbstrettung vorbereitet.

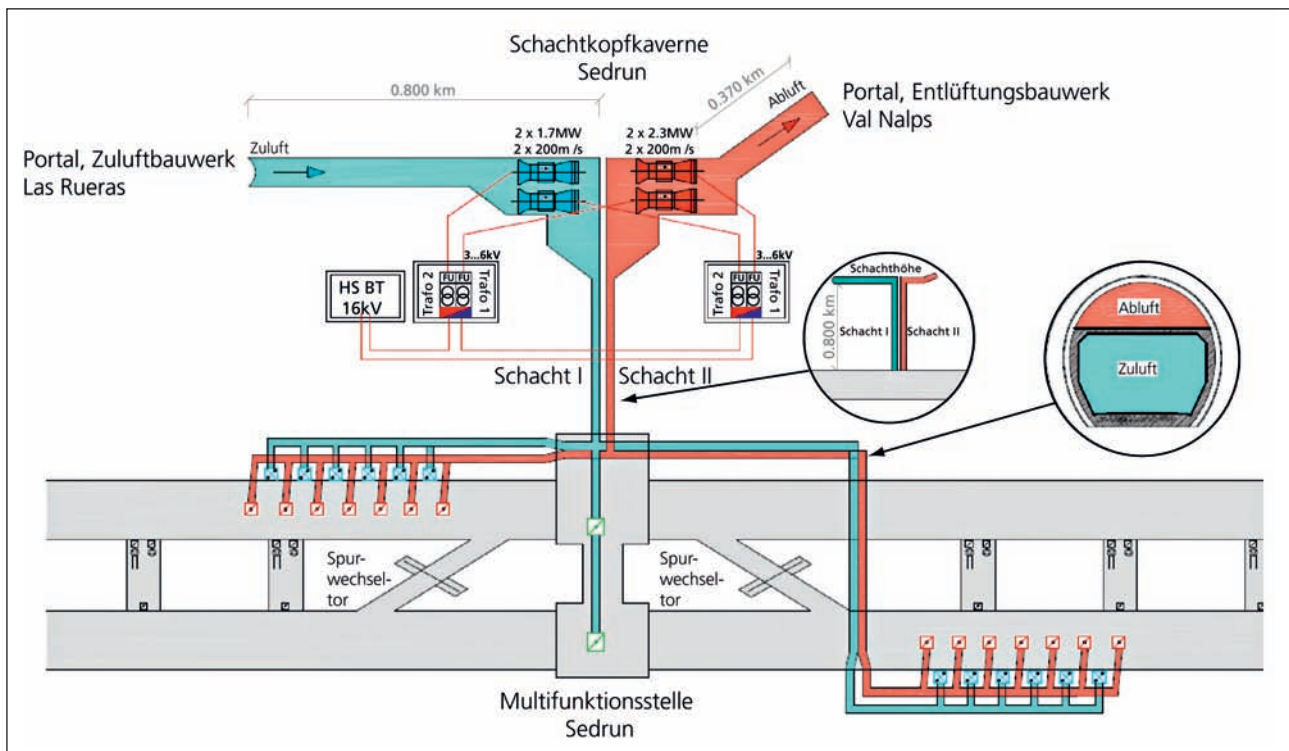
7.3.1 Belüftung Tunnel und Multifunktionsstellen

Unmittelbar nach einer Ereignismeldung werden alle 7 Abluftklappen in der entsprechenden Nothaltestelle geöffnet und die Gegenröhre auf Überdruck belüftet. Dies erfolgt da-

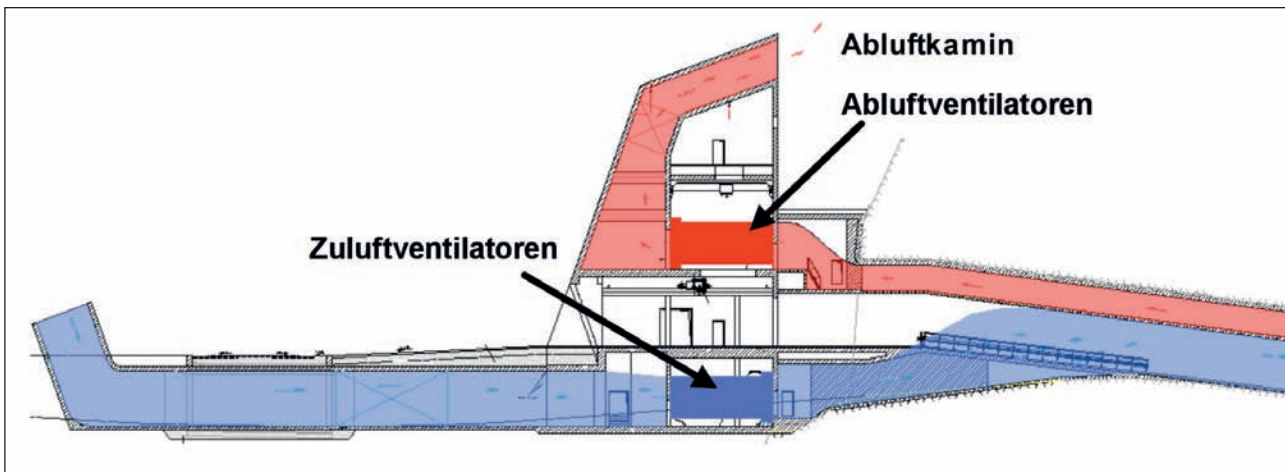
This is accomplished by remote-controlled opening of the escape doors at the emergency-stop stations prior to the arrival of the incident-affected train. Opening of these escape doors allows the incident-mode ventilation to feed fresh air to the emergency-stop station; this air supply then acts as a “fresh-air bubble” for the passengers. This means that the escape doors must also be considered ventilation dampers. Fresh air is fed at a rate of 200 m³/s in case of a train stopping at an emergency-stop station. Air is also simultaneously exhausted at a rate of 250 m³/s via the 7 air-extraction ports in the roof area of the emergency-stop station (Figure 7).

The ventilation provisions implemented at the emergency-stop stations make it possible to assure with certainty a Type 1 protected zone at the combined technical and rescue station in case of an incident-affected train stopping. A Type 2 protected zone is provided simultaneously in the other bore, in order also to create optimum preconditions for the evacuation phase at an early stage. This is accomplished by generating in the other bore an overpressure using the downcast fan of the other combined technical and rescue station and via the activation of the jet fans located near the tunnel portals. The passengers are then escorted to the emergency-stop station in the other bore by the train crew, where they wait for an evacuation train.

At Sedrun, the downcast air is drawn into the access tunnel by one or both of the air-intake fans installed in the shaft-head cavern, and then routed into the downcast air shaft. The upcast air fans are also located in the shaft-head cavern.



7 Schema der Luftführung in der Multifunktionsstelle Sedrun (Quelle: IG GBT Süd)
Diagram of air routing at the Sedrun combined technical and rescue station (source: IG GBT Süd)



8 Schematische Darstellung der Zu- und Abluftführung in der Lüftungszentrale Faido (Quelle: IG GBT Süd)
Schematic view of downcast and upcast air routing at the Faido ventilation centre (source: IG GBT Süd)

durch, dass die Fluchttüren der Nothaltestellen vor Einfahrt des Ereigniszuges in der Nothaltestelle ferngesteuert geöffnet werden. Durch die offenen Fluchttüren bläst die Ereignislüftung Frischluft in die Nothaltestelle ein. Diese wirkt als „Frischlufthase“ für die Passagiere. Das bedeutet, dass die Fluchttüren auch als Lüftungskappen zu betrachten sind. Bei einem Zughalt in einer Nothaltestelle werden $200 \text{ m}^3/\text{s}$ Frischluft eingeblasen. Zeitgleich wird über die 7 Absaugöffnungen im Firstbereich der Nothaltestelle $250 \text{ m}^3/\text{s}$ Luft abgesaugt (Bild 7).

Durch die in den Nothaltestellen eingeleiteten lüftungstechnischen Massnahmen kann beim Halt eines Ereigniszugs ein geschützter Bereich von Typ 1 in der Multifunktionsstelle sicher gewährleistet werden. Um auch für die Evakuierungsphase frühzeitig optimale Voraussetzungen zu schaffen, wird zeitgleich ein geschützter Bereich von Typ 2 in der Gegenröhre bereitgestellt. Dies erfolgt durch Überdrucklüftung der Gegenröhre mit dem Zuluftventilator der anderen Multifunktionsstelle und durch den Einsatz der in den Tunnelportalbereichen befindlichen Strahlventilatoren. Die Reisenden werden durch das Zugbegleitpersonal zur gegenüberliegenden Nothaltestelle geleitet und warten dort auf einen Evakuierungszug.

In Sedrun wird die Zuluft von einem oder beiden in der Schachtkopfkaverne installierten Zuluftventilatoren in den Zugangsstollen angesaugt und in den Zuluftschaft umgelenkt. Die Abluftventilatoren befinden sich ebenfalls in der Schachtkopfkaverne. Durch den Abluftschaft strömt die Abluft zum Entlüftungstollen und über das Abluftbauwerk Val Nalps in die Umgebung.

Die Lüftungszentrale der Multifunktionsstelle Faido befindet sich ausserhalb des Berges am Portal des Zugangsstollens Faido. Die Aussenluft wird von den Zuluftventilatoren der Betriebslüftung direkt aus der Umgebung angesaugt und strömt über den Zugangsstollen in die Multifunktionsstelle

The upcast air then flows via the upcast air shaft to the air-exhaust tunnel and then via the Val Nalps air-exhaust system into the outside atmosphere.

The ventilation centre for the Faido combined technical and rescue station is located outside the tunnel at the portal of the Faido access tunnels. Atmospheric air is drawn in directly from the outside atmosphere by the ventilation air-intake fans and flows via the access tunnels into the Faido combined technical and rescue station. The upcast air is drawn in by the upcast air fans installed in the Faido ventilation centre and expelled via a stack into the outside atmosphere (Figure 8).

7.3.2 Ventilation of transverse galleries

Since around 50 % of the transverse-gallery ventilation systems draw in air from the incident-affected bore in case of an incident, all dampers in the downcast-air ducts leading into the incident-affected bore are closed in incident mode. The ventilation damper feeding into the other bore is opened simultaneously, in order to maintain ventilation and cooling in the transverse galleries. The upcast ventilation damper remains in virtually continuous operation in these transverse galleries (switchover from normal to incident mode).

No damper changeover occurs in the transverse galleries in which the ventilation system is not directly connected to the incident-affected bore, i.e. the downcast air for ventilation of the transverse galleries is supplied from the same tunnel bore as during normal operation (Figure 9).

8 Status of the work

The contract for the transverse-gallery ventilation systems was awarded on February 15, 2008. Around 50 % of the transverse galleries of the Gotthard Base Tunnel have currently been equipped. The supplies and services contract for the ventilation system is to be signed during 2011. The

Faido. Die Abluft wird von den in der Lüftungszentrale Faido installierten Abluftventilatoren angesaugt und über einen Kamin in die Umgebung ausgeblasen (Bild 8).

7.3.2 Belüftung Querschläge

Da bei einem Ereignis immer ca. 50 % der Querschlagslüftungen aus der Ereignisröhre Luft ansaugen, werden im Ereignisbetrieb alle Klappen in den Zuluftkanälen zur Ereignisröhre geschlossen. Um die Lüftung und Kühlung in den Querschlägen aufrechtzuerhalten, wird zeitgleich die Lüftungsklappe zur Gegenröhre geöffnet. Der Abluftventilator bleibt in diesen Querschlägen praktisch durchgehend in Betrieb (Umschaltung Normal- in Ereignisbetrieb).

In den Querschlägen, in denen das Lüftungssystem nicht direkt mit der Ereignisröhre verbunden ist, erfolgt keine Klappenumschaltung, d. h. die Zuluft der Querschlagslüftung erfolgt aus derselben Tunnelröhre wie während des Normalbetriebs (Bild 9).

8 Stand der Arbeiten

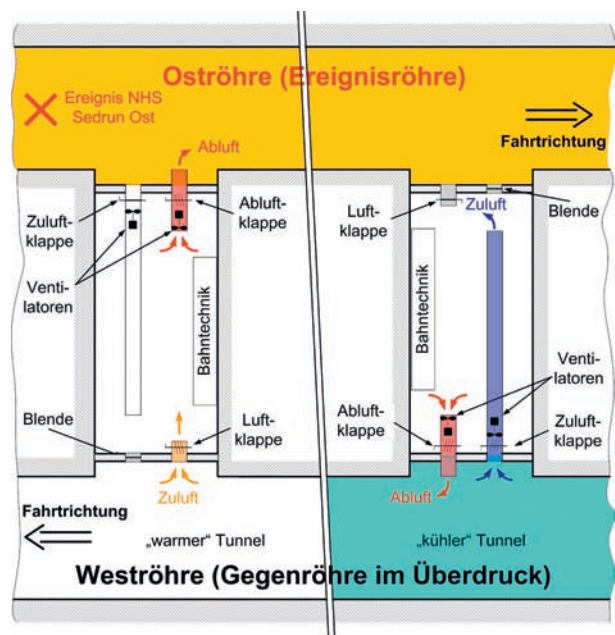
Die Vergabe der Querschlagsbelüftung erfolgte am 15. Februar 2008. Zurzeit ist rund die Hälfte der Querschläge des Gotthard-Basistunnels ausgerüstet. Die Unterzeichnung des Werklieferungsvertrags für die Betriebslüftung soll im Jahr 2011 erfolgen. Das Liefer- und Montageprogramm ist so ausgerichtet, dass eine Inbetriebnahme des Gotthard-Basistunnels im Jahre 2016 möglich ist.

9 Danksagung

Wir danken dem Projektverfasser, der Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Süd (Amberg Engineering AG, Pöyry Infra AG, Lombardi Engineering Ltd.) sowie der SIOP (Sicherheitsorientierte Prüfung: Ernst Basler AG, ILF Beratende Ingenieure, Kündig Ingenieurbüro) mit den beigezogenen Lüftungsexperten (Dr. Rudolf Bopp, Dr. Peter Sturm) für die gute Zusammenarbeit.

Literatur/References

- [1] Arbeitsgruppe Aerodynamik & Klima (AGr A&K): Referenzfall Tunnelklima GBT 2005, 08.03.2006
- [2] Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Süd (IG GBTS): Bauprojekt Betriebslüftung GBT, 31.03.2009
- [3] SIOP und Lüftungsexperten: Prüfbericht zum Bauprojekt Betriebslüftung GBT, 30.04.2009



9 Schema der Querschlagsbelüftung im Ereignisbetrieb mit Überdrucklüftung der Gegenröhre (Quelle: IG GBT Süd)
Diagram of transverse-gallery ventilation in incident mode, showing overpressure ventilation in the unaffected bore (source: IG GBT Süd)

delivery and installation schedule is tailored to commissioning of the Gotthard Base Tunnel in 2016.

9 Acknowledgements

We wish here to express our gratitude to the project planner, the Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Süd (Amberg Engineering AG, Pöyry Infra AG, Lombardi Engineering Ltd.) and the SIOP (Safety-Orientated Inspection: Ernst Basler AG, ILF Beratende Ingenieure, Kündig Ingenieurbüro) consortia, including the co-opted ventilation experts (Dr. Rudolf Bopp, Dr. Peter Sturm), for their kind cooperation.

Bruno Gugelmann, Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano/CH

Ceneri Basistunnel

Herausforderungen beim Gegenvortrieb Vezia

Heutzutage werden immer mehr Bauwerke in Bereichen gebaut, die dicht bewohnt sind und wo Konflikte mit vorhandenen Infrastrukturbauten oder Gebäuden auftreten. In derartigen Situationen die adäquate Projektlösung und machbare, bezahlbare Baumethode zu finden, die möglichst allen Ansprüchen gerecht wird, ist nicht einfach. Der vorliegende Beitrag widmet sich einer solchen Bauaufgabe, die eher unscheinbar daherkommt, aber verschiedene Herausforderungen beinhaltet, die anspruchsvolle Lösungen erfordern.

Ceneri Base Tunnel

The challenges of opposed tunnelling Vezia

Today, more and more engineering works are being undertaken in densely populated areas where, in addition, conflicts with existing infrastructural features and buildings can occur. In finding such situations, an appropriate project solution and a both feasible and rational-cost construction method which meets all requirements as far as possible is no easy matter. This article focuses on such a construction project, one which may, at first glance, appear unremarkable, but which incorporates a range of challenges demanding sophisticated solutions.

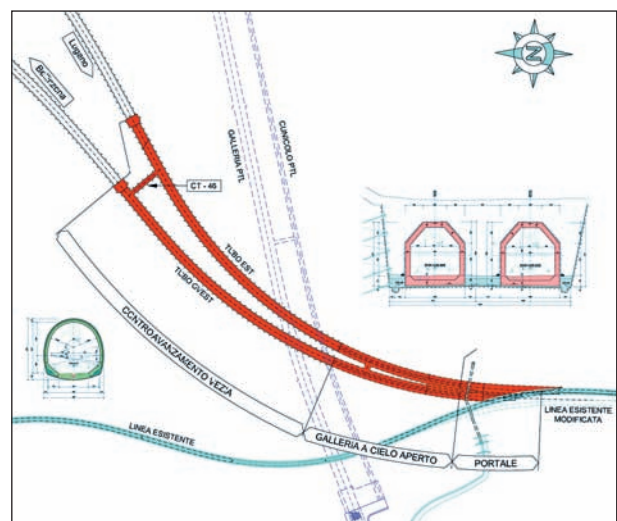
1 Projektbeschreibung

Das Los 854 „Opere sotterranee e galleria a cielo aperto a Vezia“ stellt den südlichsten Teil des rund 15.4 km langen Ceneri Basistunnels im Rahmen der Neuen Eisenbahn Alpen Transversalen (NEAT) dar und besteht aus 3 Teilbereichen (Bild 1):

- Den 2 im Sprengvortrieb zu erstellenden Einspurröhren von 340 m (Oströhre), beziehungsweise 303 m Länge (Weströhre) inklusive eines 34 m langen Querschlags bei km 242.448. Beide Tunnelröhren liegen in einer Kurve und fallen mit 12.4 ‰ gegen Norden bis zum Durchschlagspunkt mit dem Hauptlos 852. Die beiden ursprünglich am Losende vorgesehenen Demontagekavernen entfallen, da das Hauptlos keine TBM verwendet.
- Ab dem Portal des untertägigen Vortriebs schliesst sich in südlicher Richtung der Tagbautunnel an. Dieser besteht aus einer bewehrten Betonkonstruktion von 223 m (Oströhre) beziehungsweise 188 m Länge (Weströhre). Im nördlichen Teilbereich handelt es sich um 2 getrennte Tunnelröhren im Achsabstand von circa 20 m. Dieser verringert sich sukzessive gegen Süden, bis sich die beiden Röhren berühren und in einem schiefwinklig geschnittenen Portalbereich enden, wo die Neubaustrecke an die Stammlinie anschliesst. Bei km 242.758 ist zudem ein weiterer Querschlag vorgesehen.

1 Project description

Lot 854, „Opere sotterranee e galleria a cielo aperto a Vezia“, is the southernmost section of the around 15.4 km long Ceneri Base Tunnel for the New Rail Link through the Alps (NRLA). It consists of 3 sub-sectors (Figure 1):



1 Projektübersicht
Project overview

Tunnel de base du Ceneri

Les défis du Contre-avancement Vezia

De nos jours, de plus en plus d'ouvrages sont construits dans des zones fortement peuplées, ce qui suscite des conflits avec les infrastructures ou les bâtiments existants. Dans ce genre de situations, il n'est pas simple de trouver la solution adéquate à un projet et une méthode de construction faisable et financièrement abordable qui répondent si possible à toutes les exigences. Le présent article est consacré à une mission de ce type. Elle se présente plutôt sous un aspect insignifiant, mais renferme des défis qui nécessitent des solutions sophistiquées.

- Ergänzt werden diese Hauptbauwerke durch die Auffüllungen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Geländeform, der Eindohlung eines Bachs unter dem Tagbautunnel, durch Stützmauern, Strassenbau- und Fertigstellungsarbeiten.

Die Ausschreibung des Loses 854 durch AlpTransit San Gottardo SA ist im Januar 2009 erfolgt, die Vergabe im Oktober 2009. Der Werkvertrag über CHF 63.3 Mio (ohne MwSt) wurde mit dem Consorzio Portale Vezia (CPV), bestehend aus CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano, und Pizzarotti SA, Bellinzona, am 5. Februar 2010 unterzeichnet.

Der Baubeginn war am 1. März 2010. Die Bauzeit beträgt gemäss Werkvertrag 80 Monate.

2 Besondere Herausforderungen

Die Herausforderungen dieses Bauwerks liegen in seiner besonderen Lage begründet (Bild 2):



2 Übersicht Baustelle mit Villa Negroni (links) oberhalb des Voreinschnittes
Site overview, showing the Villa Negroni (left) above the pilot cut

Galleria di base del Ceneri

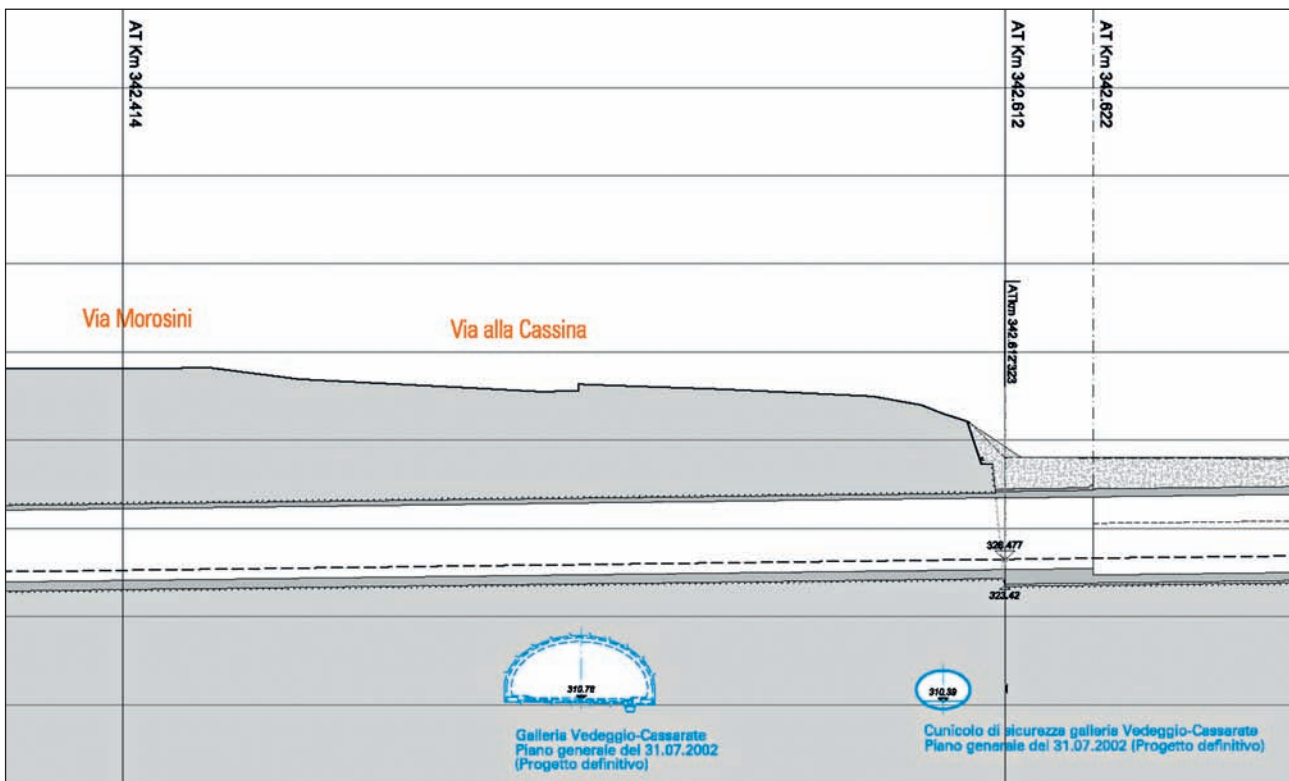
Le sfide del Controavanzamento Vezia

Oggi si costruiscono sempre più opere edili in zone densamente popolate, in cui nascono conflitti con infrastrutture o edifici già presenti. In situazioni di questo tipo non è semplice trovare soluzioni progettuali adeguate e fattibili, economicamente sostenibili, soddisfacendo le esigenze di tutti. Il presente articolo tratta di un progetto di questo genere, che a prima vista appare semplice, ma comprende una serie di sfide che richiedono soluzioni ambiziose.

- The 2 single-line bores of 340 m (east bore) and 303 m (west bore) in length, to be created by means of drilling and blasting (D&B), including a 34 m long transverse gallery at km 242.448. Both bores are on a curve, and slope down at 12.4 ‰ to the north to the breakthrough point with Main Lot 852. The 2 dismantling caverns originally planned at the end of the lot will now not no longer excavated, since the main lot will not use a TBM.
- The cut-and-cover tunnel connecting to the south from the portal of the underground section. This consists of a reinforced-concrete structure of 223 m (east bore) and 188 m (west bore) in length, and takes the form, in the northern sub-sector, of two separate bores at a centre-to-centre distance of approximately 20 m. This spacing becomes progressively smaller, proceeding toward the south, until the two bores merge and terminate in an oblique-angled portal zone, which is the connection of the new section to the rest of the line. A further transverse gallery is also planned at km 242.758.
- These main engineering works are also augmented by back-filling operations for restoration of the original topography, the culverting of a stream under the cut-and-cover tunnel, retaining walls, road construction and finishing work.

The invitation to tender for Lot 854 was published by AlpTransit San Gottardo SA in January 2009, and the contract awarded in October of that year. The service contract for amounting to CHF 63.3 million (excluding VAT) was signed with the Consorzio Portale Vezia (CPV) consortium, consisting of CSC Impresa Costruzioni SA, Lugano, and Pizzarotti SA, Bellinzona, on February 5, 2010.

Work started on March 1, 2010. The service contract states a construction period of 80 months.



3 Längsschnitt Tunnelröhre mit zu querendem Strassentunnel
Longitudinal section of the tunnel bore, showing the road tunnel to be crossed

- Der Tunnel verläuft unter einem Gelände, das mehrheitlich mit Wohnhäusern bebaut ist.
- In unmittelbarer Nähe befinden sich die schützenswerten historischen Gebäude der „Villa Negroni“, die durch das „Centro Studi Bancari“ belegt sind.
- Das neue Bauwerk kreuzt den in Fertigstellung begriffenen Strassentunnel „Vedeggio – Cassarate“ für die Umfahrung von Lugano und dessen Sicherheitsstollen in einem senkrechten Abstand von 5 m (Bild 3).
- Direkt neben der Baustelle verläuft die internationale Eisenbahnlinie Chiasso – Basel.
- Es herrschen enge Platzverhältnisse und beschränkte Zufahrtsmöglichkeiten.
- Die Geologie ist sehr wechselhaft, die Felsüberdeckung gering.

Mit diesen Gegebenheiten ist es naheliegend, dass sich für den Baustellenbetrieb erhebliche Einschränkungen ergeben:

- Die Arbeitszeit ist auf einen Zweischichtbetrieb von 06.00 bis 22.00 Uhr an 5 Tagen pro Woche beschränkt.
- Für lärmintensive Arbeiten und den Sprengvortrieb gelten zusätzliche zeitliche Einschränkungen.
- Für die Sprengerschütterungen und den Körperschall sind vom Bauherrn Grenzwerte festgelegt worden, die teilweise tiefer liegen als die entsprechenden Normenwerte.
- Den Lärmemissionen wurde besondere Beachtung geschenkt; für die Ventilation gilt zum Beispiel ein Grenzwert von 37 dB(A), für den Brecher 47 dB(A).

2 Special challenges

The special challenges presented by this engineering work derive from its unusual circumstances (Figure 2):

- The tunnel passes under a site featuring multiple residential buildings.
- The culturally valuable historical buildings of the “Villa Negroni”, occupied by the “Centro Studi Bancari”, are located in the immediate vicinity.
- The new structure crosses the “Vedeggio-to-Cassarate” road tunnel bypassing Lugano and now nearing completion, and this tunnel’s escape and rescue galleries, at a vertical distance of 5 m (Figure 3).
- The international Chiasso-to-Basle rail line passes immediately adjacent to the site.
- Both space and access are restricted.
- The geology is extremely variable and the overburden thickness slight.

Under these conditions, it is relatively obvious that significant restrictions will apply to site operation:

- Site working hours are restricted to two-shift operation, from 06:00 h to 22:00 h on only five days of the week.
- Additional time restrictions apply for high-noise activities and blasting.
- The client has imposed limits – which are in some cases lower than contained in the corresponding standards – for explosion shock, vibration and structure-borne noise.

Zudem sind natürlich die üblichen Auflagen bezüglich Luftreinhaltung (Staub, Partikelfilter), Abwasserbehandlung, Abfall- und Schlammbewirtschaftung etc. zu beachten.

3 Bauausführung

3.1 Baustelleneinrichtungen

Die Baustelleneinrichtungen bestehen im Wesentlichen aus dem Bürogebäude für Bauherr und Bauleitung, den Büros für die Unternehmung, der Werkstatt, dem Magazin und den Versorgungseinrichtungen für elektrischen Strom, Brauchwasser und Kommunikation. Die Einrichtungen der Unternehmung wurden in der vorgängig erstellten Baugrube montiert.

Nebst der Abwasserbehandlungsanlage, die auf 30 l/sec ausgelegt ist, fallen auf der Baustelle die beiden rund 10 m langen Vort portale am Zugang zum Untertagbereich ins Auge. Die beiden Bauwerke, die vom Projektverfasser bereits vorgesehen waren, dienen insbesondere dem Lärmschutz und wurden durch die Unternehmung auf ihre Bedürfnisse hin optimiert. So wurden die Lüfterstationen und Sprengvorhänge integriert und Abschlusstore eingerichtet.

Die beiden Ventilatoren von je 55 kW Leistung wurden mit Kulissenschalldämpfern ausgerüstet, die sich ausgezeichnet bewährt haben. Anlässlich einer Lärmmessung an einem Sommertag morgens um 7 Uhr wurde ein Pegel des Umgebungsgerauschs von 52 dB(A) festgestellt. Bei eingeschalteten Lüftern erhöhte sich dieser Wert gerade einmal auf 57 dB(A).

Im Hinblick auf die Reduzierung der Lärmbelastung für die Bevölkerung wurde von der Unternehmung ein alternativer Standort für den Brecher ausserhalb des eigenen Baustellenbereichs vorgeschlagen und vom Bauherrn bewilligt. Zusammen mit einer Einhausung mit Schallschutzpaneelen hat dies dazu geführt, dass die Anlage keinerlei Lärmbelästigung mehr darstellt.

Für den Vortrieb ist die Baustelle mit den nachfolgend aufgeführten mobilen Geräten ausgerüstet. Es wurde darauf geachtet, dass jeder Vortrieb seine eigenen Schlüsselgeräte hat, die sich gegenseitig bei einem Ausfall aushelfen können:

- 2 Bohrjumbos, zweiarmig mit Ladekorb,
- 2 Pneu lader mit 4.5 m³ Ladeschaufel,
- 1 Tunnelbagger 40 t und
- 2 Spritzmobile.

Dazu kommen noch die Teleskophebepöhlen, die Fahr mischer für den Beton, die Lkw für den Schutter- beziehungsweise für die allgemeinen Materialtransporte und ein mobiler Backenbrecher mit einer Leistung von 150 t/h.

- Special attention has been devoted to noise emissions; a limit of 37 dB(A) applies to the ventilation, and 47 dB(A) to the crusher.

The other standard regulations, concerning prevention of air pollution (dust, particulate filters), waste-water treatment, waste and sludge management, etc., must, of course, also be adhered to.

3 Execution

3.1 Site equipment

The site equipment consists essentially of the office building for the client and the site management, the offices for the contractor, the workshop, the explosives magazine and stores, and the facilities for supply of power, utility water and communications. The contractor's facilities were installed in the previously excavated construction pit.

In addition to the waste-water treatment plant, which is designed for 30 l/sec., particularly conspicuous on the site are the two foreportals, each around 10 m long, at the approach to the underground workings. These two structures, which had already been provided by the project planner, serve the purpose, in particular, of noise suppression, and were adapted by the contractor to its needs. This work included integration of the fan stations and blasting curtains, and the fitting of blast doors.

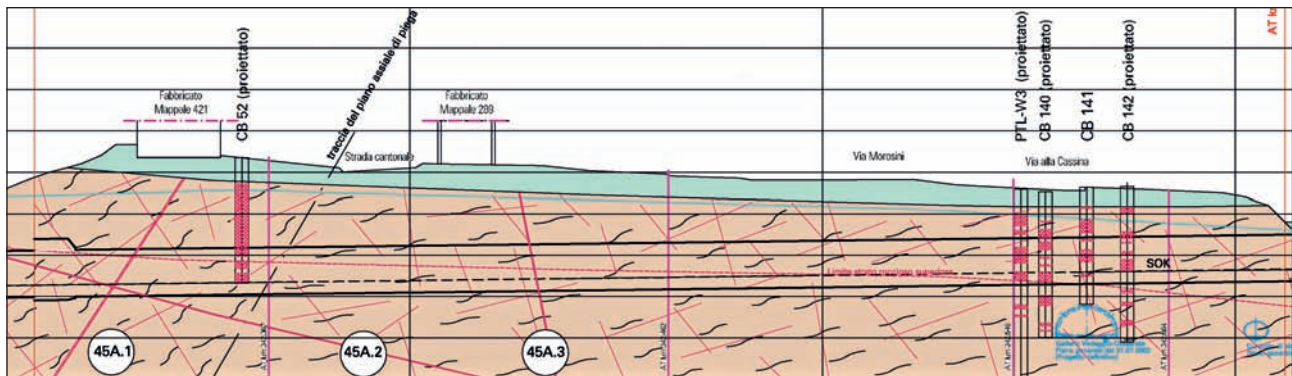
The two fans, each of a rated 55 kW, were equipped with splitter silencers which have proven excellent. An ambient noise level of 52 dB(A) was measured at 7 o'clock on a summer morning. This figure increases to just 57 dB(A) when the fans are running.

The contractor proposed an alternative location outside its own site area for the crusher, in order to minimise noise nuisance to the local population. This was approved by the client. This relocation, in combination with encapsulation using noise-suppression panels, has resulted in the system no longer emitting any noise nuisance whatsoever.

The site is equipped with the following mobile systems for tunnelling purposes. It was ensured that each tunnel-driving operation had its own key equipment and that they can mutually assist each other in case of failure:

- 2 jumbo drilling rigs, twin-boom type, with load cage,
- 2 wheel loaders with 4.5 m³ scoops,
- 1 tunnel excavator, 40 t, and
- 2 shotcreter vehicles.

To these must be added the telescopic work platforms, the mobile concrete mixer, the lorries for movements of dirt and for materials in general, and a mobile jaw crusher with a throughput of 150 t/h.



4 Geologisches Längenprofil
Longitudinal geological section

3.2 Sprengvortrieb

3.2.1 Geologie

Bei der geologischen Formation im Projektbereich, die mit Sondierbohrungen und seismischen Methoden erkundet wurde, handelt es sich um den Stabiello-Gneis. Dieser besteht aus einer heterogenen, geklüfteten Sequenz von schieferigen Gneisen und Serizit-Chlorit-Schiefen mit Granaten. Es kommen quarzitische Horizonte und Serizitgänge vor. Das Gestein wird als B-Material klassiert und kann nur für Schüttungen verwendet werden. Das geologische Profil ist aus Bild 4 ersichtlich.

Die Felsüberdeckung über der Weströhre beträgt rund 5 m im Portalbereich und nimmt mit der Vortriebslänge bis auf maximal 18 m zu, für die Oströhre sind es minimal 10 m bis maximal 35 m. Die darüber liegenden Lockermaterialablagerungen aus dem Quartär haben eine Dicke von 2 bis 6 m.

Durch die Oberflächennähe ist das Gebirgsgefüge aufgelockert, was sich speziell in der Kalotte auswirkt. Die Gefährdungsbilder sehen dementsprechend eine hohe Wahrscheinlichkeit von Kluftkörpern vor. Die Gefahr von Kleinsteinfall und Ablösungen wird als mittel bis hoch eingestuft.

Die erwarteten Bergwassermengen werden als gering angegeben (< 2 l/sec).

3.2.2 Vortrieb und Sicherung

Der Tunnel wird im Sprengverfahren mit Unterteilung in Kalotte und Strosse aufgeföhren. Es sind 5 Sicherungstypen, IVE 1 bis IVE 5 vorgesehen. In der oberflächennahen Weströhre sind 70 % der Tunnellänge in den Sicherungstypen IVE 4 und IVE 5 prognostiziert, in der Oströhre hingegen etwa 50 %.

Als Sicherungsmittel kommen Stab-Anker, Netze und Spritzbeton zur Anwendung; in den Sicherungstypen IVE 3 bis IVE 5 auch Stahleinbau. Die Abschlagslänge ist in der Kalotte auf 0.75 m bis 2.5 m beschränkt, in der Strosse auf 0.75 m bis maximal 4.0 m.

3.2 Drilling and blasting

3.2.1 Geology

The geological formation in the project zone, which was prospected by means of exploratory bore holes and seismic methods, takes the form of Stabiello Gneiss. This consists of a heterogeneous jointed sequence of schistous gneisses and sericite-chlorite schists with garnets. Quartzitic horizons and veins of sericite are also encountered. The rock is classified as "B material", and can be used only for back fills and stowing. The geological profile can be seen in Figure 4.

Rock overburden above the west bore is around 5 m in the vicinity of the portal, and increases with tunnel length up to a maximum of 18 m; the minimum for the east bore is 10 m, the maximum 35 m. The non-cohesive deposits from the Quaternary above this level range from 2 to 6 m in thickness.

The geological structure is non-cohesive, due to the proximity to the surface, which has implications for the tunnel crown, in particular. The hazard scenarios correspondingly envisage a high probability of fissured formations. The danger of fragmented rock falls and roof spalling is assessed as "medium to high".

The flows of underground water anticipated are stated as "slight" (< 2 l/sec).

3.2.2 Tunnelling and support

The tunnel is being driven by means of D&B, with subdivision into tunnel crown and bench. Five types of support, IVE 1 to IVE 5, are planned. Some 70 % of the tunnel length is forecast to require IVE 4 and IVE 5 support types in the shallow west bore, and around 50 % in the east bore.

Bar anchors, mesh and shotcrete are used as support, with additional steel support for support types IVE 3 to IVE 5. Round length is restricted to 0.75 m to 2.5 m in the tunnel crown, and to 0.75 m to a maximum of 4.0 m in the bench.

The normal section for support type IVE 2 has a total area of 78 m², the tunnel crown (height: 6.58 m) accounting for 51 m² and the bench (height: 3.29 m) for 27 m².

Das Normalprofil für den Sicherungstyp IVE 2 hat eine Fläche von total 78 m², 51 m² entfallen auf die Kalotte (Höhe 6.58 m) und 27 m² auf die Strosse (Höhe 3.29 m).

Der Ausbruch erfolgt parallel in beiden Tunnelröhren. Die beiden Vortriebsmannschaften von je 5 Mann arbeiten zweischichtig (6 bis 14 Uhr und 14 bis 22 Uhr). Unterstützt werden sie durch eine kleine Tagschicht für Werkstatt und Logistik.

Die Leute werden bedarfsweise je nach Arbeitszyklus in beiden Röhren eingesetzt. Im Prinzip wird jeweils in einem Tunnel gebohrt, gesprengt und geschuttert, während im anderen gleichzeitig gesichert wird.

Das Bohrschema für einen Anschlag im Sicherungstyp IVE 3A in der Kalotte sieht 141 Bohrlöcher mit 38 mm Durchmesser vor (Bild 5). Es wird ein Paralleleinbruch angewendet mit 2 Bohrungen mit 102 mm Durchmesser. Der verwendete Sprengstoff Tovex SE ist ein Wassergel; in den Profilschüssen wird in Abhängigkeit von der Abschlagslänge zusätzlich eine Sprengschnur Detonex 80 eingesetzt. Der Sprengstoffverbrauch für einen Abschlag von 2 m beträgt rund 160 kg, was 1.5 kg/m³ entspricht.

Die Zündung erfolgt mit nichtelektrischen Exel LP Schlauchzündern mit 25 Zündstufen. Bei Bedarf wird der Kalottenquerschnitt mit Schlauchzündern des Typs Exel MS in bis zu 4 Sektoren aufgeteilt. Dies ergibt maximal 1.32 kg Sprengstoff pro Zündstufe bei einer Abschlagslänge von 1 m.

Die Schutterung geschieht mittels Pneuladern bis auf die Zwischendeponie vor dem Portal. Von dort aus erfolgt der Transport per Lkw zum Mobilbrecher unterhalb der Bahnlinie. Infolge der meist kurzen Abschlagslängen ist die Stückigkeit des Ausbruchmaterials gut und das Brechen auf die Korngrösse 0 – 150 mm bereitet keine Schwierigkeiten.

Die Sicherung in L1 besteht generell aus 5 cm stahlfaserbewehrtem Spritzbeton als Kopfschutz, einem Bewehrungsnetz und aus Anker (Typ SN beziehungsweise Swellex). In L2 wird die Sicherung mit einer zweiten Netzlage und 10 bis 20 cm Spritzbeton vervollständigt.

Ab Sicherungstyp 3 ist Stahleinbau vorgesehen; bisher wurden allerdings nur im unmittelbaren Portalbereich HEB-Träger eingebaut. Mit der Bauleitung konnte ein modifizierter Sicherungstyp 3 vereinbart werden, der an Stelle des Stahleinbaus insgesamt 25 cm Spritzbeton mit 2 Netzlagen vorsieht.

3.3 Tagbautunnel und Portalbauwerk

Bei der Tagbaustrecke handelt es sich um 2 getrennte bewehrte Kastenprofile in Stahlbeton, die sich gegen Süden zunehmend annähern, zu einem Doppelkastenprofil werden und in einem gemeinsamen Portalbauwerk münden.

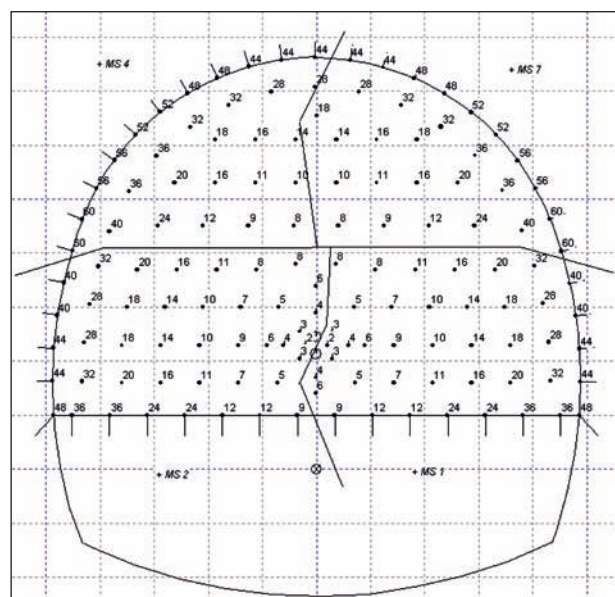
Excavation is proceeding simultaneously in both tunnel bores. The two tunnelling crews, each consisting of five men, work in two shifts (from 06:00 h to 14:00 h and from 14:00 h to 22:00 h), with workshop and logistical services provided by a small day-shift.

The men are assigned to work in both bores as needed, depending on the working cycle. In principle, drilling, blasting and excavation takes place in one bore, while support is installed in the other.

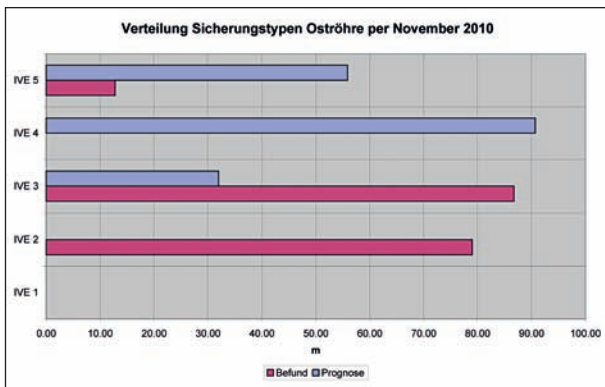
The hole pattern for a shot for support type IVE 3A in the tunnel crown specifies 141 bore holes of 38 mm diameter (Figure 5). A parallel hole cut is used, with 2 holes of 102 mm diameter. The Tovex SE explosive used is a water gel; in the profile blasting operations, a Detonex 80 initiator cord is used additionally, depending on round length. Explosives consumption for a round of 2 m is around 160 kg, equating to 1.5 kg/m³.

The explosive is initiated by means of non-electrical Exel LP hose initiators, featuring 25 initiation stages. Where necessary, the tunnel crown cross-section can be subdivided into up to 4 sectors with Exel MS type hose initiators. This results in a maximum of 1.32 kg of explosive per initiation stage for a round length of 1 m.

Dirt removal is accomplished using wheel loaders up to the intermediate dump in front of the portal. From here, the material is carried by lorry to the mobile crusher located underneath the railway. The fragmentation of the excavated material is good, due to the usually short round lengths, and crushing to a 0 – 150 mm particle size causes no difficulties.



5 Sprengschema Kalotte 3A mit möglicher Unterteilung
Blasting plan for Roof 3A, showing possible subdivision



6 Sicherungstypen Oströhre: Prognose und Befund
Support types for the east bore: forecast and actual

Der Übergang des eckigen Tagbauprofils zum runden Tunnelquerschnitt erfolgt auf den ersten 3 Tunnelmetern. Die Vorportale sind derart konzipiert, dass sie für die erste Betonier-Etappe des Tagbautunnels als Konterschaltungen verwendet werden.

Die Ausführung der übertägigen Arbeiten ist erst ab Mitte 2011 vorgesehen. Gegenwärtig laufen die Evaluationen für ein zweckmässiges modulares Schalungssystem, mit dem die Variation der Betonierquerschnitte einfach gemeistert werden kann. Nicht zu unterschätzen ist ausserdem die Festlegung der optimalen Kranstandorte, da die Platzverhältnisse mit dem Baufortschritt stark eingeschränkt werden und die Sicherheitsanforderungen der unter Betrieb stehenden Eisenbahnlinie zu berücksichtigen sind.

3.4 Bauprogramm und Stand der Arbeiten

Das vom Bauherrn in der Angebotsphase vorgesehene Programm sah nach Erreichen der ersten Etappe des Vortriebs (Tm 100 Weströhre bzw. Tm 135 Oströhre) einen Unterbruch des Vortriebs vor, um eine erste Tranche des Tagbautunnels und die entsprechende Auffüllung mit dem darüber liegenden Parkplatz auszuführen. Die Unternehmung hat diesbezüglich ein optimiertes Programm vorgeschlagen, in dem der Vortrieb parallel zum Bau des Tagbautunnels weiterläuft. Diese Version wurde in den Werkvertrag aufgenommen.

Die bisher verwendeten Sicherungstypen sind leichter ausgefallen als in den Vertragsunterlagen prognostiziert. Wie aus Bild 6 ersichtlich, sind die Verhältnisse im Schnitt um eine Klasse besser als vorgesehen. Dadurch ergab sich ein schnellerer Baufortschritt als ursprünglich geplant. Das hat die Unternehmung bewogen, ein neues Bauprogramm vorzuschlagen, das eine weitgehende Entflechtung der Arbeiten Übertag und Untertag vorsieht.

In diesem neuen Bauprogramm, das mit dem Bauherrn vereinbart werden konnte, ist der Vortrieb beider Tunnelröhren sowie die Verkleidung der Weströhre abgeschlossen, bevor die Arbeiten am Tagbau beginnen. Der angepeilte Meilenstein, nämlich der Abschluss des Vortriebs im Bereich der

Support in L1 generally consists of 5 cm steel-fibre-reinforced shotcrete overhead, a reinforcement mesh and rock bolts (SN or Swellex). In L2, the support is supplemented by a second layer of mesh and 10 to 20 cm of shotcrete.

Steel support is planned as Support Type 3; up to now, however, HEB beams have been installed only in the immediate vicinity of the portal. A modified Support Type 3, which features a total of 25 cm of shotcrete and 2 layers of mesh instead of the steel support, has been agreed with the site management.

3.3 Cut-and-cover tunnel and the portal structure

The cut-and-cover section takes the form of 2 separate reinforced-concrete box sections which converge toward the south, merge into a double-box section and emerge at a single common portal structure.

The transition from the rectangular cut-and-cover profile to a round tunnel cross-section occurs within the first 3 metres of the tunnel. The foreportals are designed in such a way that they function as counter-formwork systems for the first concreting phase of the cut-and-cover tunnel.

Performance of the work on the surface is scheduled to start only in mid-2011. Evaluations for an appropriate modular lining system, by means of which the variation in concreted cross-sections can be easily overcome, are currently taking place. Also not to be underestimated is selection of the optimum crane locations, since space is becoming ever more restricted as construction progresses, and the safety regulations for the operational railway line must also be taken into account.

3.4 Tunnelling schedule and status of the work

The schedule envisaged by the client during the bidding phase provided for interruption of the works after completion of the first round of tunnelling (Tm 100 in the west bore and Tm 135 in the east bore), in order to execute an initial tranche of the cut-and-cover tunnel and corresponding filling for the car-park above it. The contractor here proposed an optimised programme, under which tunnelling continues in parallel to the construction of the cut-and-cover tunnel. This version was included in the service contract.

The support methods used up to now have proven easier than was forecast in the contractual documentation. As can be seen from Figure 6, conditions are, on average, better by one class than expected. The rate of advance has therefore been higher than originally planned. This fact induced the contractor to propose a new working programme which largely separates surface and underground activities.

Under this new schedule, which was agreed with the client, creation of both tunnel bores and lining of the west bore is to be completed before work starts on the cut-and-cover sections. The milestone of completion of tunnelling in the

Querung des darunter liegenden neuen Strassentunnels vor dessen Inbetriebnahme, wurde selbstverständlich beibehalten.

Die erzielten Vortriebsleistungen per Ende November 2010 sind aus Bild 7 ersichtlich (Oströhre). Folgende Vortriebsstände wurden erreicht:

	Kalotte [m]	Strosse [m]
Oströhre	183.0	135.0
Weströhre	158.0	100.0

Die Querung des Strassentunnels konnte mit deutlichem Vorsprung bereits am 22. November 2010 abgeschlossen werden.

4 Erfahrungen mit den Sprengerschütterungen

4.1 Grundlagen

Um die Beeinträchtigung der Anwohner und der vorhandenen Bauwerke möglichst gering zu halten, hat der Bauherr im Vertrag eine ganze Reihe von Massnahmen vorgesehen, die einerseits die Arbeitszeit betreffen und andererseits technische Einschränkungen beim Sprengvortrieb zur Folge haben:

sector crossing above the new road tunnel before completion of this tunnel – to which a liquidated-damages clause attaches – was, of course, retained.

The rates of advance achieved up to the end of November, 2010 can be seen in Figure 7 (east bore). Work status is as follows in the two bores:

	Tunnel crown [m]	Bench [m]
East bore	183.0	135.0
West bore	158.0	100.0

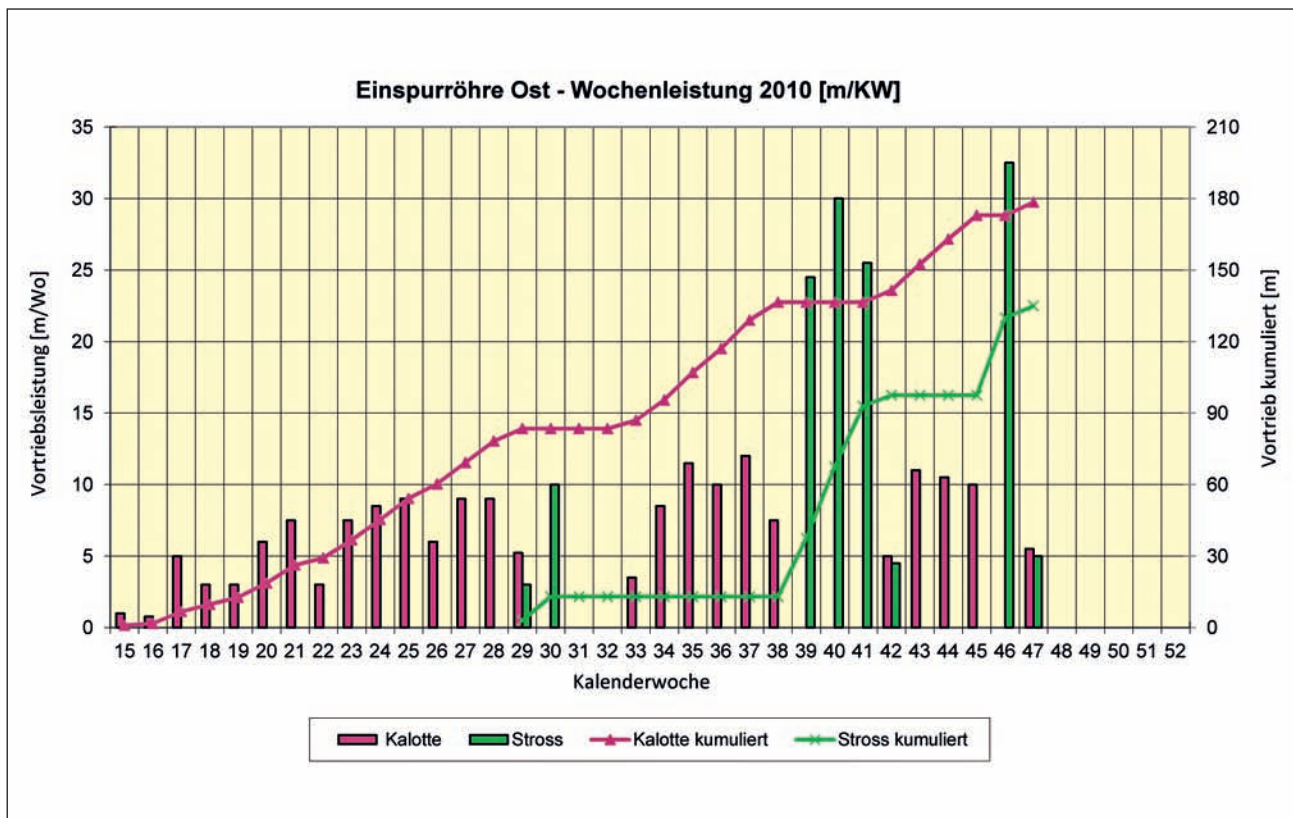
Crossing of the road tunnel was completed considerably ahead of schedule, on November 22, 2010.

4 Experience with blasting vibration

4.1 Fundamentals

In order to keep nuisance and damage to a minimum for local residents and structures, the client included in the contract a whole series of provisions which, on the one hand, impose limits on working hours and, on the other, result in technical restrictions on D&B tunnelling:

- Drilling and shot-firing only between 8:00 h and 12:00 h and between 13:30 h and 18:00 h.



7 Vortriebsleistungen Oströhre
Rates of advance in the east bore

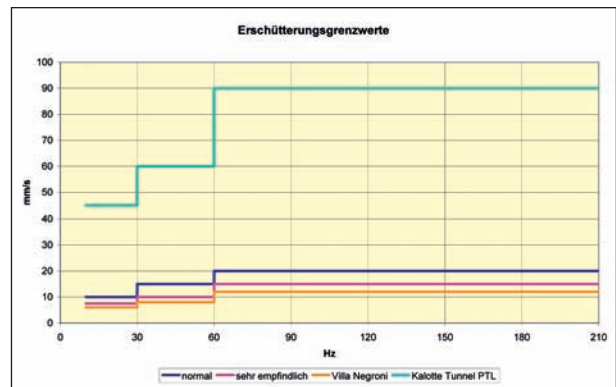
- Bohrarbeiten und Sprengungen nur im Zeitraum von 8.00 bis 12.00 Uhr und 13.30 bis 18.00 Uhr.
- Generelle Beschränkung der Sprengstoffmenge pro Zündstufe auf < 2 kg/Stufe. Bei Bedarf sind weitere Reduktionen bis 0.25 kg/Stufe vorgesehen.
- Höchstens 4 Sprengladungen mit der gleichen Zündstufe.
- Unterteilung der Kalotte in bis zu 3 Sektoren und der Strosse in 2 Sektoren.
- Bei Bedarf Reduktion der Abschlagslänge bis auf 0.75 m.

In Anlehnung an die Richtwerte der Norm SN 640 312a „Erschütterungen – Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke“ hat der Bauherr im Vertrag Grenzwerte für den Geschwindigkeitsvektor [mm/s] festgelegt (Bild 8). Die Grenzwerte berücksichtigen einerseits die massgebenden Frequenzen und andererseits die Art des Bauwerks (Empfindlichkeitsklassen). Die Grenzwerte für ein normal empfindliches Bauwerk wurden bezüglich der Norm von 30 mm/s auf 20 mm/s reduziert (Frequenzbereich > 60Hz).

Der Bauherr hat ein umfassendes Programm zur Überwachung der Sprengerschütterungen aufgezogen und an eine spezialisierte Firma vergeben. Über 20 kritische Messpunkte wurden mit Geophonen ausgerüstet. Diese betreffen Villa Negroni, den zu überquerenden neuen Strassentunnel, die Wohnhäuser in der unmittelbaren Umgebung und die SBB-Linie.

Die Geophone zeichnen bei einer Sprengung die Geschwindigkeiten in den 3 Hauptrichtungen über die Zeit auf. Bei der Auswertung wird daraus einerseits der resultierende Geschwindigkeitsvektor und andererseits die Frequenz ermittelt. Die Aufzeichnungen sind so genau, dass zum Beispiel die Zündstufe ermittelt werden kann, die zu einer Überschreitung geführt hat (Bild 9).

Die Messungen werden bei jeder Sprengung ausgelöst und die Resultate laufend gemeinsam beurteilt, um die Wirksamkeit der angewendeten Massnahmen zu überprüfen und gegebenenfalls Korrekturen vorzunehmen.

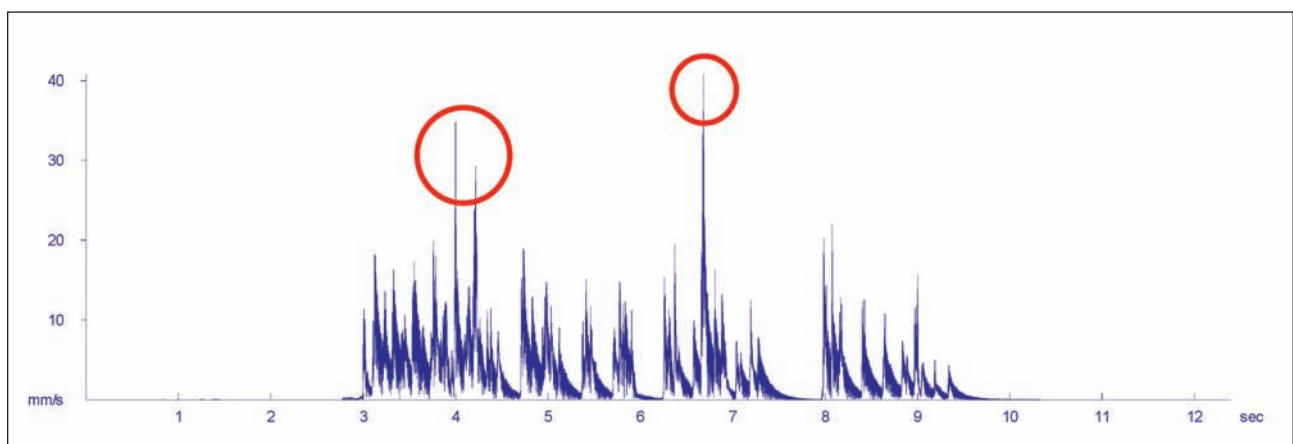


8 Grenzwerte Sprengerschütterungen
Limits for blasting vibrations

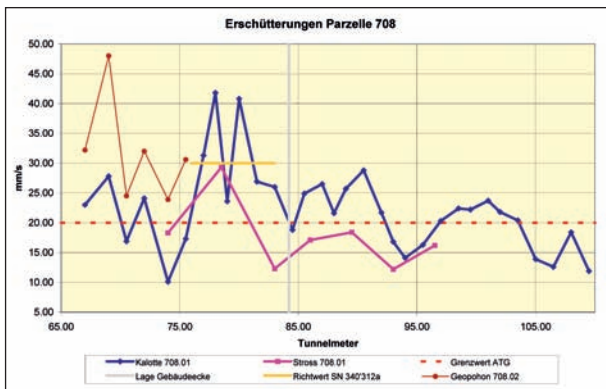
- General restriction of the quantity of explosive per initiation stage to < 2 kg/stage. Further reductions down to 0.25 kg/stage are also possible where necessary.
- Maximum of four explosive charges per initiation stage.
- Subdivision of the tunnel crown into up to 3 sectors and of the bench into 2 sectors.
- Reduction of round length down to 0.75 m where necessary.

The client has, with reference to the guide figures in the SN 640 312a, “Vibration: Effects of vibration on structures” standard, specified limits for the velocity vector [mm/s] in the contract (Figure 8). These limits take account, on the one hand, of the critical frequencies and, on the other hand, of the type of structure (sensitivity classes). The limits for a structure of “normal” sensitivity were reduced from 30 mm/s to 20 mm/s, in accordance with the standard (frequency range > 60 Hz).

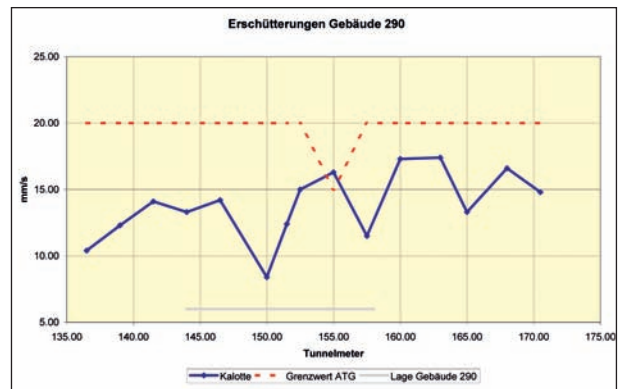
The client has drafted a comprehensive programme for monitoring of shot-firing vibration, and awarded its implementation to a specialist company. More than 20 critical measuring points have been equipped with geophones. These include



9 Aufzeichnung einer Erschütterungsmessung
Record of a vibration measurement



10 Erschütterungen Parzelle 708
Vibrations, Plot 708



11 Erschütterungen Parzelle 290
Vibrations, Plot 290

4.2 Gemessene Erschütterungen

4.2.1 Parzelle 708

Während des Baubetriebs stellte sich schnell heraus, dass bezüglich Erschütterungen nicht die historischen Gebäude der Villa Negroni, die die tiefsten zulässigen Grenzwerte aufweisen, kritisch waren. Es war auch nicht der zu überquerende neue Strassentunnel und schon gar nicht die SBB-Linie. Am stärksten machten sich die Vibrationen beim Gebäude „Al Parco 1“ auf der Parzelle 708 bemerkbar.

Dieses neue, vierstöckige Mehrfamilienhaus mit einem Kellergeschoss in Stahlbeton steht mit seiner südöstlichen Ecke bei Tm 84.2 rund 7.5 m neben der Achse der Weströhre und ca. 11 m über deren Kalotte.

Im Technikraum des Gebäudes wurden 2 Geophone eingerichtet. Eines mit der Bezeichnung 708.01 wurde direkt auf der Bodenplatte montiert, das zweite (708.02) war auf einer Konsole an der Wand befestigt. Da die Messresultate der beiden Instrumente nie übereinstimmten (das zweite Gerät gab stets wesentlich höhere Werte an), wurde das Gerät auf der Wandkonsole nach einer gewissen Zeit ausser Betrieb genommen.

Bei Annäherung der Sprengfront der Kalotte überstiegen bei Tm 67 die Erschütterungen erstmals den Grenzwert von 20 mm/s. Von 2 m Abschlagslänge reduzierte man auf 1.5 m und unterteilte das Profil in 4 Sektoren. Die Erschütterungen gingen zwar zurück, überstiegen aber teilweise trotzdem den Grenzwert. Erstaunlicherweise führte eine weitere Reduktion der Abschlagslänge auf 1 m nicht auf Anhub zum Ziel. Im Gegenteil, die Erschütterungen stiegen auf das Doppelte des zulässigen Grenzwertes (Bild 10).

Bohr- und Sprengschema wurden überprüft, Richtung und Länge der Bohrlöcher sorgfältig überwacht, aber erst als die Ortsbrust rund 20 m von der Hausecke entfernt war, fielen die Erschütterungen definitiv unter den Grenzwert. Dazwischen gab es ein Auf und Ab, das in kein gängiges Schema passte und das auch im Nachhinein nicht nachvollzogen werden konnte. Dass das Haus direkt auf Fels gegründet sein

the Villa Negroni, the new road tunnel, the residential buildings in the immediate vicinity and the Swiss Federal Railways (SBB) rail line.

The geophones record the velocities generated by a blasting operation in the 3 principal directions against time. The resultant velocity vector, on the one hand, and the frequency, on the other, are determined from these data during the evaluation. The records are so precise that it is, for example, possible to determine the initiation stage which has caused an overshoot (Figure 9).

The measurements are tripped at every blasting operation and the results continuously jointly assessed, in order to verify the effectiveness of the provisions implemented and to permit corrective action if necessary.

4.2 Measured vibration

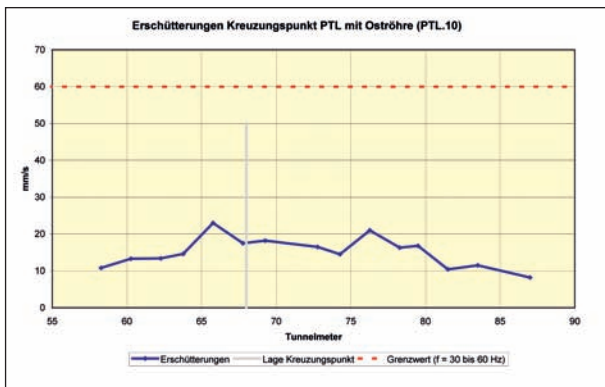
4.2.1 Plot 708

It quickly became apparent once work had started that it was not the historical buildings of the Villa Negroni, to which the lowest permissible limits had been assigned, which were critical in terms of vibration. Nor was it the new road tunnel to be crossed, or even the SBB railway line. The vibrations were most noticeable in the “Al Parco 1” building on Plot 708.

The south-east corner of this new four-storey multi-apartment building, which has a reinforced-concrete basement, is located at Tm 84.2 around 7.5 m from the axis and some 11 m above the roof of the west bore.

2 geophones were set up in this building's equipment room. One, designated 708.01, was located immediately above the foundation slab; the other (708.02) was fixed to a bracket on the wall. The instrument on the bracket was taken out of operation after a certain time, since the data supplied by the two instruments at no time accorded (the second instrument always indicated significantly higher readings).

As the roof blasting front approached, the vibrations at Tm 67 for the first time exceeded the limit of 20 mm/s.



12 Erschütterungen Kreuzungspunkt Strassentunnel
Vibrations at the point of intersection with the road tunnel

soll, ist zwar ein wertvoller Hinweis, aber keine ausreichende Erklärung.

4.2.2 Parzelle 290

Die Oströhre unterquert bei Tm 152 ein weiteres zweistöckiges Wohngebäude. Ein Hausteil befindet sich direkt über dem Tunnel, die Überdeckung beträgt allerdings in diesem Fall rund 23 m. Mit Abschlagslängen von 2.5 m erfolgte die Annäherung mit der Kalotte an das Haus, dann wurden – allerdings eher aus geologischen Gründen – 2 kurze Abschläge ausgeführt. Anschliessend konnte man wiederum auf 2.5 m zurückkehren. Wie aus Bild 11 ersichtlich, konnte das Gebäude mit einer einzigen geringfügigen Überschreitung des Grenzwerts für die Vibrationen (infolge tieferer Frequenz) problemlos unterfahren werden.

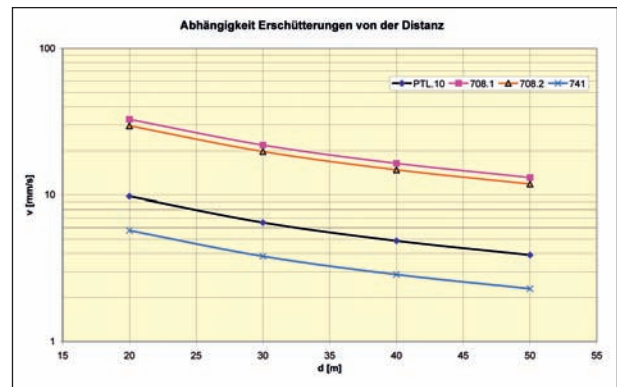
4.2.3 Querung Strassentunnel

Der Kanton Tessin als Bauherr des neuen Strassentunnels verfolgte die Querung seines Bauwerks logischerweise mit Argusaugen. AlpTransit sah sich denn auch veranlasst, entsprechende Einschränkungen für den Baubetrieb zu erlassen und insbesondere an 14 Messstellen (Kalotte, Paramente, Zwischendecke und Sicherheitsstollen) die Sprengerschütterungen zu messen, um jegliche Möglichkeiten einer Gefährdung oder Beschädigung der Tunnelanlage auszuschliessen.

Glücklicherweise erwiesen sich die Befürchtungen als unbegründet. Beide NEAT-Tunnelröhren haben zwischenzeitlich den Strassentunnel vollständig überquert, ohne dass je eine Überschreitung der Erschütterungsgrenzwerte aufgetreten ist. Als Illustration dazu dient Bild 12 mit den durch das Geophon PTL.10 gemessenen Erschütterungen während der Überquerung durch die Kalotte der Oströhre.

4.3 Diskussion der Resultate

Zuallererst ist festzuhalten, dass trotz gelegentlicher – im Falle der Parzelle 708 sogar mehrfacher – Überschreitung der vertraglichen Grenzwerte keine Schäden an den betroffenen Gebäuden aufgetreten sind.



13 Abhängigkeit der Erschütterungen von der Distanz für verschiedene Messpunkte
Vibrations as a function of distance for various measuring points

Round length was reduced from 2 m to 1.5 m, and the tunnel profile subdivided into 4 sectors. Vibration levels then fell, but nonetheless continued to exceed the limit in some cases. Astonishingly, a further reduction in round length, to 1 m, did not immediately produce the desired results. The vibration levels, on the contrary, rose to twice the permissible limit (Figure 10).

The drilling and blasting plan was then checked, and the direction and length of the shot-firing holes carefully monitored, but the vibrations dropped definitively below the limit only once the excavation face was around 20 m from the corner of this building. Fluctuations with no recognisable system, and which even in retrospect could not be interpreted, occurred in the meantime. The fact that the building is said to be located immediately on rock is, indeed, a valuable clue, but not an adequate explanation.

4.2.2 Plot 290

At Tm 152, the east bore passes under another two-storey residential building. Part of this building is located immediately above the tunnel, although the tunnel cover in this case is around 23 m. The roof of the tunnel approached this building at round lengths of 2.5 m, after which – more for geological reasons, however – 2 short round lengths were made. It was then possible to return to 2.5 m. As is apparent from Figure 11, it proved possible to tunnel under the building without difficulty, with only a single slight overshoot of the vibration limit (the result of a lower frequency).

4.2.3 Crossing of the road tunnel

The Canton of Ticino, the client for the new road tunnel, understandably monitored the crossing of its structure extremely attentively. AlpTransit then considered it appropriate to impose corresponding restrictions on tunnelling operations and, in particular, to measure the blasting shock at 14 measuring points (tunnel crown, side walls, false roof and escape tunnels), in order to eliminate any possibility of danger or damage to the tunnel system.

Auffallend sind die Resultate bei der Parzelle 708. Offenbar verhält sich hier das System „Sprengung – Übertragung – Erschütterung“ anders als bei der Querung des neuen Strassentunnels oder bei der Unterquerung des Grundstücks 290.

Mit der bekannten Formel

$$v = k \times (d/Q^{1/2})^{-1}$$

lassen sich die gemessenen Erschütterungen analysieren und die Abhängigkeit der Partikelgeschwindigkeit [v] von der Distanz [d] für einen bestimmten Messstandort bei gegebener Ladung Q [kg/Stufe] aufzeigen. In Bild 13 wurden die Kurven für die Messstandorte 708.01, 708.02, PTL.10 und 741 einander gegenübergestellt. Bei der Parzelle 741 handelt es sich um ein Wohngebäude, das rund 40 m westlich des Tunnels liegt und nie kritische Werte ergeben hat. Man kann feststellen, dass der veränderliche Parameter (k-Wert) bei der Parzelle 708 um ein Mehrfaches höher liegt als bei den beiden Vergleichsstandorten.

Schaut man sich die gemessenen Frequenzen an den verschiedenen Standorten an, stellt man auch erhebliche Unterschiede fest (Bild 14). Von einigen Ausreißern abgesehen weist jede Messstelle ihr eigenes Frequenzspektrum auf. Die höchsten Frequenzen treten bei der Parzelle 708 auf (708.1 bei 260 Hz, 708.2 bei 200 Hz), die tiefsten bei der Tunnelquerung Ost (PTL.10 mit 37 Hz).

Bereits in der Angebotsphase hatte die Unternehmung mit einem Sprengexperten zusammengearbeitet, der unter Berücksichtigung der Vorgaben des Bauherrn und der Erfahrungen beim Bau des neuen Strassentunnels „Vedeggio – Cassarate“ eine Beurteilung der Ausschreibungsunterlagen vorgenommen hat.

Der Bericht bestätigte, dass die Erschütterungen für den Sprengvortrieb einen massgebenden Faktor darstellen. Er betonte auch, dass bei den Erschütterungen die Beeinträchtigung der Wohnbevölkerung gebührend zu beachten sei und nicht nur die mögliche schädigende Auswirkung auf die vorhandenen Bauwerke. Sinngemäss: Lieber eine etwas grössere Abschlagslänge mit entsprechend höheren Erschütterungen und dafür weniger Sprengereignisse. Dies vor dem Hintergrund, dass die Bauwerke im Projektumfeld grossmehrheitlich neueren Datums und von guter Bauqualität sind und daher eine Schädigung infolge der Erschütterungen eher unwahrscheinlich sein sollten.

Der Bericht enthielt daher auch eine Prognose zu den technisch möglichen Abschlagslängen über den Tunnelverlauf. In der Ausführung dominierten in der Kalotte der Weströhre die Abschlagslängen 1 bis 2 m mit über 80 % (Prognose 58 %). Die ganz kurzen Abschlagslängen < 1 m (Prognose 15 %) kamen praktisch nicht vor (Bild 15). Die Differenzen zwischen Prognose und Befund haben natürlich auch geologische Gründe. Zudem waren die Frequenzen teilweise höher als in der Modellrechnung angenommen, und die Abschlagslängen waren in der Ausführung nicht primär darauf

Happily, these fears proved unfounded. Both bores of the NRLA tunnel have now completely passed the road tunnel without any overshoot of the vibration limits. This is illustrated by Figure 12, which shows the vibrations generated by the roof of the east bore as measured by Geophone PTL.10 during passage over the other tunnel.

4.3 Discussion of results

It must, firstly, be noted that, despite occasional – and, in the case of Plot 708, repeated – overshooting of the contractual limits, no damage was caused to the buildings involved.

The results for Plot 708 are particularly conspicuous. The “blasting – transmission – vibration” system obviously behaves differently here than in the crossing of the new road tunnel and in the passage below Plot 290.

The known formula

$$v = k \times (d/Q^{1/2})^{-1}$$

can be used to analyse the vibrations measured and the correlation between particle velocity [v] and distance [d] for a specific measuring location and a given charge [kg/stage]. The curves for Measuring Locations 708.01, 708.02, PTL.10 and 741 are compared against one another in Figure 13. Plot 741 is a residential building, which is located around 40 m to the west of the tunnel and for which critical readings at no time occurred. It is apparent that the variable parameter (k-value) for Plot 708 is several times greater than for the two reference locations.

Examination of the frequencies measured at the various locations also discloses significant differences (Figure 14). With the exception of a few outliers, each measuring point exhibits its own frequency spectrum. The highest frequencies occur at Plot 708 (260 Hz on 708.1 and 200 Hz on 708.2), the lowest at the east-bore tunnel crossing (PTL.10, 37 Hz).

The contractor had, as early as the bidding phase, co-operated with a blasting expert, who performed an assessment of the invitation-to-tender documentation, taking account of the client’s stipulations and of experience in construction of the new “Vedeggio-to-Cassarate” road tunnel.

The report confirmed that the vibrations were a critical factor for shot-firing operations. It also emphasised that adequate attention was to be devoted with respect to the vibrations not only to potential harmful effects on the structures in the vicinity, but also to nuisance to the residential population. In other words: a slightly greater round length, and correspondingly higher vibrations, and thus fewer blasting events, would be preferable. This, against the background that the structures in the project environment were, by a large majority, of relatively recent construction and of good construction quality, and that damage as a result of the vibrations could therefore be considered relatively improbable.

ausgerichtet, um die Erschütterungsgrenzwerte voll auszunützen.

In der Strosse liessen sich bislang deutlich grössere Abschlagslängen ausführen als prognostiziert.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dank vorsichtig angesetzter Erschütterungsgrenzwerte sind, trotz gelegentlicher Überschreitung, keine Schäden an Gebäuden oder Infrastrukturen aufgetreten. Auch die Deformationsmessungen im Tunnel haben nur geringfügige Verschiebungen ergeben, die rasch abgeklungen sind.

Der Sprengvortrieb bleibt trotz der technischen Möglichkeiten, die heute verfügbar sind (Zündtechnik, Sprengstoffe, Bohrtechnik etc.), eine „empirische Wissenschaft“, bei der nicht immer alles genau vorhergesagt werden kann. Offensichtlich können Singularitäten im Fels- und Bodenaufbau, die Art oder der Ort der Montage der Geophone die Messergebnisse massgeblich beeinflussen.

Die Baustelle Los 854 hat sich von Baubeginn an gut in das komplexe Umfeld eingefügt. Dass es trotz Bemühen der Baustellenleitung zu einigen wenigen Reklamationen der Anwohner infolge Lärmemissionen ausserhalb des zulässigen Zeitfensters gekommen ist, kann man dem Übereifer der Mineure zuschreiben.

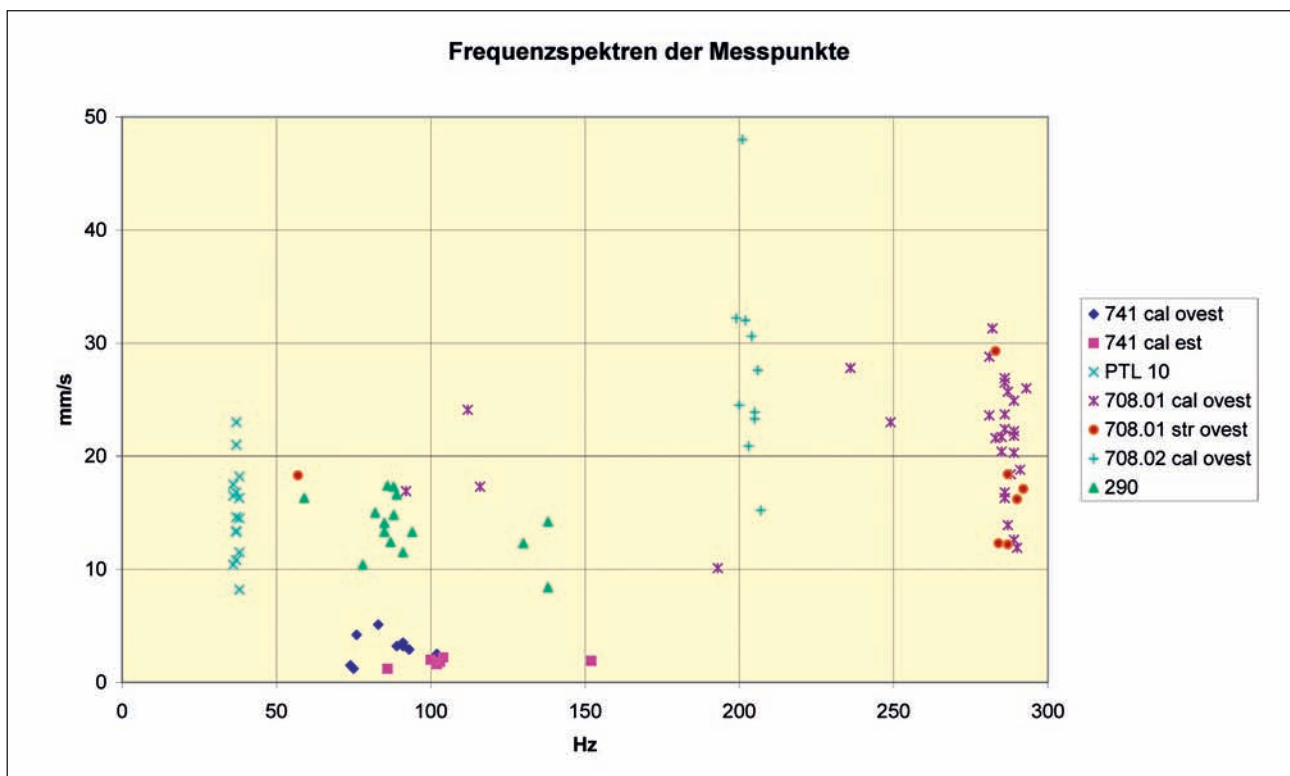
The report therefore also included a forecast of the technically possible round lengths across the course of the tunnel. During tunnelling work, round lengths of 1 to 2 m predominated in the tunnel crown of the west bore, at above 80 % (forecast: 58 %). There were virtually no very short round lengths of < 1 m (forecast: 15 %, see Figure 15). There were, of course, also geological reasons for the differences between the forecast and the actual percentages. In addition, the frequencies were in some cases higher than had been assumed in the model computation, and the round lengths during execution were not primarily orientated around exploitation of the vibration limits to the full.

Up to now, it has been possible to use significantly greater round lengths than were forecast.

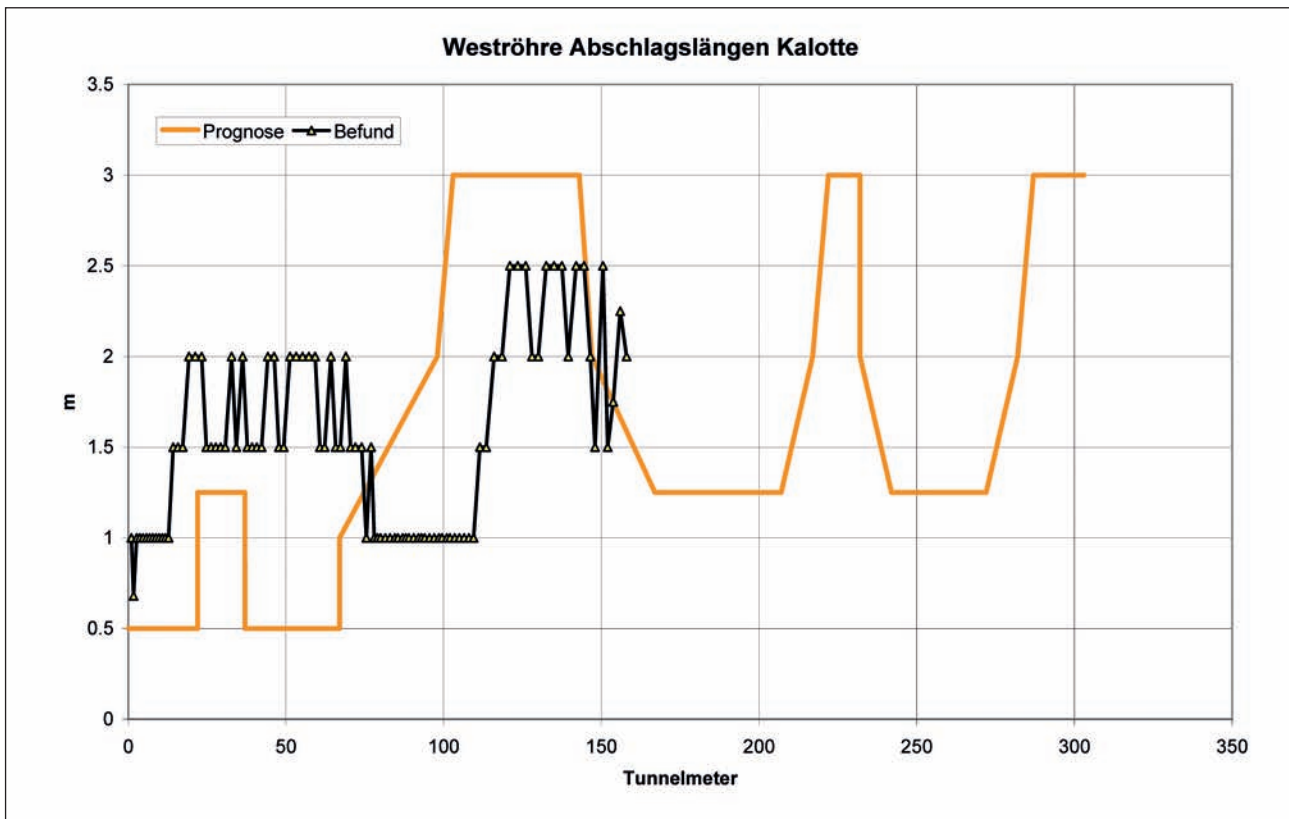
5 Conclusions and prospects

Thanks to carefully selected vibration limits, no damage to buildings or infrastructural features occurred, despite occasional overshoots. Deformation measurements in the tunnel also indicated only slight shifts, which decayed quickly.

Despite the technical potentials available nowadays (initiation system, explosives, drilling methods, etc.), D&B tunneling remains an “empirical science”, in which not everything can always be accurately predicted. Peculiarities in the rock and ground structure, and the nature and/or location of geo-



14 Frequenzspektren der Messpunkte
The frequency spectra of the measuring points



15 Abschlagslängen in der Kalotte der Weströhre
Round lengths in the roof of the west bore

Die Geologie bot letztlich weniger Schwierigkeiten als vorhergesehen. Dank einer eingespielten Mannschaft hat dies zu erfreulichen Vortriebsleistungen und einem entsprechenden Vorsprung im Terminprogramm geführt.

Die gute Zusammenarbeit mit Bauleitung und Bauherrn hat der Unternehmung erlaubt, im Interesse aller Beteiligten innovative Lösungen umzusetzen.

Falls keine unerwarteten Schwierigkeiten auftreten, können die Vortriebsarbeiten im Sommer 2011 abgeschlossen werden.

phone installation, can obviously have a critical influence on the data measured.

From the start of construction work, the Lot 854 site integrated well into the complex project environment. The fact that a few complaints concerning noise emissions outside the permissible "time window" were received, despite the efforts of the site management, can only be ascribed to the excessive zeal of the tunnelling crews.

The geology, finally, produced fewer difficulties than had been expected. A well-established team has achieved pleasing rates of advance and put progress well ahead of the schedule.

The good co-operation with the site management and the client has enabled the contractor to implement innovative solutions in the interests of all participants.

Tunnelling should be completed in the summer of 2011, provided no unforeseen difficulties occur.

Josef Bolliger, Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter Implen Bau AG, Zürich/CH

Weinbergtunnel der Durchmesserlinie Zürich

Erfahrungen im Hydrovortrieb im Abschnitt Central bis Schacht Südtrakt beim Bahnhof Zürich

Der Abschnitt des Weinbergtunnels vom Central bis zum Schacht Südtrakt beim Hauptbahnhof Zürich stellt im Abschnitt 3 der Durchmesserlinie die grössten Herausforderungen an den Tunnelbau. In diesem innerstädtischen Bereich ist die Limmat bergmännisch zu unterqueren und zahlreiche wichtige Verkehrsträger und ältere Einbauten im Untergrund sind sicher zu unterfahren. Der Tunnel liegt hier in gemischter Fels- und Lockergesteinsgeologie im Grundwasser.

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail

Hydroshield tunnelling experience in the section from Central to the South Station Zone shaft and Zurich main station

The section of the Weinberg Tunnel running from Central to the South Station Zone shaft at Zurich's main station makes the greatest tunnel-engineering challenges of the Cross Rail in Section 3. Tunnelling is to pass by underground-tunnelling means under the River Limmat and numerous important transport routes and existing underground structures in this inner-city zone. The tunnel here is located in the groundwater in a mixed geology consisting of rock and less cohesive material.

1 Einleitung

Die 9.6 km lange Durchmesserlinie (DML) bildet künftig einen zentralen Teil der West-Ost-Achse des nationalen Schienenverkehrs. Als Kapazitätssteigerung für den Hauptbahnhof Zürich ermöglicht sie neue Angebotskonzepte im S-Bahn- und Fernverkehr. Der 4.9 km lange Weinbergtunnel ist ein Teil der DML und verbindet als Doppelspurtunnel den viergleisigen unterirdischen Durchgangsbahnhof Löwenstrasse mit dem Bahnhof Oerlikon (Bild 1).

2 Vortriebskonzept für den Weinbergtunnel

Über einen Schacht von 23 m Durchmesser und 42 m Tiefe musste der Zugang zum 4.9 km langen Weinbergtunnel erstellt werden. 110 m Richtung Oerlikon bis zur Losgrenze zum Tagbau Abschnitt 4 sowie die Montagekaverne wurden konventionell im Schrämmverfahren mit Spritzbetonsicherung erstellt.

Für das Auffahren der 4.4 km langen Tunnelstrecke vom Startschacht Brunnenhof bis zum Schacht Bahnhof wurde eine Mixschild-TBM mit einem Durchmesser von 11.34 m von Herrenknecht montiert. Die Maschine begann den 4130 m langen Tunnel als Hartgestein-TBM in der oberen Süss-

1 Introduction

The 9.6 km long Zurich Cross Rail will, in future, form a central element in the west-to-east axis of Switzerland's national rail system. In enhancing the capacity of Zurich's "Hauptbahnhof" (main station), it opens up new service concepts for rapid-transit and long-distance rail traffic. The 4.9 km Weinberg Tunnel, a double-track tunnel connecting the four-track Löwenstrasse underground through station to the station at Oerlikon, is an element in the DML (Figure 1).

2 Tunnelling concept for the Weinberg Tunnel

It was necessary to create access for the 4.9 km Weinberg Tunnel by means of a 23 m diameter, 42 m deep shaft. Toward Oerlikon and up to the lot boundary with the Section 4 surface works and the installation cavern, 110 m of tunnel were driven conventionally using the shearing method and shotcrete support.

A mixshield Herrenknecht TBM of a diameter of 11.34 m was assembled for driving of the 4.4 km long length of tunnel from the Brunnenhof starting shaft to the shaft at the station. The machine commenced the 4130 m long tunnel in the upper fresh-water molasse, an alternating stratification

Le tunnel du Weinberg de la ligne diamétrale de Zurich

Expériences faites dans l'avancement au bouclier hydraulique dans le tronçon allant de la station Central au puits Sud, à la gare de Zurich

Le tronçon du tunnel du Weinberg allant de la station Central au puits Sud au niveau de la gare principale de Zurich rassemble, dans la section 3, tout ce que la construction de tunnels comporte de défis majeurs. Dans cette zone située en pleine ville, le creusement sous la rivière Limmat est réalisé dans le rocher et il faut passer en toute sécurité sous de nombreuses voies de communication importantes et des constructions plus anciennes en sous-sol. Le tunnel se trouve ici dans la nappe phréatique et rencontre une géologie faite de roches et de terrain meuble.

Il tunnel del Weinberg della linea diametrale di Zurigo

Esperienze nell'idroavanzamento nella sezione Centrale fino al pozzo tratta sud presso la stazione di Zurigo

La tratta di tunnel del Weinberg da Centrale fino al pozzo tratta sud presso la stazione centrale di Zurigo rappresenta la maggiore sfida per i costruttori nella sezione 3. In questa zona urbana si devono attraversare in sicurezza sotto terra il fiume Limmat e numerose altre infrastrutture e costruzioni nel sottosuolo. Il tunnel si trova in geologia mista di roccia e terreno sciolto, in acqua di faglia.

wassermolasse, einer Wechsellagerung von Mergeln und Sandsteinen. Für die restlichen 280 m wurde die TBM auf Hydroschild-Betrieb umgebaut.

Im Folgenden wird die 280 m lange Lockergesteinsstrecke im Bereich Central bis Schacht Südtrakt dargestellt.

3 Geologie, Baugrundverhältnisse im Bereich Central–Hauptbahnhof mit Limmatquerung

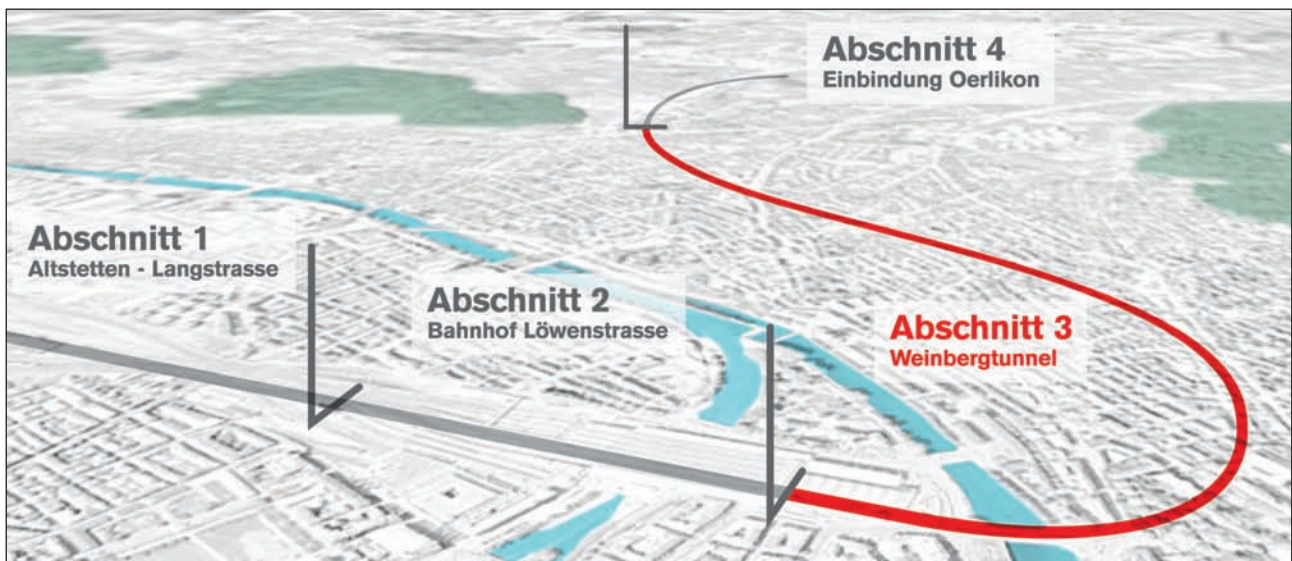
Der Abschnitt vom Central bis zum Schacht Südtrakt beim Hauptbahnhof Zürich stellt die grössten Herausforderungen

of marls and sandstones as a hard-rock TBM. It was then converted to hydroshield mode for the remaining 280 m.

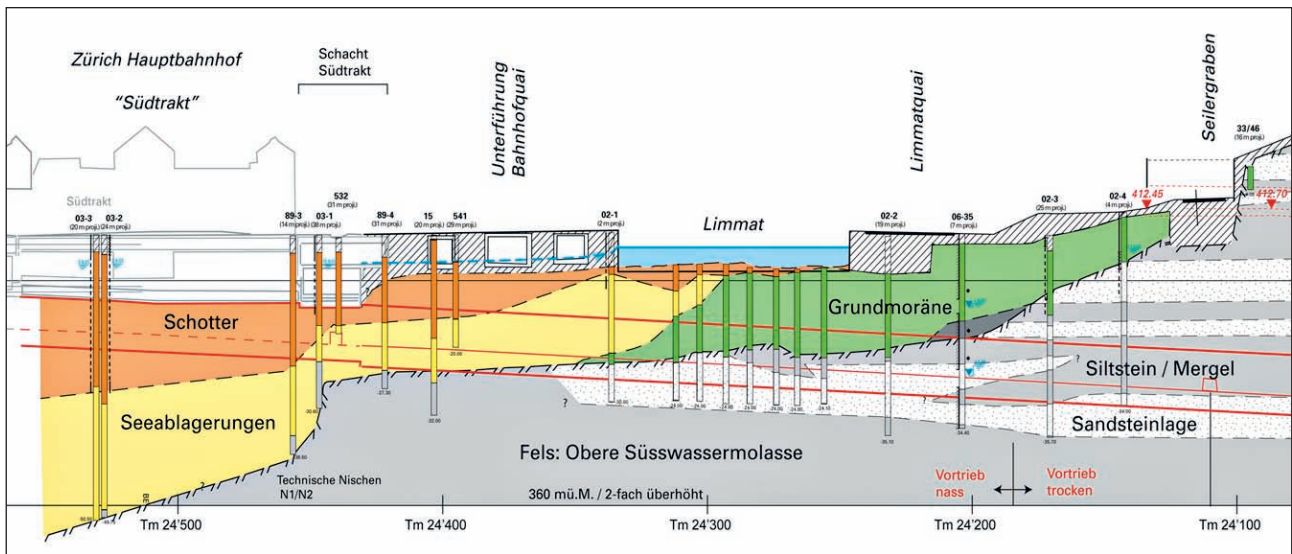
The 280 m length in non-cohesive soil from Central to the South Station Zone shaft is examined below.

3 Geology and ground conditions in the Central-to-Hauptbahnhof section, including passage under the River Limmat

The length from Central to the South Station Zone shaft at Zurich "Hauptbahnhof" (main station) presents the greatest



1 Gliederung Durchmesserlinie Zürich
Sectors of the Zurich Cross Rail
Quelle/Source: IG ZALO



2 Geologischer Längsschnitt
Longitudinal geological section

an den Tunnelbau dar. In diesem innerstädtischen Bereich ist die Limmat bergmännisch zu unterqueren und zahlreiche wichtige Verkehrsträger sowie Versorgungsleitungen und ältere Einbauten im Untergrund sind sicher zu unterfahren. Wie dem geologischen Längensprofil (Bild 2) entnommen werden kann, liegt der Tunnel hier in gemischter Fels- und Lockergesteinsgeologie. In Vortriebsrichtung steigt der First nach der Unterfahrung des Hirschengrabetunnels der S-Bahn mit nur 6 m Vertikalabstand in jüngere Molassegesteine auf, die hier einen hohen Anteil an Sandsteinen aufweisen. Etwa ab dem Central liegt der Tunnel in der Grundmoräne der letzten Eiszeit und tritt dann schleifend in die siltig-sandigen, horizontal geschichteten Seeablagerungen ein, die auf der linken Limmatseite direkt dem Fels aufliegen. Entlang einer erosiven, im Detail schwierig prognostizierbaren Grenze folgen über den Seeablagerungen die Limmatal-Schotter, die eine wechselhafte, aber generell gute Durchlässigkeit aufweisen. Der ganze Vortrieb erfolgt hier im Grundwasser.

4 Sicherheitsmanagement

Die Komplexität der Aufgabe und die möglichen Schadensausmasse erfordern eine detaillierte Risikoanalyse. Kernelement dabei war die konsequente Erarbeitung eines Sicherheitsplanes. Ausgehend von Fakten dient er 3 Zielen: dem methodischen Erkennen und Visualisieren möglicher unerwünschter Ereignisse, der Beschreibung deren Auslöser und Mechanismen und der Festlegung von Massnahmen (Bild 3). Aus Plänen und Beilagen wird ein Dossier erstellt. Die Erarbeitung eines Sicherheitsplanes erfolgt iterativ, bis keine begründeten Einwände mehr vorliegen [1].

5 Wahl der Baumethode

Aufgrund der umfangreichen geologischen Untersuchungen sowie eingehender Risikoanalyse fiel die Wahl auf einen TBM-

challenges to tunnel-engineering. Tunnelling is to pass by underground-tunnelling means under the River Limmat and numerous important transport routes and existing underground structures in this inner-city zone. As can be seen from the longitudinal geological section (Figure 2), this tunnel is located here in a mixed geology consisting of solid rock and non-cohesive material. In the direction of tunnelling, the roof rises, after passage under the Hirschengraben rapid-transit system tunnel at a vertical distance of only 6 m, into younger molasses which here contain a high percentage of sandstones. From around Central, the tunnel is located in the basal moraine of the last Ice Age, and then enters, at a glancing angle, the silty/sandy, horizontally stratified lake-bed depositions, which lie directly on the rock on the left-hand side of the Limmat. The Limmat Valley gravels, which exhibit variable, but generally good, permeability, follow above the lake-bed depositions along an erosive boundary difficult to forecast in detail. All tunnelling here is being conducted in the groundwater.

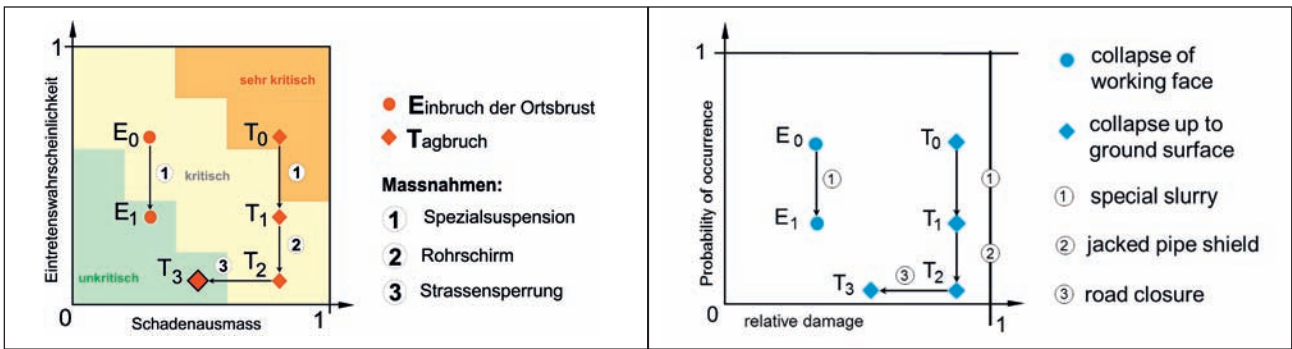
4 Safety management

The complexity of the task involved, combined with the potential magnitude of any failures, necessitate a detailed risk analysis. The central element in this was consistent drafting of a safety plan. This serves three purposes, based on solid facts: methodical detection and visualisation of possible undesirable occurrences, description of their causes and mechanisms, and the definition of appropriate action (Figure 3). The relevant plans and attachments are used to draft a dossier. A safety plan is then prepared "iteratively", until there are no more rationally founded reservations [1].

5 Selection of the tunnelling method

Extensive geological surveys and detailed risk analyses resulted in the selection of TBM hydroshield tunnelling, a

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail • Hydroschild tunnelling experience in the section from Central to the South Station Zone shaft and Zurich main station



3 Massnahmen zur Risikominimierung
Risk minimisation provisions
Quelle/Source: IG ZALO

Hydroschild-Vortrieb, bestärkt durch den erfolgreichen Vortrieb der Lockergesteinsstrecke des Projektes Zürich – Thalwil (Zimmerberg-Basistunnel der Bahn 2000). Der zur Ortsbruststützung erforderliche Druck kann sehr genau geregelt werden, sei es über ein Luftpolster oder über die abgestimmten Drehzahlen der Förder- und Speisepumpen. Setzungen insbesondere in Bereichen geringer Überdeckung können so in Grenzen gehalten werden.

decision supported by successful tunnelling through non-cohesive rock on the Zurich-to-Thalwil project (Zimmerberg Base Tunnel, Rail 2000). The pressure necessary for support of the face can be metered extremely precisely, whether supplied by means of an air cushion or via the co-ordinated speeds of the delivery and feed pumps. Subsidence can thus be kept within limits, particularly in zones of lesser overburden.

6 Bauhilfsmassnahmen

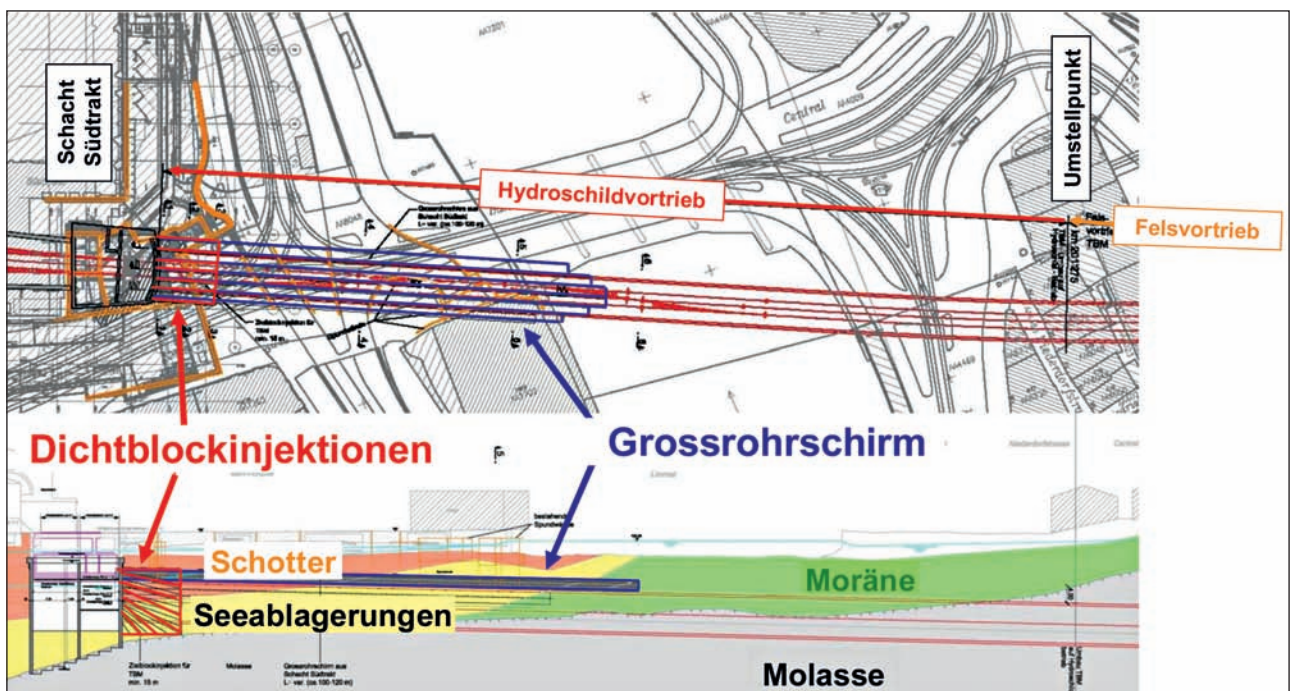
6 Auxiliary tunnelling aids

6.1 Grossrohrschirm

6.1 Large pipe arch

Um Ausbläser in die Limmat, die mit nur 10 bis 13 m Überdeckung unterfahren wurde, oder Tagbrüche und unzulässige Setzungen im Bereich Bahnhofquai zu vermeiden, wurde vor der TBM-Durchfahrt ein Grossrohrschirm aus dem

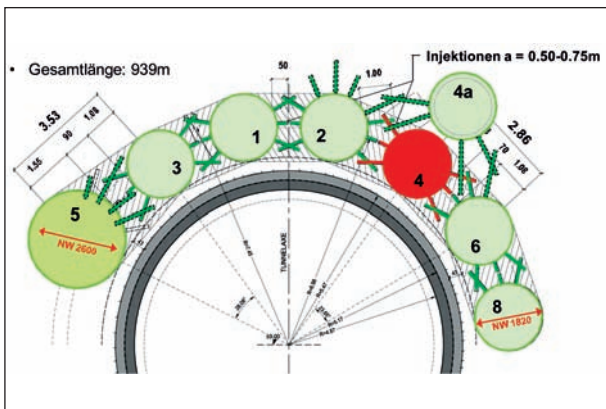
A large pipe arch was installed from the South Station Zone shaft into the dense moraine, to around the middle of the Limmat, in order to avoid shot blow-outs into the river, under which the tunnel was to pass with only 10 to 13 m of



4 Bauhilfsmassnahmen im Grundriss und Längsschnitt
Plan view and longitudinal section of auxiliary construction provisions
Quelle/Source: IG ZALO

Weinbergtunnel der Durchmesserlinie Zürich •

Erfahrungen im Hydrovortrieb im Abschnitt Central bis Schacht Südtrakt beim Bahnhof Zürich



5 Querprofil Rohrschirm
Cross-section of the pipe arch



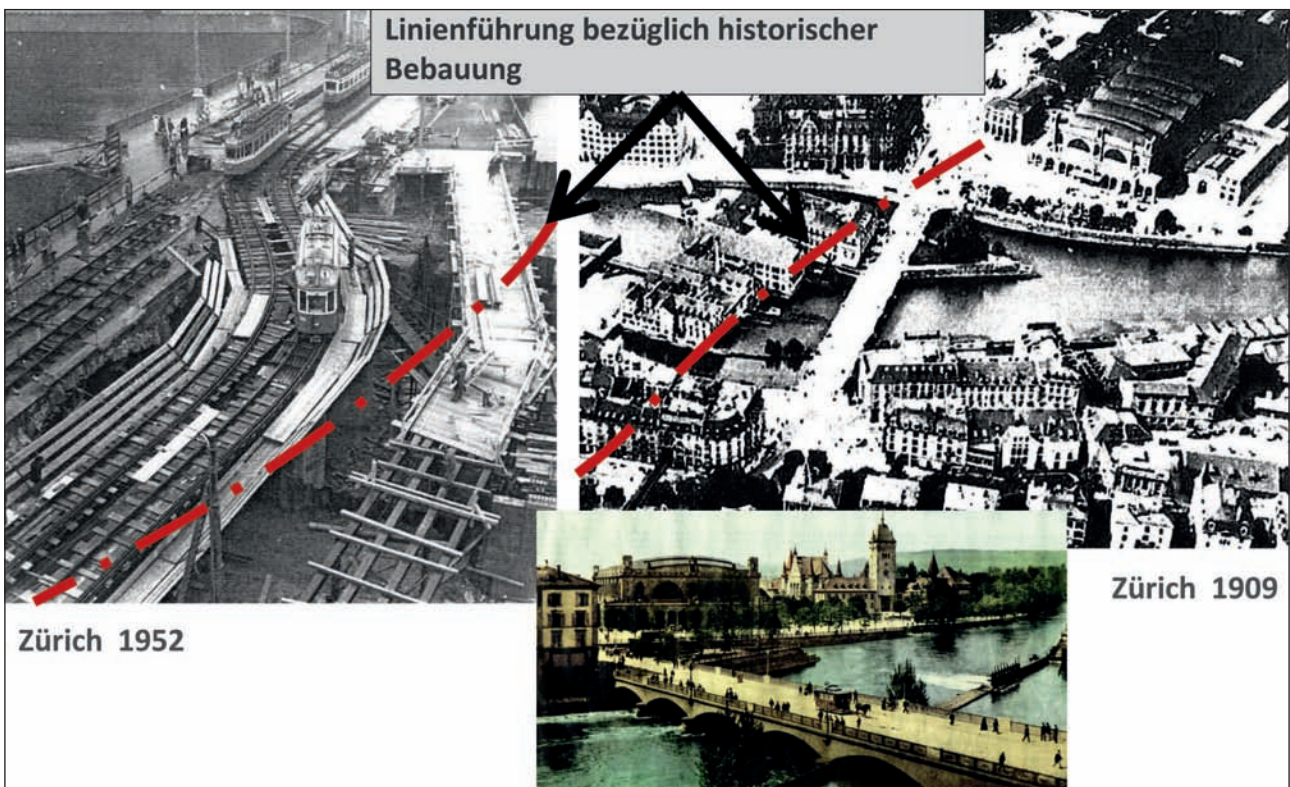
6 Vortriebsinstallation Grossrohrschirm im Schacht Südtrakt
Tunnelling installation and pipe arch in the South Station Zone shaft

Schacht Südtrakt bis in die dichte Moräne, ungefähr Mitte Limmat, ausgeführt (Bild 4, 5).

Der Rohrschirm besteht aus 6 Rohren mit Aussendurchmesser von 1960 mm und einem Rohr von 3300 mm. Zwischen den Rohren wurde der Baugrund, um Materialausbrüche und Ausbläser zu verhindern, mittels Injektionen verfestigt. Anschliessend wurden die kleineren Rohre wie Pfähle bewehrt und mit SCC-Beton ausbetoniert. Das grosse Rohr Nr. 5 bleibt für Interventionszwecke offen (Bild 5). Infolge der Havarie vom April 2009 [2] musste der Grossrohrquerschnitt angepasst werden (Rohrstrang 4a) (Bild 5, 6).

cover, and surface cave-ins or impermissible subsidence in the "Bahnhofquai" quay area (Figures 4 and 5).

This pipe arch consists of 6 pipes of outer diameter 1960 mm, and 1 pipe of 3300 mm. The ground was stabilised by means of injection grouting between the pipes, in order to prevent material falls and shot blow-outs. The smaller pipes were then reinforced as piles, and concreted out using SCC concrete. The large pipe no. 5 remained open, to permit intervention if necessary (Figure 5). The large-pipe no. 5 cross-section required modification (Pipe Train 4a) due to the incident in April, 2009 [2] (Figures 5 and 6).



7 Historische Bebauung
Existing structures

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail • Hydrosshield tunnelling experience in the section from Central to the South Station Zone shaft and Zurich main station

6.1.1 Hindernisse

Im Bereich Limmat und Bahnhofquai musste mit verschiedenen Hindernissen aus früheren Bauwerken gerechnet werden (Bild 7).

6.1.2 Spezialwerkzeuge auf der Grossrohrschirm TVM – AVN 1200

Mit verschiedenen Vorversuchen konnte gezeigt werden, dass die vorhandenen Spundwände, Rühlwandträger und die bewehrte Schlitzwand mit speziell angefertigten Abbauwerkzeugen durchfahren werden kann, sodass kein Einstieg und keine Hindernisbergung unter Druckluft nötig war (Bild 8).

6.1.3 Vortrieb mit Schott

Um zu verhindern, dass bei einer Havarie unter der Limmat Wasser in den Schacht eindringen würde, musste ab der Quaimauer der Vortrieb geschlossen gefahren werden (Bild 9).

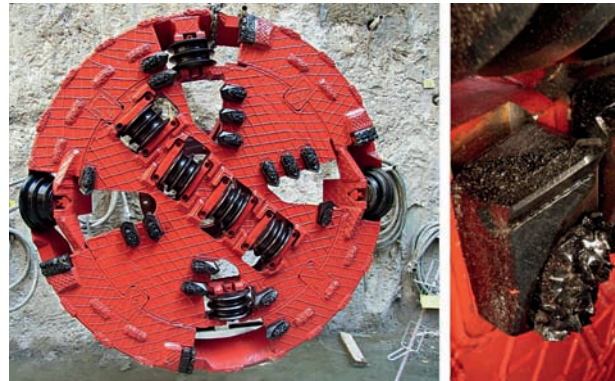
6.2 Dichtblockinjektionen

Da mit der Schild-TBM nicht in den Schacht Südtrakt ausgefahren werden kann, wird der Schildmantel inklusive Schildschwanz im Bereich des 16 m langen Dichtblocks abgedichtet und dann bis auf die letzten 30 cm entkernt und auf das Profil des Tübbinginnenradius mit Spritzbeton ergänzt. Für den Dichtblock sind 16 m lange Bohrungen in einem Abstand von 75 cm gebohrt worden, in die dann Manschettenrohre mit Injektionsventilen im Abstand von 33 cm versetzt wurden. Die Injektionen erfolgten druck- und volumengesteuert in 3 Phasen: 1. Zement, 2. Feinstzement und 3. Weichgel.

Ziele und Anforderungen

Die qualitativen Anforderungen an den Zielblock lauten:

- Abdichtung zur Vermeidung eines unzulässigen Wassereintrags in den Schacht Südtrakt bei resp. nach dem Durchschlag und Herabsetzung der Gefahr des Stützdruckverlustes bei der Annäherung der TVM an die Schlitzwand,



8 Bohrkopf mit Spezialabbauwerkzeugen
Cutter head, showing special tunnelling tools

6.1.1 Obstructions

It was necessary to anticipate various obstructions caused by existing structures in the Limmat and quay zones (Figure 7).

6.1.2 Special tunnelling tools on the TBM – AVN 1200 large pipe arch

A number of preliminary tests demonstrated that it would be possible to tunnel through the existing sheet piling, soldier pile wall elements and reinforced slurry wall using specially fabricated tunnelling tools, with the result that no man-entry and no removal of obstructions under compressed air was necessary (Figure 8).

6.1.3 Tunnelling in closed mode

From the quay wall onward, closed-mode tunnelling was necessary, in order to prevent the ingress of water into the shaft in case of any incidents occurring under the Limmat (Figure 9).

6.2 Sealing block grouting

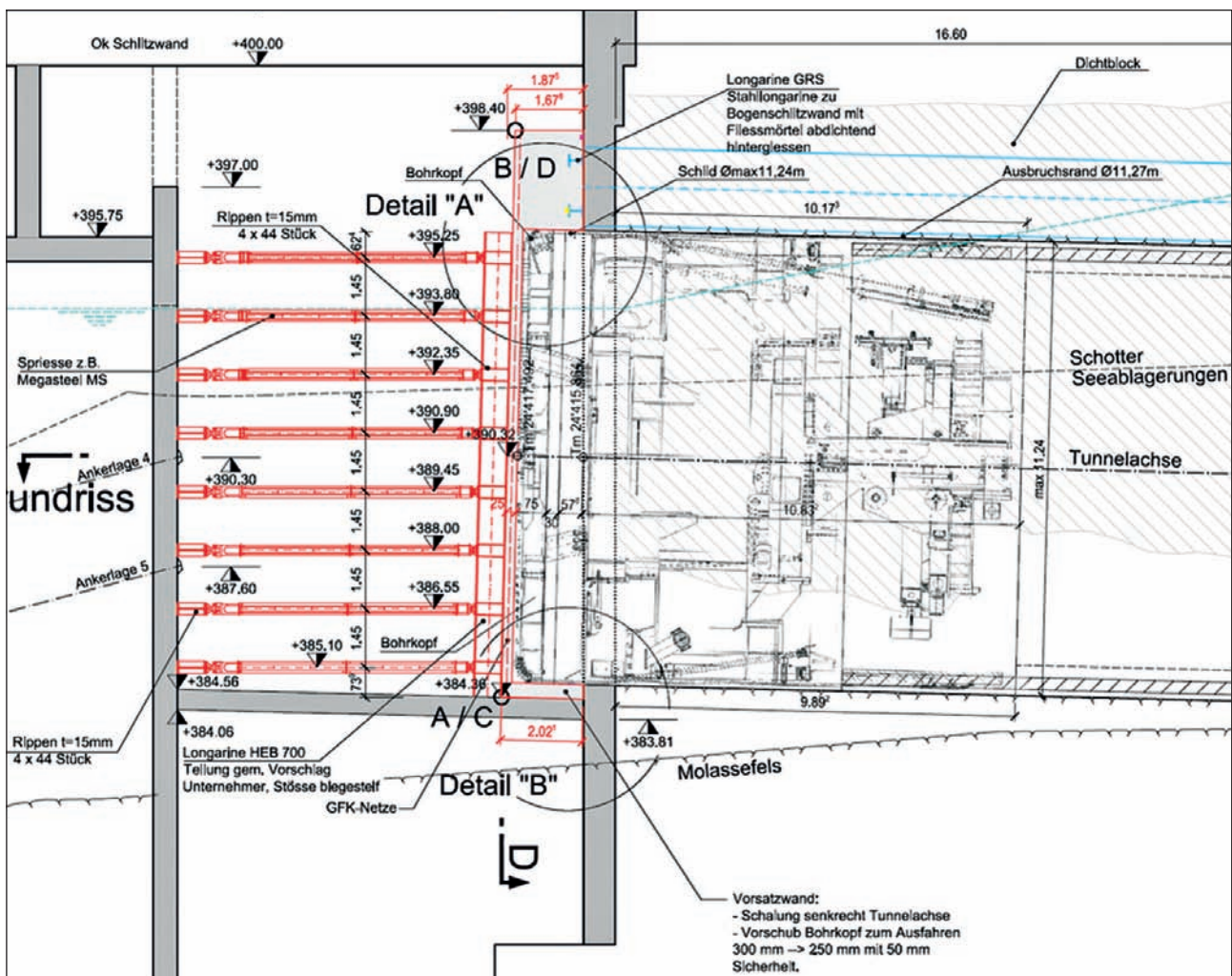
Since it is not possible to drive the shield TBM into the South Station Zone shaft, the shield shell, including the shield tail, is to be sealed at the 16 m long sealing block, and then gut-



9 Hydraulisch verfahrbares Schott
Hydraulically manipulable bulkhead



10 Ansicht der Injektionsbohrungen des Dichtblocks
Holes for grouting of the sealing block



11 Längsschnitt Zielschacht Südtrakt mit Vorsatzwand
Longitudinal section target shaft with auxiliary concrete wall

- Erhöhung der Festigkeit zur Vermeidung von Brust- und Firstinstabilitäten bei der Annäherung der TVM an die Schlitzwand,
- Konsolidierung der Lockergesteine im Tunnelquerschnitt und im Tunnelnahbereich zur Reduktion von Verformungen während des Vortriebs.

Erforderliche Werte

- Dichtigkeit $k_{\min} = 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,
- Festigkeit Kohäsion $c'_k \geq 35 \text{ kN/m}^2$ (= 0.035 MPa);
Reibungswinkel $\rho'_k \geq 36.5^\circ$ resp. einachsiale
Druckfestigkeit $q_{u,k} \geq 140 \text{ kN/m}^2$.

Die Bohrungen mussten mit Preventer gegen drückendes Wasser ausgeführt werden. Die Seeablagerung liess sich schlecht injizieren resp. verfestigen. Das Material wurde vor allem aufgesprengt (Bild 10).

6.3 Vorsatzwand

Die Bohr- und Injektionsarbeiten am Dichtblock mit den 3 Phasen erwiesen sich als sehr aufwendig. Zusätzlich

ted except for the final 30 cm, and then augmented with shotcrete to the profile of the segmental lining radius. Holes of 16 m in length were drilled for the sealing block at intervals of 75 cm; the jacket pipes, with grouting valves at intervals of 33 cm, were then positioned in these holes. Injection grouting was performed in 3 phases with control of pressure and volume: 1. cement, 2. ultra-fine cement and 3. soft gel.

Targets and requirements

The quality requirements made on the target block are as follows:

- sealing, to avoid impermissible ingress of water into the South Station Zone shaft during and after the breakthrough, and to reduce the danger of loss of support pressure as the TBM approaches the slurry wall,
- increasing strength to avoid face and roof instability as the TBM approaches the slurry wall,
- consolidation of the non-cohesive rock in the tunnel cross-section and around the tunnel, in order to reduce deformations during tunnelling.

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail • Hydrosshield tunnelling experience in the section from Central to the South Station Zone shaft and Zurich main station

stehen sie in direkter Abhängigkeit zum Grossrohrschirm und wurden für den Hydrovortrieb und dessen Durchstich zeitbestimmend. Aus diesem Grund wurde eine alternative Lösung erarbeitet, die den folgenden Sicherheitsanforderungen entsprechen musste: Kommunizierende Gefässe zwischen Limmat und Zielschacht sind zwingend auszuschliessen. Massnahmen von der Oberfläche aus sind infolge der Verkehrsverhältnisse am Bahnhofplatz nicht zugelassen. Mit dem Einfahren in eine abgespriesste, betonierte Vorsatzwand, dem anschliessenden Abdichten des Schildmantels zur Bogenschlitzwand des Zielschachtes und dem Durchstich mit dem Bohrkopfhub wurde dies erreicht. Der Dichtblock konnte so reduziert werden (Bild 11).

7 Hauptvortrieb

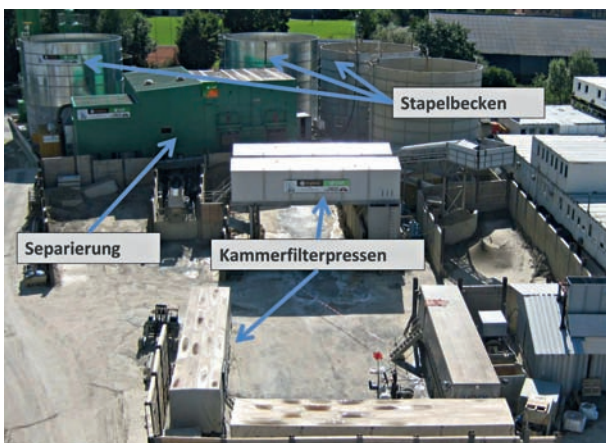
7.1 Stützflüssigkeiten

Mit Vorversuchen wurde die nötige Stützflüssigkeit in den verschiedenen Bodenmaterialien festgelegt:

Geologie	Stützflüssigkeit
Molasse/Moräne	Wasser + 10 kg Bentonit/m ³
Moräne/Seeablagerung	30 kg Bentonit/m ³
Seeablagerung/Schotter	40 kg Bentonit/m ³
Bei Materialien mit $k > 10^{-4}$	Installiert auf dem Nachläufer im Vortrieb mögliche Beigabe von Ibeco Seal 0.5 bis 5 mm oder Polymer (Carbocel C190)

Die Bentonitsuspension erfüllt bei der Hydroschildtechnik folgende Funktionen:

- Stützung der Ortsbrust durch Aufbau eines entsprechenden hydrostatischen Drucks,
- Förderung des Abraumes in einem Spülungskreislauf mittels leistungsfähiger Pumpen zur Separieranlage über Tage,
- Aufbau einer drucklufthaltenden Dichtungsmembran für Inspektion der Ortsbrust oder Werkzeugkontrolle und Räumungsarbeiten in der Schneidradkammer.



12 Separierung mit Kammerfilterpressen
Separation using chamber-filter presses

Necessary values

- Tightness $k_{min} = 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,
- Strength Cohesion $c'_k \geq 35 \text{ kN/m}^2 (= 0.035 \text{ MPa})$;
Frictional angle $\rho'_k \geq 36.5^\circ$ or Uniaxial Compressive Strength $q_{u,k} \geq 140 \text{ kN/m}^2$.

It was necessary to execute these holes with preventers, to counteract water pressure. It was difficult to grout and strengthen the lake-bed depositions; the material was forced out, in particular (Figure 10).

6.3 Auxillary concrete wall

The drilling and grouting work in the 3 phases on the sealing block proved to be extremely complicated. It was, in addition, directly dependent on the large pipe arch, and determined progress for hydrosshield tunnelling and its breakthrough. For this reason, an alternative solution, which was required to meet the following safety requirements, was drafted: communicating passages between the Limmat and the reception shaft had under all circumstances to be excluded. Provisions applied from the surface were not permissible, due to the traffic on the station forecourt. This was achieved by means of driving into a pinned and concreted auxillary concrete wall, subsequent sealing of the shield shell with the curved slurry wall of the reception shaft, and breakthrough with the cutter head stroke. It was thus possible to reduce the sealing block (Figure 11).

7 Main tunnelling operation

7.1 Suspensions, slurry

The suspensions necessary in the various soil materials was defined by means of preliminary tests:

Geology	Slurry
Molasse/moraine	Water + 10 kg bentonite/m ³
Moraine/lake-bed deposits	30 kg bentonite/m ³
Lake-bed deposits/gravel	40 kg bentonite/m ³
Materials of $k > 10^{-4}$	Addition of Ibeco Seal 0.5 to 5 mm or polymer (Carbocel C190); equipment installed on the back-up system during tunnelling

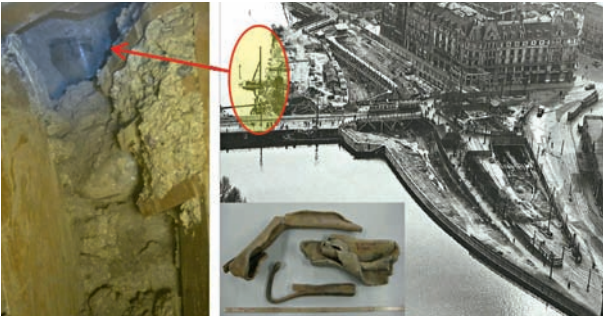
The bentonite suspension performs the following functions in hydrosshield tunnelling:

- face support via establishment of a corresponding hydrostatic pressure,
- conveyance of the muck to the surface separation installation in a flushing circuit, by means of high-power pumps,
- installation of a compressed-air-retaining sealing membrane for inspection of the face and cutting tools, and for muck clearance work in the cutting wheel chamber.

Filtrate-water yield, yield strength, density, pH and the conductivity of the fresh or regenerated support suspension are

Weinbergtunnel der Durchmesserlinie Zürich •

Erfahrungen im Hydrovortrieb im Abschnitt Central bis Schacht Südtrakt beim Bahnhof Zürich



13 Baustelle Bahnhofquai 1952: Stahl-Pfahlkopfspitze, Spundwandteile
The "Bahnhofquai" quay site, 1952: tip of steel pile head, sheet piling elements

Die Filtratwasserabgabe, die Fliessgrenze, die Dichte, der pH-Wert und die Leitfähigkeit der frischen oder regenerierten Stützsuspension sind die Beurteilungs- und Steuerwerte für die Bentonitsuspension im Förderkreislauf.

7.2 Vortrieb

Nach dem Umbau der Vortriebsinstallation auf den Nassbetrieb konnte Anfang Juni 2010 mit dem Hydrovortrieb begonnen werden. Die über 4300 m lange Förder- und Speiseleitung verursachte beim Vortriebsbeginn einige Stillstände infolge undichter Rohrverbindungen.

In der Molasse waren Vortriebsleistungen von 2 bis 3 m/AT im Zweischichtbetrieb möglich, da die installierten Schlammbecken von 3300 m³ resp. die Leistung der Kammerfilterpressen und vor allem die intensiven Unterbrüche für das Spülen des Bohrkopfes gegen das Verkleben leistungsbestimmend waren. Im Bereich der Seeablagerung/Schotter erreichte man Vortriebsleistungen bis 7.46 m/AT im Dreischichtbetrieb.

Das Ausbruchmaterial fiel in 3 Komponenten und zwar als Grobmaterial, Feinmaterial und Schlamm an. Der Schlamm wurde mit den Kammerfilterpressen zu Kammerfilterkuchen verarbeitet. Das anfallende Material wurde systematisch analysiert und den entsprechenden Deponien zugewiesen (Bild 12).

7.3 Drucklufteinstiege

Um einen störungsfreien Vortrieb zu gewährleisten, sind systematische Drucklufteinstiege für die Kontrolle der Bohrkopfwerkzeuge, Disken, Schälmesser und der Räumer notwendig. Bei Druckluftarbeiten unter Überdruck müssen die entsprechenden zugelassenen Aufenthaltszeiten unter Überdruck und der Ausschleusung berücksichtigt werden. Jeder Mitarbeiter, der unter Druckluft beschäftigt wird, muss ärztlich auf die Drucklufttauglichkeit untersucht werden.

Mangels zur Verfügung stehender Bereitschaftsärzte und wegen in der Nähe der Baustelle vorhandener Behandlungskammern konnte auf die Kammer vor Ort verzichtet werden. Inzwischen ergibt sich das Problem, dass in Basel und Zürich keine Behandlungskammern mehr zur Verfügung

the assessment and control criteria for the bentonite suspension in the delivery circuit.

7.2 Tunnelling

Hydroshield tunnelling was started in June, 2010, after conversion of the tunnelling equipment to wet operation. The more than 4300 m long delivery and feed line caused a number of stoppages at the start of tunnelling, due to leaking pipe joints.

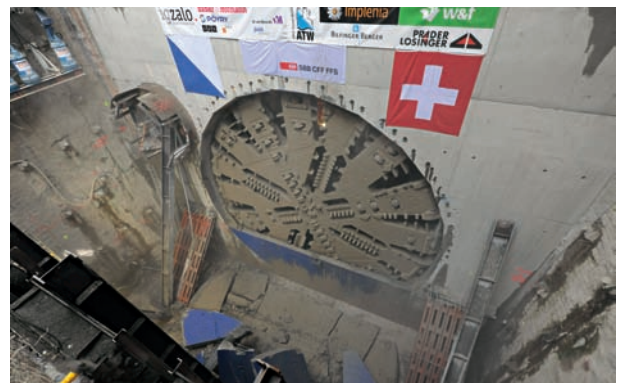
Using two-shift operation, rates of advance of 2 to 3 m/WD were possible in the molasse, since the sludge pond of 3300 m³ installed, the throughput of the chamber-filter presses and, in particular, the intensive interruptions necessary for flushing of the cutter head to prevent clogging, were the determinant factors. Three-shift operation permitted achievement of rates of advance of up to 7.46 m/WD in the lake-bed deposits/gravel sectors.

The excavated material occurred in the form of 3 components, namely coarse material, fines and slurry. The slurry was filtered on the chamber-filter presses to produce filter cakes. The material yielded was systematically analysed and then forwarded to the appropriate landfills (Figure 12).

7.3 Man-entry under compressed air

Systematic entries under compressed air are necessary for inspection of cutting-head tools, disks, carbide cutters and reamers, in order to assure trouble-free tunnelling. The permissible working times under elevated pressure and the exit procedure must be taken into account for work in compressed air. Every employee working under elevated air pressure must be medically examined for suitability for this work.

It was possible to dispense with an on-site chamber, due to the lack of on-call physicians and to the presence of treatment chambers close to the site. There is now the problem, however, that the Basle and Zurich locations are no longer available, and are, indeed, no longer existent. It is therefore necessary to install a treatment chamber on site. The precondition for this is the location in Switzerland of a pulmonologist prepared to be responsible on site for the chamber.



14 Durchstich am Weinbergtunnel am 22. November 2010
Breakthrough in the Weinberg Tunnel, November 22, 2010

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail • Hydrosshield tunnelling experience in the section from Central to the South Station Zone shaft and Zurich main station

stehen. Aus den genannten Gründen ist es nötig, eine Behandlungskammer vor Ort zu installieren. Voraussetzung ist, einen Druckluftarzt in der Schweiz zu finden, der bereit ist, die Kammer vor Ort zu betreuen.

Die SUVA konnte mit den DAN-Ärzten ein für den Weinbergtunnel mögliches Konzept erarbeiten, sodass vor dem Beginn der Druckluftarbeiten eine Behandlungskammer vor Ort in Betrieb genommen werden konnte. Dank der guten Instruktion des Druckluftpersonals und der Einhaltung der Vorschriften mussten keine Druckluftunfälle behandelt werden.

Unter der Limmat im Bereich der Molasse und der Moräne konnten Druckluftesteinstiege ohne Luftverluste ausgeführt werden. Im Bereich der Seeablagerung mussten mehrere Einstiege infolge Luftverlust resp. Ausbläsern in die Limmat abgebrochen werden.

7.4 Hindernisse

Spundwände sowie Rühlwandträger und eine bewehrte Schlitzwand mussten durchfahren werden. Die in den Hauptvortrieb hineinragenden Spundwände blockierten den Bohrkopf mehrmals. Da der Bohrkopf beidseitig gedreht und längs verfahren werden kann, konnte er so wieder frei gefahren werden. Die vorhandenen Spundwände wurden in Teile bis 70 cm Länge abgetrennt und mit dem Abraum durch 5 Förderpumpen bis auf die Separierung über Tage gefördert. Der Worst Case wäre gewesen, dass Hindernisse den Bohrkopf blockieren und man diese Hindernisse mit Tauchern hätte bergen müssen (Bild 13).

8 Schlussbemerkung

Beim Hydrovortrieb des Weinbergtunnels unter der Limmat sowie dem Bahnhofquai mit grossem Bohrdurchmesser und bei geringer Überlagerung wurde der Sicherheit gegen Tagbruch und dem Problem schädlicher Oberflächensetzungen grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Dank der guten Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten konnte das Ziel mit Erfolg erreicht werden (Bild 14).

Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft	SBB AG und Kanton Zürich, vertreten durch SBB I-PJ-DML
Projekt und Bauleitung: (Ingenieurgemeinschaft Zalo)	Basler & Hofmann AG Pöyry Infra AG SNZ Ingenieure AG
Ausführung (Arbeitsgemeinschaft Tunnel Weinberg)	Implenia Bau AG Wayss & Freitag Ingenieurbau AG Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH Prader Losinger SA
Ausführung Grossrohrschirm (Arbeitsgemeinschaft ARL)	Implenia Special Tunnel Works

The SUVA was able to negotiate with the DAN doctors a potential concept for the Weinberg Tunnel, with the result that it was possible to commission a treatment chamber on site before work under elevated air pressure was started. Thanks to the good instruction of the compressed-air personnel, and to adherence to the regulations, no compressed-air accidents have occurred.

Man-entries under compressed air with no losses of air were accomplished under the Limmat in the molasse and moraine. It was necessary to abort several man-entries in the lake-bed deposits, due to loss of air and/or shot blow-outs into the Limmat.

7.4 Obstructions

It was necessary to tunnel through sheet piling, soldier pile walls and a reinforced slurry wall. The sheet piling protruding into the main tunnelling profile jammed the cutter head several times. Luckily, the cutter head can be turned and moved longitudinally on both sides, making it possible to free it in this way. The existing sheet piling was cut into sections of up to 70 cm in length, and conveyed with the muck by means of 5 conveying pumps to the surface separation facility. The "worst-case scenario" would have been jamming of the cutter head by such obstructions, and the necessity to deploy divers to remove them (Figure 13).

8 Conclusion

Great attention was devoted in hydrosshield tunnelling of the Weinberg Tunnel under the Limmat and the station quay at a large tunnelling diameter and low cover to safety against surface cave-ins and to the problem of harmful surface subsidence. The target was successfully achieved, thanks to the good co-operation practised between all those involved (Figure 14).

Project participants

Clients	SBB AG and the Canton of Zurich, represented by SBB I-PJ-DML
Project and site management: (Zalo Engineering Consortium)	Basler & Hofmann AG Pöyry Infra AG SNZ Ingenieure AG
Implementation (Weinberg Tunnel Consortium)	Implenia Bau AG Wayss & Freitag Ingenieurbau AG Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH Prader Losinger SA
Large pipe arch (ARL consortium)	Implenia Special Tunnel Works

Literatur/References

- [1] Kovári K.; Bosshard M.: Risiken im Tunnelbau – Analyse und Handhabung am Beispiel Zimmerberg-Basistunnel. Tunnel 06/03
- [2] Bosshard M.; Kobel R., Stadelmann Hp.: Neue Bahn-Durchmesserlinie Zürich: Herausforderungen bei TBM-, Rohr- und konventionellen Vortrieben. Forschung + Praxis, STUVA 09

Antoine da Trindade, BTS Mécanique Automatismes Industriels, CFF SA, Genève/CH

CEVA

Le maillon manquant de l'agglomération franco-valdo-genevoise

Dans la construction du projet d'agglomération franco-valdo-genevoise, qui regroupe près d'un million de personnes, le CEVA joue un rôle essentiel en terme de mobilité (Figure 1). Cette nouvelle ligne transfrontalière reliera les gares de Genève-Cornavin et d'Annemasse, connectant ainsi les réseaux ferrés suisse et français qui fonctionnent actuellement en cul-de-sac. Cela permettra la création d'un RER, qui desservira 40 gares dans toute la région transfrontalière, dont 5 nouvelles stations au cœur de Genève. Cette liaison sera à 80 % souterraine et nécessitera donc la construction de 2 tunnels et de plusieurs tranchées couvertes.

CEVA

The missing link of the France-Vaud-Geneva conurbation

As part of the France-Vaud-Geneva conurbation development plan, with a population of nearly 1 million people, the role CEVA plays in terms of mobility is essential (Figure 1). This new trans-border line will link up Geneva-Cornavin and Annemasse railway stations, thereby connecting the Swiss and French railway networks which currently operate as dead ends. This will enable the creation of a regional express train network covering 40 stations throughout the border region, including 5 new stations in the heart of Geneva. This link will be 80 % underground and will therefore require the construction of 2 tunnels and several cut-and-cover tunnels.

1 Contexte général

Les Tunnels de Pinchat et de Champel s'inscrivent dans la réalisation du CEVA, acronyme pour Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse. Cette infrastructure est indispensable pour :

- doter Genève et son bassin transfrontalier du réseau express régional (RER) qui lui manque, particulièrement dans l'optique d'un développement durable,
- développer les liaisons internationales entre la Suisse et la France,
- anticiper la croissance et le développement de Genève et de sa région, qui comptera bientôt 1 million d'habitants,
- répondre à l'accroissement important des déplacements avec les 500'000 entrées ou sorties quotidiennes du canton,
- offrir un impact positif sur l'économie du bassin franco-valdo-genevois, tout en améliorant l'offre de transport et en prenant en compte les questions environnementales.

Le CEVA permet également une desserte à l'intérieur du canton à la densité inédite en Suisse, plus de 240'000 personnes habitant ou travaillant à moins de 500 m des gares CEVA.

Le concept architectural des gares a fait l'objet d'un concours en 2004 gagné par les Ateliers Jean Nouvel. La réalisation des 5

1 Background

The Pinchat and Champel tunnels form an integral part of CEVA, acronym for Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse. This infrastructure is essential:

- to provide Geneva and its trans-border areas with a regional express train network that is currently lacking, particularly in the context of sustainable development,
- to develop international links between Switzerland and France,
- to anticipate the growth and development of Geneva and its region, which will soon number 1 million inhabitants,
- to meet the significant increase in travel with 500,000 daily entries or exits from the canton,
- to provide a positive economic impact for the France-Vaud-Geneva region, while improving the transport supply and taking into account environmental issues.

CEVA also provides a line within a canton where more than 240,000 people live or work within 500 m of CEVA railway stations, the density of which is unprecedented in Switzerland.

The architectural design of the stations was the subject of a competition won by Ateliers Jean Nouvel in 2004.

CEVA

Das fehlende Bindeglied im Grossraum Franco-Valdo-Genevois

Beim Bau des Projekts für den Grossraum Franco-Valdo-Genevois mit nahezu 1 Mio. Einwohnern spielt das CEVA-Projekt eine entscheidende Rolle für die Mobilität (Bild 1). Die neue grenzüberschreitende Linie soll die Bahnhöfe Genf-Cornavin und Annemasse und damit die Schienennetze Frankreichs und der Schweiz verbinden. Das ermöglicht den Bau einer RER-Linie, die 40 Bahnhöfe in der gesamten Grenzregion bedienen wird, wobei sich 5 neue Bahnhöfe mitten in Genf befinden. Die Verbindung soll zu 80 % unterirdisch verlaufen und erfordert daher den Bau von 2 Tunneln und mehreren offenen Gräben.

gares et stations par le même architecte permet d'harmoniser la partie urbaine du Réseau Express Régional Franco-Valdo-Genevois (RER-FVG) et de donner une identité visuelle au projet.

Trois de ces gares CEVA seront au cœur d'une revalorisation urbaine grâce, notamment, aux espaces libérés en surface. Il s'agit des gares de Lancy-Pont-Rouge, Genève-Eaux-Vives et de la halte de Chêne-Bourg. Au total, ce sont plus de mille logements, des équipements publics, dont la nouvelle Comédie de Genève, 130'000 m² d'activités et 30'000 m² de commerces qui seront construits. En outre, d'autres projets immobiliers ou de développement voient le jour à proximité immédiate des stations CEVA, tant sur France que sur Suisse. C'est par exemple le cas de Lancy-Pont-Rouge et de Carouge-Bachet qui se situent dans le périmètre du grand projet de développement Praille-Acacias-Vernet (PAV) qui proposera 14'000 logements et 15'000 emplois (Figure 2).

En ce qui concerne les travaux, le tracé a été divisé en 7 secteurs. Il commence sur la Voie 1 de la gare de Cornavin – secteur 1 – où des travaux de prolongation du quai ont été effectués en 2005/2006.

Il emprunte ensuite le réseau existant jusqu'à la gare marchandise de La Praille – secteur 2 – où 2 stations prendront place. Au nord, la station de Lancy-Pont-Rouge, actuellement en service, sera déplacée de quelques centaines de mètres et agrandie afin d'accueillir un nombre d'usagers plus élevés. Au sud du site de La Praille, la nouvelle station de Carouge-Bachet, à la fois aérienne et enterrée, prendra place au niveau du nœud stratégique de l'entrée sud de Genève et sera un centre d'échange multimodal avec des connexions sur les trams, les bus et un P+R. Elle permettra également une liaison directe avec le Stade de Genève.

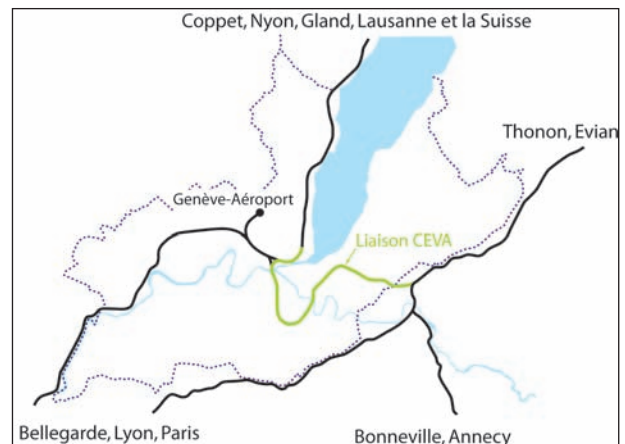
De Carouge-Bachet, le tracé CEVA s'enfonce sous la colline de Pinchat dans un tunnel d'environ 2 km – secteur 3. Le tun-

CEVA

L'anello mancante nell'area urbana franco-valdo-ginevrina

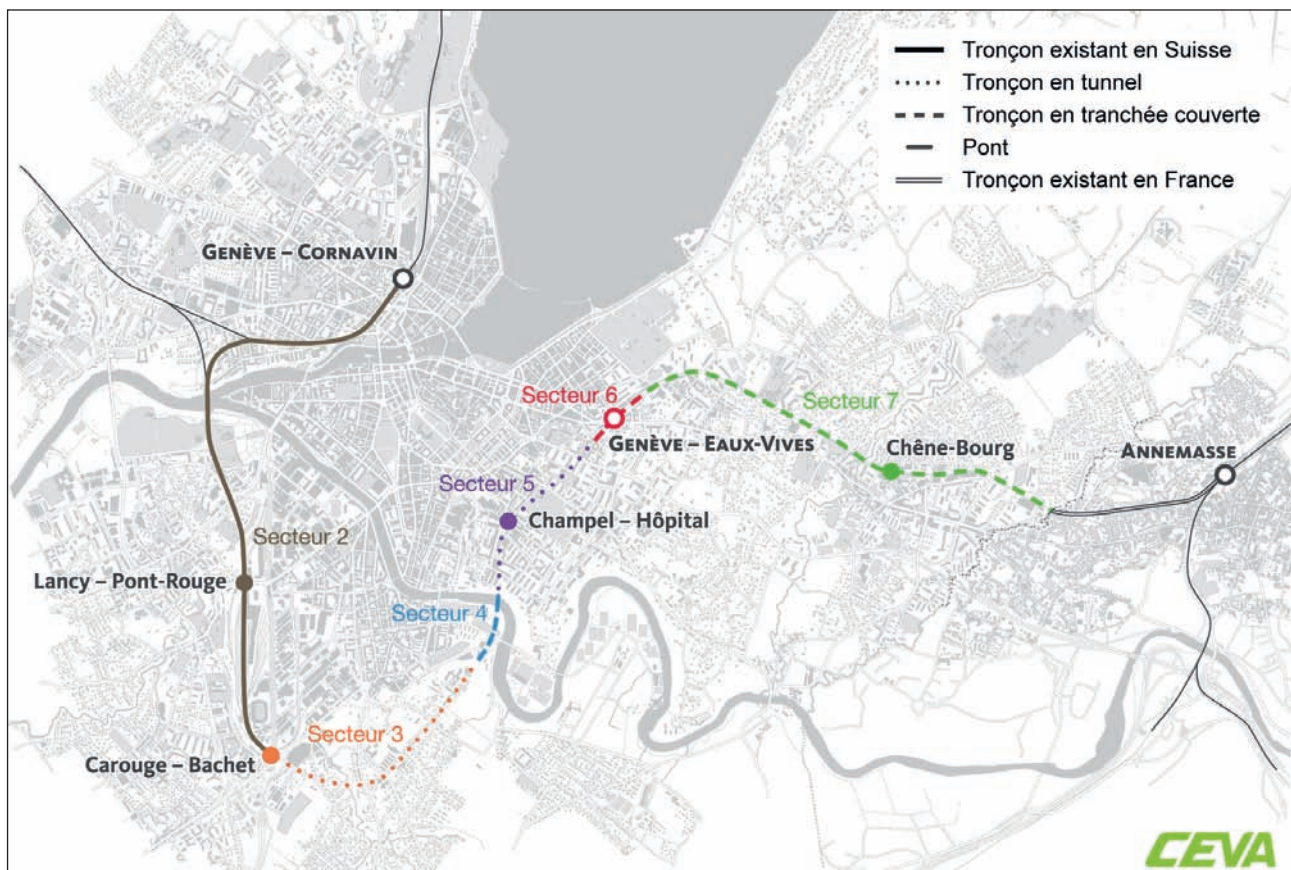
Nella costruzione del progetto per l'area urbana franco-valdo-ginevrina, con quasi un milione di abitanti, il progetto CEVA svolge un ruolo decisivo per la mobilità (Illustrazione 1). La nuova linea va oltre confine unendo le stazioni ferroviarie di Ginevra Cornavin e Annemasse, collegando quindi la rete ferroviaria francese a quella svizzera. Questo permette di costruire una linea RER, che servirà 40 stazioni in tutta l'area limitrofa, con 5 nuove stazioni al centro di Ginevra. I collegamenti si svilupperanno all'80 % sotto terra e richiederanno la costruzione di 2 tunnel e diverse gallerie a cielo aperto.

The realisation of 5 stations by the same architect ensures harmony for the urban section of the France-Vaud-Geneva regional express train network (RER-FVG) and provides a visual identity to the project.



1 CEVA, un acronyme pour Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse
CEVA, acronym for Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse

Three of these CEVA stations will be at the heart of urban renewal, particularly for spaces freed up on the surface. They include Lancy-Pont-Rouge and Genève-Eaux-Vives stations and the Chêne-Bourg stop. In total, more than a thousand homes and public facilities including the new Comédie de Genève will be built, including 130,000 m² of business and 30,000 m² of commercial space. In addition, other real estate or development projects are emerging in the immediate vicinity of CEVA stations, both in France and Switzerland. For example, Lancy-Pont-Rouge and Carouge-Bachet stations lie within the boundaries of the large Praille-Acacias-Vernet (PAV) development project, which plans to create 14,000 homes and 15,000 jobs (Figure 2).



2 La Region CEVA
The CEVA Region

nel se termine par une tranchée couverte remontant en surface à proximité de l'Arve, pour permettre le franchissement de la rivière grâce à un pont fermé qui constitue le secteur 4. Après le passage de ce pont sur l'Arve, résultat d'un concours d'architecture, le CEVA s'enfoncera alors dans la falaise de Champel – secteur 5 – en un tunnel d'une longueur de 1,5 km sous le plateau du même nom. Au milieu du tunnel, la station souterraine de Champel-Hôpital, à une profondeur de 25 m, permettra de desservir à la fois un quartier très dense en habitations et en activités, ainsi qu'un corridor souterrain reliant directement la station à l'hôpital universitaire de Genève.

A la sortie du Tunnel de Champel, une tranchée couverte – secteur 6 – assurera la liaison vers la gare des Eaux-Vives qui sera aménagée à une profondeur de 16 m.

A partir de là, le CEVA suivra le tracé SNCF existant en tranchée couverte – secteur 7. L'enfouissement de la ligne, actuellement exploitée en surface sur une longueur de 4 km environ, libérera une bande de terrain entre les Eaux-Vives et le Foron qui sera utilisée pour créer un aménagement dédié à la mobilité douce, piétonnière et cycliste appelé «Voie Verte». La station de Chêne-Bourg, sur l'emprise ferroviaire actuelle, sera entièrement réaménagée en souterrain.

Regarding the works, the line was divided into 7 sectors. It starts on Track 1 at Cornavin station – Sector 1 – where platform extension works were completed in 2005/2006.

Then it follows the existing network to La Praille merchandise terminal – Sector 2 – where two stations will be built. To the north, Lancy Pont-Rouge station, which is currently in service, will be moved a few hundred metres and extended to accommodate a higher number of users. South of the La Praille site, the new Carouge-Bachet station, both above and below ground, will be built at the strategic node of the southern entrance into Geneva and will be the multimodal transfer point with connections to trams, buses and a Park and Ride system. It will also link directly with Geneva Stadium.

From Carouge-Bachet, the line passes beneath Pinchat hill in a tunnel roughly 2 km long – Sector 3. The tunnel ends with a cut-and-cover section resurfacing near the Arve, to allow the crossing of the river by a covered bridge – Sector 4. After crossing this bridge over the Arve (the design of which is decided by architectural competition), the CEVA then cuts into Champel cliff – Sector 5 – a 1.5 km length tunnel beneath the plateau of the same name. In the middle of the tunnel, at a depth of 25 m, Champel-Hôpital underground station will serve both a very dense residential and healthcare dedicated areas, and an underground cor-

A la frontière franco-suisse, le CEVA prend de la hauteur afin de déboucher en surface peu avant la gare d'Annemasse. Cette partie du projet est gérée par Réseau Ferré de France.

La construction du CEVA est planifiée sur 6 ans. Les premiers travaux porteront sur la préparation des installations de chantier devant permettre l'accès des fronts d'attaque des Tunnels de Pinchat et de Champel. Les fronts d'attaque sont prévus de part et d'autre des tunnels à savoir au Bachet de Pesay, sur le secteur du Val d'Arve, et sur l'esplanade de la gare des Eaux-Vives. Tout comme la creuse, le bétonnage de chaque tunnel sera également réalisé à partir des 2 fronts. Ces travaux auront une durée d'environ 4 ans.

La tranchée couverte allant de la gare des Eaux-Vives à la frontière sera quant à elle réalisée en 3 tronçons avec une technique particulière de travail en taupe, plus respectueuse du bien-être des riverains. Les travaux de creuse de cette partie se dérouleront sur 3 ans.

Enfin, les travaux de technique ferroviaire et second œuvre des gares se feront au cours des 2 dernières années de travaux.

La construction d'une telle infrastructure dans un environnement urbain dense engendre un certain nombre de défis à relever, dont la réalisation des Tunnels de Pinchat et de Champel.

1.1 Tunnel de Pinchat [1]

Le Tunnel de Pinchat a une longueur de 2024 m. Les principales contraintes sont :

- les altitudes figées de départ (halte de Carouge Bachet) et d'arrivée (passage sous la route du Val d'Arve),
- le passage sous la rivière La Drize après 600 m de tunnel, avec une couverture irréductible de terrains étanches entre le tunnel et le lit de la rivière d'environ 6 m,
- réduire au maximum la longueur de pénétration de l'ouvrage dans la nappe phréatique du Val d'Arve, en limitant ainsi l'ampleur de mesures constructives lourdes et très onéreuses,
- la nécessité de garder un écoulement gravitaire des eaux de drainage et de plate-forme du tunnel, donc d'éviter un point bas intermédiaire avec station de relevage des eaux, dont les conditions d'exploitation seraient défavorables au vu des très faibles débits attendus,
- la géologie constituée de terrains meubles de qualités diverses.

Ces travaux ont été adjugés pour un montant d'environ CHF 135 millions HT pour une durée d'environ 52 mois.

1.2 Tunnel de Champel [2]

D'une longueur totale de 1437 m, le Tunnel de Champel commence à son extrémité ouest, après le pont sur l'Arve, par une tranchée couverte taillée à ciel ouvert dans la falaise sur une longueur de 7 m. Il se poursuit ensuite par un premier tronçon

ridor linking the station directly to the University Hospital of Geneva (HUG).

Upon exiting Champel tunnel, a cut-and-cover structure – Sector 6 – will ensure the connection to Eaux-Vives station, which will be built at a depth of 16 m.

From there, CEVA follows the existing SNCF line in a cut-and-cover tunnel – Sector 7. Placing the line underground (currently operated at the surface over 4 km) will free up a strip of land between Eaux-Vives and Foron that will be used to develop a "Green Lane" dedicated to sustainable mobility, pedestrians and cyclists. At the current railway site, Chêne-Bourg railway station will be completely redeveloped underground.

At the French-Swiss border, CEVA rises to surface just before Annemasse railway station. This section of the project is managed by Réseau Ferré de France (RFF).

CEVA is planned to take 6 years to build. Initial works will focus on preparing site facilities to allow access to Pinchat and Champel Tunnel faces. Tunnel faces are planned on both sides of the tunnels, i.e. at Bachet de Pesay, on the Val d'Arve sector, and on the esplanade of Eaux-Vives station. As for the excavation, concreting of each tunnel will also take place at two tunnel faces. These works will last approximately 4 years.

The cover-and-cut tunnel from Eaux-Vives station to the border will be carried out in 3 sections. The technique is more respectful to the well-being of residents than the cut-and-cover method. Excavation of this section will take 3 years to carry out.

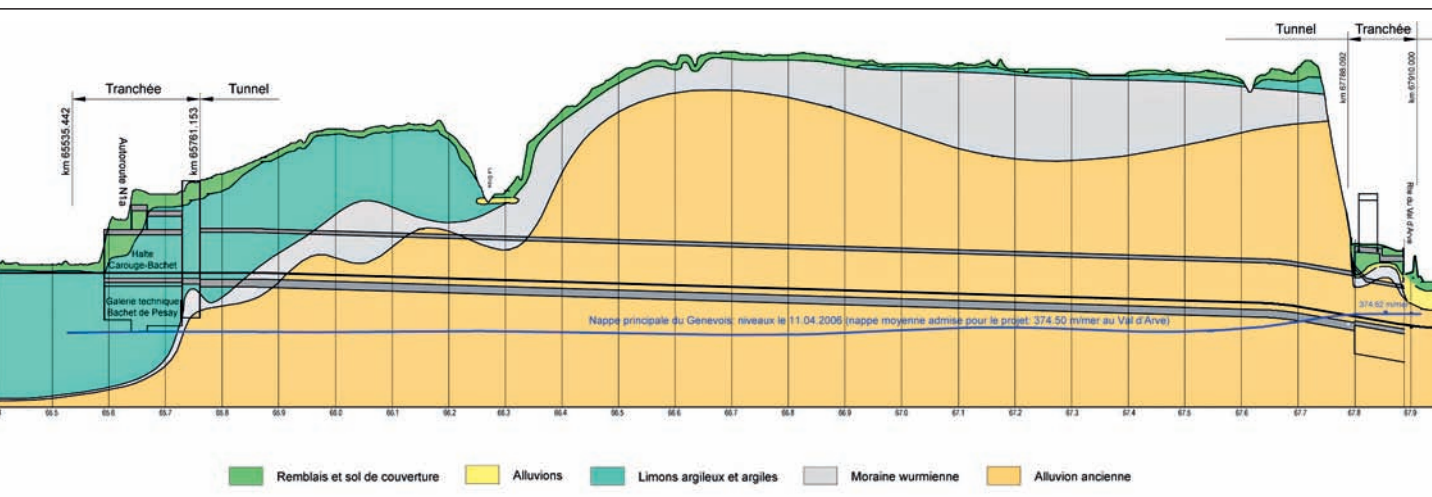
Finally, construction of the railway and finishing works for the stations will be carried out during the last 2 years of works.

The construction of such infrastructure in a dense urban environment creates a number of challenges, which include the construction of Pinchat and Champel tunnels.

1.1 Pinchat Tunnel [1]

Pinchat Tunnel is 2024 m long. The main constraints are:

- the fixed altitudes at the start of the tunnel (Carouge-Bachet station) and at its end (crossing beneath Val d'Arve road),
- the crossing beneath the river Drize after 600 m of tunnel, with an irreducible 6 m overburden thickness of watertight soil between the tunnel and riverbed,
- to reduce to a minimum the length of the structure beneath the Val d'Arve water table, thereby limiting the scope of important and expensive constructive measures,
- to maintain a natural water drainage for the tunnel and platform, thus avoiding the need for an intermediate low point with water pumping station whose operating conditions would be unfavourable given the expected low flow rates and a geology consisting of loose soils of varying quality.



3 Tunnel de Pinchat: Profil longitudinal
Pinchat Tunnel: Longitudinal profile

excavé en souterrain sur une longueur de 502 m jusqu'à la Halte de Champel-Hôpital. Ses 26 derniers mètres sont élargis pour assurer un prolongement des quais de la halte. Cette dernière est excavée depuis la surface sur une longueur de 194 m. Un deuxième tronçon de tunnel, long de 928 m, permet de rejoindre la tranchée couverte des Eaux-Vives.

Le plateau de Champel est un milieu très urbanisé. La couverture entre les fondations des immeubles et la calotte du profil d'excavation du tunnel varie entre environ 10 m au Plateau de Champel, sous des bâtiments de 7 étages (bâtiments datant du siècle dernier) et 30 m vers la falaise de l'Arve. Il est donc indispensable d'appliquer des méthodes d'avancement et de construction permettant de contrôler et de limiter au maximum les tassements consécutifs au creusement du tunnel.

Ces travaux ont été adjugés pour un montant d'environ CHF 120 millions HT pour une durée d'environ 51 mois.

2 Tunnel de Pinchat [1]

2.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Les conditions géologiques sont présentées dans le profil longitudinal (Figure 3). Sur les 400 premiers mètres, le tunnel se trouve dans des limons argileux et argiles mous, plastiques, avec une couverture augmentant graduellement de 4.5 à 15 m. Il pénètre ensuite progressivement sur une longueur d'environ 200 m dans les graviers très compacts et localement cimentés de l'alluvion ancienne. Après 600 m, il passe sous le ruisseau de la Drize avec une couverture minimale sur la calotte de l'ordre de 6 m. La section est alors totalement dans les graviers. La couverture augmente ensuite rapidement jusqu'à atteindre plus de 30 m sous le plateau de Pinchat. Au niveau du Val d'Arve, soit au portail souterrain du tunnel (transition avec la tranchée couverte), la section se trouve toujours dans les graviers et la couverture est alors de l'ordre de 7 m.

These works have been awarded for approximately CHF 135 million (ex VAT) to be completed in 52 months.

1.2 Champel Tunnel [2]

With a total length of 1437 m, Champel Tunnel starts with a 7 m cut-and-cover section in the cliff excavated from the ground surface. It is followed by a first segment excavated underground along a length of 502 m up to Champel-Hôpital station. The last 26 metres are expanded to ensure the extension of the station platform. It will be excavated from the surface over a length of 194 m. A second tunnel section, 928 m in length, reaches the cut-and-cover section in Eaux-Vives.

The plateau of Champel is a very urbanised area. Overburden thickness between building foundations and the tunnel crown varies from about 10 m at the plateau of Champel, beneath 7-storey buildings (buildings dating from the last century) and 30 m towards the Arve cliff. It is therefore essential to apply construction methods that allow for the consecutive settlements resulting from the tunnel excavations to be reduced to a minimum and monitored.

These works have been awarded for CHF 120 million (ex VAT) to be completed in 51 months.

2 Pinchat Tunnel [1]

2.1 Geological and hydrogeological background

The geological conditions are indicated in the longitudinal profile (Figure 3). For the first 400 metres, the tunnel is situated in clay loams and soft, plastic clays with an overburden thickness gradually increasing from 4.5 to 15 m. It then enters gradually over a length of about 200 m into very compact gravels and locally cemented early alluvium. After 600 m, it crosses beneath Drize brook with a minimum overburden thickness of 6 m above the tunnel crown. The section then finds itself completely in gravel. The overburden thickness

Les graviers de l'alluvion ancienne sont le siège d'une nappe phréatique utilisée pour l'alimentation en eau potable du Canton de Genève et de diverses communes françaises voisines. A l'approche du Val d'Arve, le tracé entre progressivement en contact avec la nappe. Le point bas de l'ouvrage se situe approximativement au portail du tunnel. Hormis dans les 120 derniers mètres à l'approche du Val d'Arve, l'ouvrage se situe entièrement au dessus de la nappe du Genevois. Les débits de drainage du massif sont donc très faibles, de l'ordre du suintement.

Jusqu'au franchissement de la Drize, l'épaisseur des moraines de fond au toit des couches graveleuses varie entre 2 et 5 m et ce sont souvent des horizons à cailloux moyennement abondants, de compacité moyenne. En remontant vers le plateau de Pinchat, ces moraines atteignent des épaisseurs supérieures à 8 m et sont représentées par des limons et limons argileux riches en cailloux et blocs alpins, de compacité élevée.

2.2 Méthode d'exécution

Le tunnel est excavé en méthode traditionnelle en terrain meuble à l'aide de pelles ou engins adaptés. Localement, l'utilisation de marteaux sera nécessaire dans les zones cimentées de l'alluvion ancienne. Un pré-soutènement à l'avancement est prévu de manière systématique, soit à l'aide de longs boulons autoforeurs scellés en auréoles autour du profil, soit à l'aide d'une voûte parapluie en tubes métalliques injectés. La solution de consolidation préalable du terrain par des colonnes jetting reste envisagée. Elle doit cependant être validée par des essais in situ compte tenu de la compacité élevée de l'alluvion ancienne.

Le soutènement est composé de cintres métalliques lourds et de béton coulé derrière des treillis de coffrage et armé de treillis d'armature.

La méthodologie d'excavation est particulière à chaque type de terrain et à la présence ou non de la nappe.

2.3 Excavation – tunnel en argiles

Les terrains qu'il est prévu de rencontrer sont tendres et compressibles. Ils tendent à gonfler lors de la décharge due à l'excavation et à tasser lorsqu'ils sont chargés. Le mode d'excavation est conçu pour permettre la fermeture de l'anneau de soutènement le plus rapidement possible afin de limiter au maximum les déformations qui pourraient se répercuter jusqu'en surface (Figure 4).

La méthode retenue est donc la suivante :

- Exécution de galeries de pied d'environ 23 m² sur toute la longueur du tronçon en argile. Le soutènement est constitué de cintres métalliques et de béton projeté.
- Bétonnage de la semelle de fondation et du parement extérieur des galeries servant d'appuis futurs au soutènement de la calotte, ceci sur toute la longueur des galeries.
- Excavation en section divisée calotte/stross/radier, avec

increases rapidly thereafter, reaching over 30 m beneath the plateau of Pinchat. At Val d'Arve, at the underground tunnel portal (transition with the cut-and-cover tunnel), the section is still in the gravel and the overburden thickness is approximately 7 m.

The water table is located in the early alluvium gravels. It is used to supply the Canton of Geneva and various neighbouring French communities with drinking water. On the approach to Val d'Arve, the line progressively comes into contact with the water table. The low point of the structure is situated approximately at the tunnel entrance. Except for the last 120 m leading up to Val d'Arve, the structure is entirely above Geneva's water table. Therefore the drainage flow from the massif is very low, in other words at seepage levels.

Up to the crossing of the Drize, the thickness of ground moraines to the top of the gravelly layers varies between 2 and 5 m, with frequent and abundant horizons of medium-sized stones of average density. Climbing towards the plateau of Pinchat, the boulder clay soils reach thicknesses greater than 8 m and are represented by highly compacted loam and clay-loam, full of pebbles and alpine boulders.

2.2 Method of execution

The tunnel is excavated by traditional methods in soft ground using mechanical excavators or suitable equipment. Locally, the use of jackhammers will be necessary in areas of cemented early alluvium. An advancing pre-retaining structure is systematically planned, either by using long self-drilling bolts bonded in halos around the profile, or by using an umbrella arch of injected steel tubes. Prior consolidation of the soils by jet grouting remains a possible solution. However, it must be validated by field tests in view of the high density of the early alluvium.

The retaining wall is built of heavy steel ribs and cast-in-place concrete behind a formwork mesh, and reinforced with welded wire fabric.

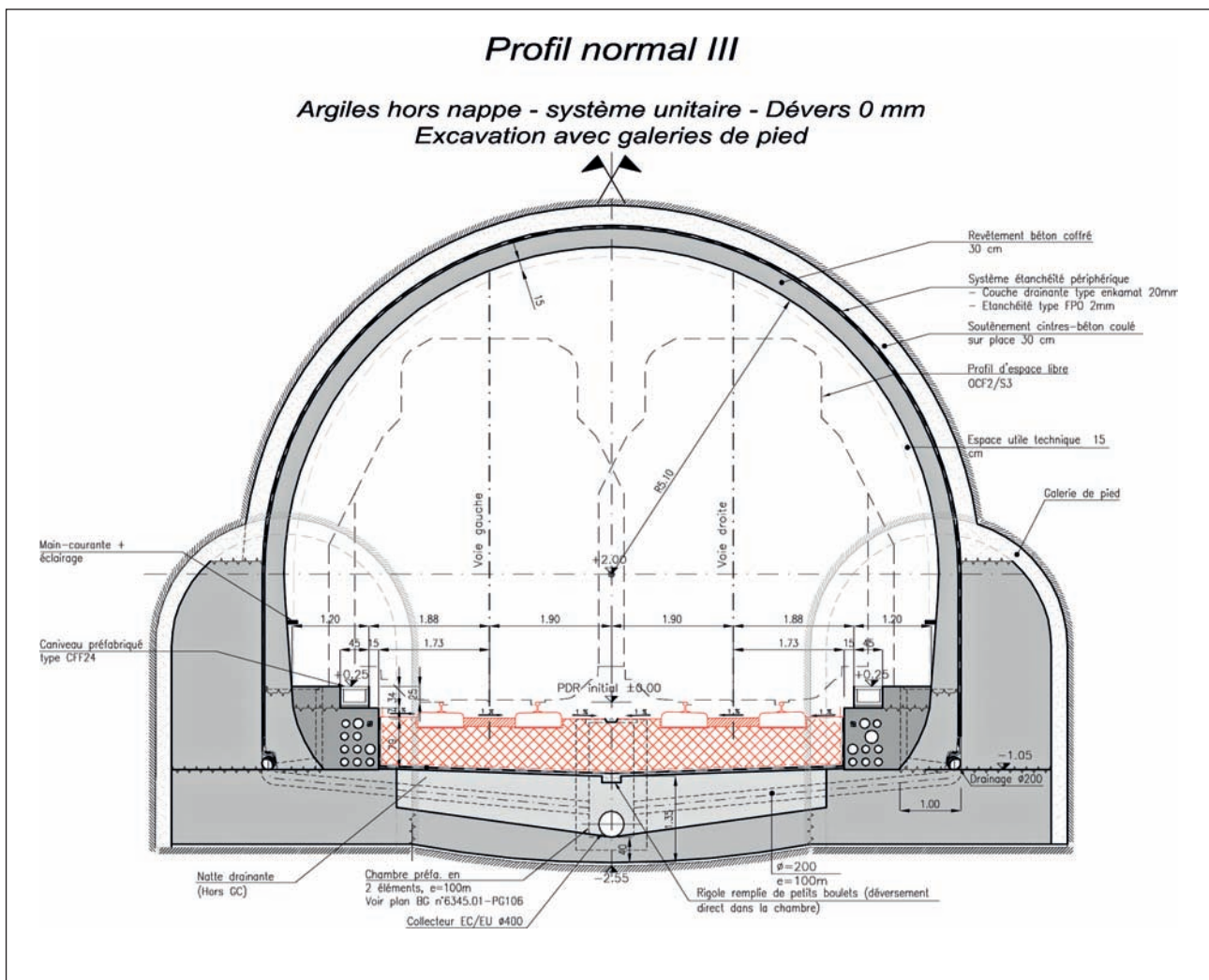
The excavation methodology is specific to each type of soil and the presence or lack of ground water.

2.3 Excavation – tunnel in clay

The expected soils are soft and compressible. When excavated they tend to swell due to discharge and to compact when loaded. The method of excavation is designed to enable the closure of the retaining ring as quickly as possible so as to minimize deformations that could be transmitted to the surface (Figure 4).

The selected method is as follows:

- The construction of side headings of approximately 23 m² over the entire length of the section in clay. The retaining wall is built of heavy steel ribs and sprayed concrete.
- Concreting of the spread footing and external gallery wall



4 Tunnel de Pinchat: Profil Normal III
Pinchat Tunnel: Normal profile III

un décalage de chaque opération d'environ 2 semaines au maximum.

La calotte est excavée à l'abri d'une prévoûte en tubes métalliques injectés, réalisée préalablement à l'excavation.

Le soutènement, constitué de cintres métalliques lourds et de béton coulé derrière des treillis de coffrage, est appuyé directement sur les parements en béton des galeries de pied.

Le radier en béton est réalisé directement derrière l'excavation.

2.4 Excavation – tunnel dans les alluvions anciennes hors nappe

L'excavation est prévue majoritairement en pleine section, à l'abri d'un pré-soutènement à l'avancement (boulons auto-foreurs ou voûte parapluie en tubes aciers injectés). La stabilité du front pourra, selon les cas, être renforcée par des ancrages en fibres de verre au front. Le soutènement est constitué de cintres lourds et de béton coulé derrière des

as future supports for the tunnel crown, along the entire length of the galleries.

- Excavations divided into the sections – top heading/bench/invert – with a maximum lag of about 2 weeks between each operation.

The crown is excavated under the protection of a pre-vault of injected metallic tubes placed prior to execution.

The retaining wall is built of heavy steel ribs and cast-in-place concrete behind a formwork mesh, and supported directly on concrete walls of the side headings.

Construction of the concrete foundation is carried out immediately following the excavation.

2.4 Excavation – tunnel in early alluviums above the water table

The excavation is planned mainly in the middle section, protected by a pre-supporting structure as the excavation advances (self-drilling bolts or umbrella arch from in-

treillis de coffrage. Le radier est excavé 30 m derrière le front et bétonné à l'avancement sur sa première épaisseur.

Le passage sous la Drize constitue un point caractéristique. La couverture à cet endroit est de l'ordre de 6 m. Le lit de la Drize est associé à un dépôt graveleux alluvionnaire perméable d'extension limitée, reposant directement sur une moraine limoneuse à cailloux et blocs de faible perméabilité, puis sur les graviers de l'alluvion ancienne. Les terrains en calotte peuvent donc être considérés comme peu perméables, mais de matrice nettement limoneuse présentant une teneur en argile inférieure à 10 %. La Drize devra être déviée et mise en canal, de manière provisoire sur une longueur d'environ 100 m, afin d'éviter un déversement de celle-ci dans le tunnel en cas de problèmes. En outre, des mesures préalables seront prises, afin de limiter les déformations susceptibles de fissurer la moraine et d'altérer sa relative étanchéité. Ces mesures peuvent être résumées comme suit :

- voûte-parapluie avec des tubes métalliques injectés et boulonnage du front,
- traitement préalable de la zone.

Des mesures préventives de chantier seront également prises, afin d'assurer qu'aucune pollution due au chantier ne puisse filtrer jusqu'à la nappe.

2.5 Excavation – tunnel dans les alluvions anciennes dans la nappe

Sur les 100 derniers mètres du tunnel du côté Val d'Arve, le radier de l'ouvrage pénètre dans la frange aquifère de la nappe. Au vu des perméabilités attendues du terrain, un rabattement de la nappe dans ce secteur paraît difficile, voire impossible. Des essais de pompage conséquents ont montré un rabattement de quelques centimètres seulement.

Un traitement préalable du terrain pour diminuer sa perméabilité est nécessaire pour pouvoir excaver le stross et le radier dans des conditions acceptables et limiter ainsi le volume d'eau d'infiltration à pomper. L'excavation est prévue en demi-section avec le niveau de la calotte au-dessus du niveau maximal de la nappe. Suite au traitement réalisé depuis la calotte, le stross et le radier sont réalisés en direction du Val d'Arve, avec mise en place de l'étanchéité en radier.

Le traitement du terrain tiendra compte des impératifs liés à la protection de la nappe. La solution proposée consiste en un encaissement latéral par des colonnes de jetting verticales, jointives et qui descendent 2.5 m sous le niveau du radier. Le terrain ainsi encaissé est ensuite imprégné à basse pression d'un mélange bentonite-ciment. La méthode a été validée par des essais in situ dans des terrains similaires dans une carrière de la région genevoise.

jected steel tubes). The stability of the tunnel face may be reinforced using fibreglass anchorages. The retaining wall is built of heavy steel ribs and cast-in-place concrete behind a formwork mesh. The bottom of the tunnel is excavated 30 m behind the tunnel face and the first layer concreted as the excavation progresses.

The crossing beneath the river Drize is characteristic. The overburden thickness at this location is approximately 6 m. The Drize riverbed is associated with a permeable gravelly alluvial soil, limited in extent and resting directly above a loamy moraine with stones and boulders of low permeability, then early alluvium gravels. The soils in the top heading are not very permeable, essentially loamy with a clay content below 10 %. The Drize will be temporarily diverted into a canal over a length of about 100 m to avoid spilling into the tunnel in the event of problems. In addition, prior actions will be taken to limit deformations likely to crack the moraine and alter its relative water tightness. These measures may be summarised as follows:

- umbrella arch with injected steel tubes and bolt-reinforced tunnel face,
- prior treatment of the area.

Preventive measures will also be taken to ensure that no pollution from the site is able to filter in the ground water.

2.5 Excavation – tunnel in early alluviums below the water table

Along the last 100 m of the tunnel on the Val d'Arve side, the invert of the structure penetrates into the groundwater plume. In view of expected soil permeabilities, lowering of the water table in this area would seem to be difficult or impossible. Pumping tests have shown a drop of only a few centimetres.

Prior treatment of ground to reduce its permeability is needed to excavate the bench and invert sections of the tunnel under acceptable conditions and thus limit the amount of water infiltration to be pumped. The excavation is planned in half sections with the level of the top heading above the maximum level of the water. Following the treatment performed from the top heading, the bench and invert sections are carried out in the Val d'Arve direction including water proofing of the tunnel floor.

Soil treatment will take into account the necessary requirements to protect the ground water. The proposed solution consists of creating a lateral encasement by vertically injecting contiguous grout columns to 2.5 m below the invert level. The encased soil is then impregnated at low pressure with a cement-bentonite mixture. The method has been validated by field tests on similar soils in a quarry in the Geneva region.

3 Tunnel de Champel [2]

3.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Les conditions géologiques sont présentées dans le profil longitudinal (Figure 5). Une campagne de sondages complémentaires sera réalisée durant l'année 2011.

Dans ce secteur, le sous-sol est constitué de 3 formations principales: le substratum rocheux molassique non concerné par le projet, diverses couches d'origine glaciaire constituées de moraines liées aux glaciers rissiens et wurmiens et de dépôts de retrait dont la granulométrie et la compacité sont très variables et enfin des formations récentes composées d'alluvions fluviales, de colluvions et de remblais liés aux activités humaines.

La plus grande partie du tunnel se situe dans des terrains meubles glaciaires constitués en couche successive de cailloutis morainiques, de moraine wurmienne et moraines de fond et pour finir de retrait wurmien.

Le radier se trouve sur toute la longueur du tunnel dans les cailloutis morainiques, alors que la calotte rencontre toutes les couches géologiques mentionnées.

Les conditions hydrogéologiques peuvent être résumées comme suit:

- Niveau bas de la nappe phréatique souterraine dans les cailloutis morainiques, environ 4–8 m sous le radier du tunnel.
- Dans les couches supérieures à celles des cailloutis morainiques, la présence d'eau, répartie aléatoirement dans des gouttières et lentilles de matériaux plus perméables, peut se rencontrer et ce à divers niveaux. Selon l'intensité des précipitations, ces niveaux d'eau peuvent varier.

3 Champel Tunnel [2]

3.1 Geological and hydrogeological background

The geological conditions are indicated in the longitudinal profile (Figure 5). Another drilling campaign will be carried out during 2011.

In this area, the subsoil consists of 3 main formations: the molasse substratum unaffected by the project, various layers of glacial moraines relating to the retreating deposits of Rissian and Würmian glaciers, whose granulometry and density are highly variable, and finally recent formations composed of river alluvium, colluvium and fill associated with human activities.

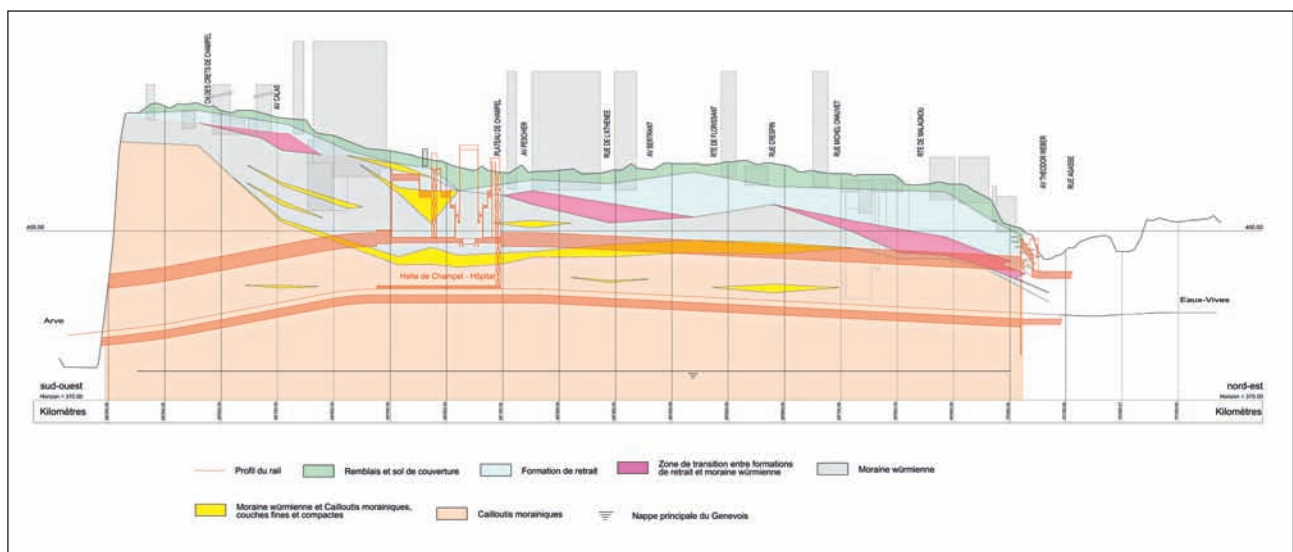
Much of the tunnel is in loose glacial soils formed by successive layers of morainal gravel, Würmian moraine, ground moraines, and lastly Würmian retreat.

The invert section is situated over the entire length of the tunnel in the stony moraine whereas the top heading crosses all the geological layers mentioned.

The hydrogeological conditions can be summarised as follows:

- Low level of the water table in the morainal gravel, about 4 to 8 m beneath the bottom of the tunnel.
- In the layers above the morainal gravel, the presence of water can be found at different levels, spread randomly in the channels and lenses of the more permeable materials. Depending on the rainfall intensity, these water levels can vary.

The selected construction methods will ensure the prevention of any contact between this water in the soil layers above the tunnel crown and the water table.



5 Tunnel de Champel: Profil longitudinal
Champel Tunnel: Longitudinal profile

Les méthodes de construction choisies permettent d'éviter tout contact entre cette présence d'eau dans les couches de sol au-dessus de la calotte et la nappe phréatique.

3.2 Méthode d'exécution

Le tunnel sera creusé à partir de 2 fronts d'attaque et en pleine section : à partir du portail du Val d'Arve et de la gare des Eaux-Vives.

Le Tunnel de Champel est proche de la surface : la couverture sur la voûte du tunnel varie entre environ 10 et 30 m.

Le projet prévoit 2 mesures constructives pour garantir la stabilité du front. Une voûte parapluie avec des tubes en acier injectés d'une part et le boulonnage du front de taille avec des boulons en fibre de verre d'autre part. L'application du béton projeté ou le creusement d'un front incliné améliore encore la stabilité du front de taille.

En présence de terrain très plastique dans la voûte, il est prévu de réaliser – comme mesure constructive subsidiaire – du jetting entre les tubes de la voûte parapluie. Dans une première phase, la voûte parapluie sera créée avec des tubes en acier horizontaux. Les tubes en acier garantissent le soutènement longitudinal. Dans une deuxième phase, des colonnes jetting seront réalisées entre les tubes en acier à l'extrados. Les colonnes jetting se posent sur les tubes en acier, forment localement un arc circonférentiel et empêchent l'écoulement dans le tunnel des matériaux fins. La combinaison des 2 systèmes permet également d'augmenter la rigidité de la voûte.

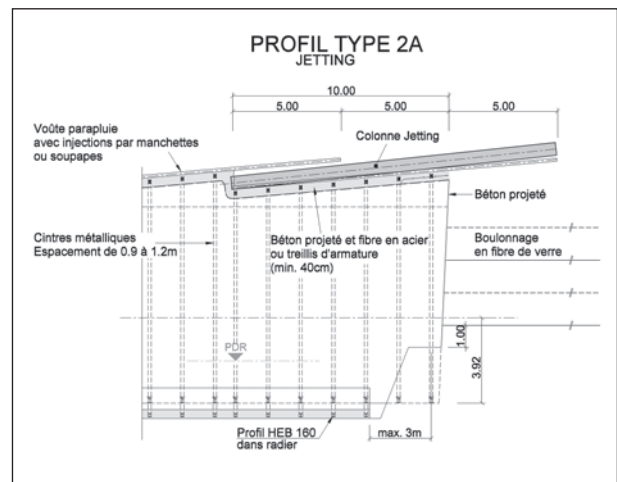
Il est important de mesurer et de surveiller les déformations du massif et de la surface. Selon les besoins, quelques tubes de la voûte parapluie seront équipés d'inclinomètres pour surveiller les déformations du massif. Un concept de surveillance de la surface du sol ainsi que des bâtiments permettra de contrôler les mouvements des terrains.

Il est prévu de poser le soutènement (cintres métalliques, béton projeté et treillis d'armatures) immédiatement derrière le front. Les étapes d'avancement seront de l'ordre de 1 m.

Le soutènement sera fermé environ 36 m derrière le front. Le radier voûté sera bétonné en même temps que la voûte parapluie sera réalisée.

3.3 Passage sous des bâtiments avec recouvrement de 14 m et 11 m

Le creusement sous les bâtiments situés au nord et au sud de la Halte de Champel, demande un soin particulier pour limiter les tassements à la surface. Le recouvrement est faible avec 14 m et 11 m. Pour limiter les pertes des matériaux lors de l'excavation, une double voûte parapluie horizontale avec des tubes en acier sera mise en place depuis la Halte de Champel (Figure 6).



6 Halte de Champel: Profile Type Champel stop: Standard profile Illustrations: CEVA

3.2 Method of execution

The tunnel will be excavated from 2 faces and in the middle of the section: at Val d'Arve and Eaux-Vives station.

Champel Tunnel is close to the surface: the overburden thickness above the tunnel vault varies between about 10 and 30 m.

Two constructive measures are planned to guarantee the stability of the tunnel face: umbrella arches of steel tubes injected on the one hand and bolting of the tunnel face with fibreglass bolts on the other. The application of shotcrete or excavation of a sloping tunnel face further improves its stability.

In the presence of very plastic soils in the crown section, the intention is to perform jet grouting between the tubes and the umbrella arch as a secondary constructive measure. During the first phase, the umbrella arch will be built from horizontal steel tubes. Steel tubes ensure longitudinal support. In a second phase, jet grouting will be performed between the steel tubes and the back of the arch. The jet grouting forms a circumferential arch locally around the steel tubes and prevents the flow of fine materials into the tunnel. The combination of the two systems also increases the rigidity of the tunnel arch.

It is important to measure and monitor deformations of the soil mass and the ground surface. As required, some of umbrella arch tubes will be equipped with inclinometers to monitor deformation of the soil mass. A concept for monitoring the ground surface as well as buildings will allow for ground movements to be checked.

The plan is to build the retaining wall (steel ribs, sprayed concrete and welded wire fabric) immediately behind the tunnel face. Progress shall be carried out in stages of approximately 1 m.

Références

- [1] Tunnel de Pinchat: Grégoire Favre, directeur de projet du groupement GE-Pinchat (BG Ingénieurs Conseils SA, sd ingénierie Genève SA , GADZ géotechnique appliquée Dériaz SA, Solfor SA)
- [2] Tunnel de Champel: Michel Matalon, directeur de projet du groupement GECA (Stucky SA, B+S AG, EDMS SA)

The retaining wall will be closed about 36 m behind the front. The arched floor of the tunnel will be concreted at the same time that the umbrella arch is built.

3.3 Passing beneath buildings with a cover of 14 m and 11 m

Excavation beneath buildings, north and south of Champel station, requires special care to limit settlements at the surface. The overburden thickness is limited to 14 m and 11 m. To minimise the loss of materials during excavation, a horizontal double umbrella arch with steel tubes will be built from Champel station (Figure 6).

References

- [1] Pinchat Tunnel: Grégoire Favre, project director for the group GE-Pinchat (BG Ingénieurs Conseils SA, sd ingénierie Genève SA , GADZ géotechnique appliquée Dériaz SA, Solfor SA)
- [2] Champel Tunnel: Michel Matalon, project director for the group GECA (Stucky SA, B+S AG, EDMS SA)

Stefan Müller, Dipl. Bauing. HTL, Frutiger AG, Thun/CH

Bruno Saller, ASNB Amt für Nationalstrassenbau, Brig/CH

Alex Schneider, Dr. sc. techn., Dipl. Bauing. ETH/SIA, Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH

Tunnel Eyholz

Südumfahrung Visp der Nationalstrasse A9

Die Umfahrung Visp stellt ein rund 8 km langes Teilstück der Nationalstrasse A9 im Kanton Wallis dar. Visp wird im Süden in den zwei insgesamt ca. 7.5 km langen Tunneln Visp und Eyholz umfahren. Die Tunnel werden in 2 Röhren erstellt. Dabei handelt es sich um ein sehr komplexes Verkehrsinfrastrukturprojekt, das wegen prognostizierter felsmechanische Schwierigkeiten besondere Vorkehrungen für den Spreng- und Lockergesteinsvortrieb erfordert.

The Eyholz Tunnel

The Visp bypass on Swiss National Highway A9

The Visp bypass, around 8 km in length, forms part of Swiss National Highway (Autobahn) A9 in the Canton of Wallis. Visp is bypassed to the south by the two Visp and Eyholz tunnels, totalling some 7.5 km in length. The tunnels are of twin-tube configuration. The whole makes up an extremely complex transport-infrastructure project, necessitating special precautions for blasting operations and tunnelling in non-competent rock, due to the difficult rock-mechanical conditions predicted.

1 Autobahn A9

Die A9 führt von Ballaigues an der französischen Grenze über Vevey, Sion, Brig über den Simplonpass bis nach Gondo an die italienische Grenze. Die ersten Arbeiten auf Walliser Boden erfolgten 1974 zwischen St. Maurice und Martigny. Das bislang letzte Teilstück bis Siders Ost wurde 1999 dem Verkehr übergeben. Das verbleibende, ca. 32 km lange Teilstück zwischen Siders Ost und Visp Ost ist zum Teil noch in Planung und zum Teil im Bau.

Dieses 32 km lange Teilstück zwischen Siders Ost und Visp Ost verläuft ca. 16 km in Tunneln oder gedeckten Einschnitten und ist in 4 Abschnitte unterteilt (Bild 1).

Der östlichste 8.8 km lange Abschnitt zwischen dem Vollanschluss Visp West und dem 3/4-Anschluss Visp Ost umfährt die Gemeinde Visp in einem weiten Bogen südlich und verläuft grösstenteils in Tunneln, nämlich dem Tunnel Visp (2.6 km) und dem Tunnel Eyholz (4.2 km). Zwischen diesen beiden Tunneln überquert die A9 den Fluss „Vispa“ auf einer 213 m langen Brücke.

2 Umfahrung Visp

2.1 Tunnel Visp

Der Tunnel Visp besteht aus zwei rund 2.6 km langen Hauptröhren zwischen dem Portal Schwarzer Graben im Westen und dem

1 Autobahn A9

The A9 runs from Ballaigues, on the French border, via Vevey, Sion and Brig, across the Simplon Pass, to Gondo, on the border with Italy. Initial work in Wallis took place between St. Maurice and Martigny in 1974. The most recently completed section, up to Siders East, was opened to traffic in 1999; the remaining approximately 32 km long section from Siders East to Visp East is either still at the planning stage or already under construction.

This 32 km long section between Siders East and Visp East runs for approximately 16 km of its course in tunnel or in covered cuttings, and is subdivided into four sectors (Figure 1).

The eastern, 8.8 km long sector between the Visp West all-direction junction and the Visp East 3/4 junction bypasses the town of Visp to the south on a broad arc, and is predominantly in tunnel, namely the Visp Tunnel (2.6 km) and the Eyholz Tunnel (4.2 km). The road crosses the Vispa river on a bridge of 213 m length between these two tunnels.

2 The Visp Bypass

2.1 The Visp Tunnel

The Visp Tunnel consists of two main bores of around 2.6 km length between the western Schwarzer Graben portal and the eastern portal at Chatzuhüs (Figure 2). The north bore

Tunnel d'Eyholz

Contournement sud de Viège par l'A9

Le contournement de Viège représente un tronçon de 8 km de l'A9 dans le canton du Valais. Viège est contournée au sud par les deux tunnels de Viège et d'Eyholz, d'une longueur totale de 7,5 km environ. Ces tunnels seront construits sous forme de deux tubes. Il s'agit là d'un projet d'infrastructure routière très complexe qui, compte tenu des pronostics difficiles faits en termes de géomécanique, exige des mesures particulières pour l'excavation à l'explosif et l'avancement en terrain meuble.

Galleria di Eyholz

Circonvallazione Visp della strada nazionale A9

La circonvallazione di Visp rappresenta una tratta di circa 8 km della strada nazionale A9 del Canton Vallese. Visp sarà aggirata a sud da due gallerie, Visp e Eyholz, lunghe complessivamente circa 7.5 km. Le gallerie vengono scavate con doppia canna. Si tratta di un progetto infrastrutturale molto complesso, dalle difficili prognosi in materia di meccanica delle rocce e dai provvedimenti particolari per l'avanzamento con esplosivo e in roccia sciolta.

Portal Chatzuhüs im Osten (Bild 2). Die Nordröhre des Tunnels Visp wird komplett neu erstellt. Die Südröhre verläuft auf einer Strecke von ca. 1.7 km im 1995 eröffneten „Vispertaltunnel“.

of the Visp Tunnel is being created completely from new, whereas the south bore includes the Vispa Valley Tunnel, opened in 1995, for a length of around 1.7 km.

2.2 Tunnel Eyholz

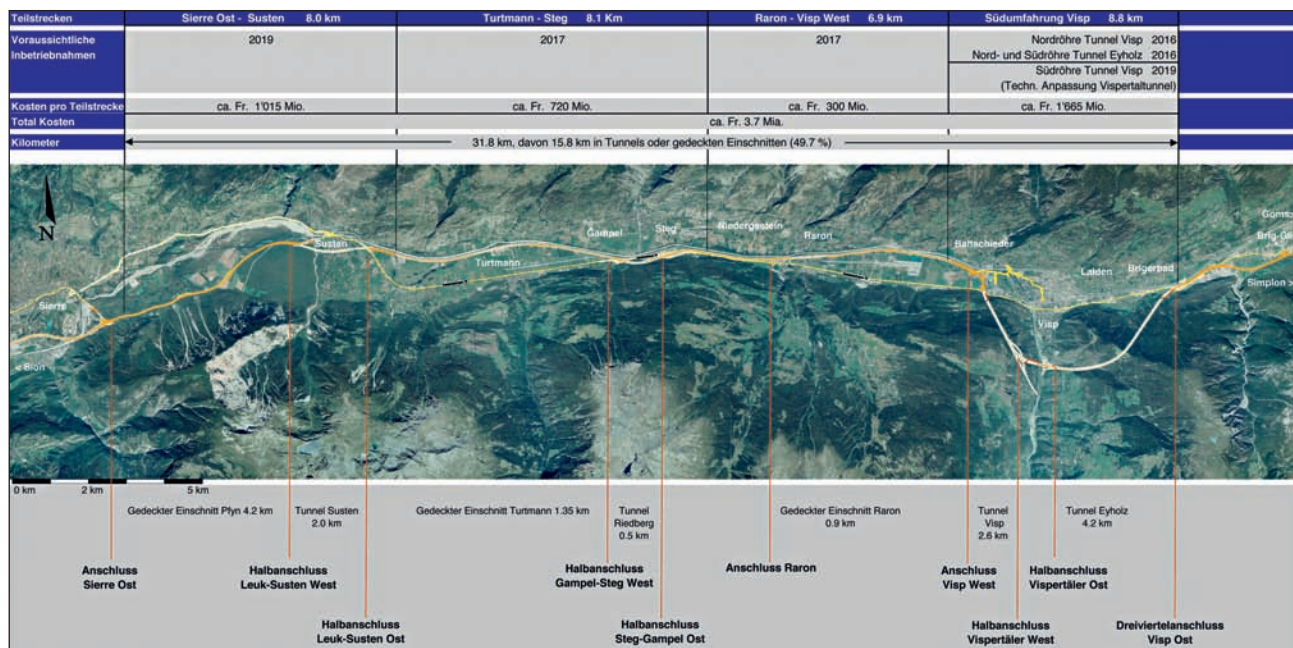
Der Tunnel Eyholz besteht aus zwei rund 4.2 km langen Hauptröhren zwischen dem Portal Staldbach im Westen und dem Portal Grosshüs im Osten sowie dem Einfahrtstunnel (Länge ca. 360 m) resp. Ausfahrtstunnel (Länge ca. 200 m). Der Tunnel Eyholz wird komplett neu erstellt. Beim Portal Grosshüs schliesst der Abschnitt Visp West – Visp Ost an den bereits im Jahr 2002 eröffneten Teil der Autobahn A9 an.

2.2 The Eyholz Tunnel

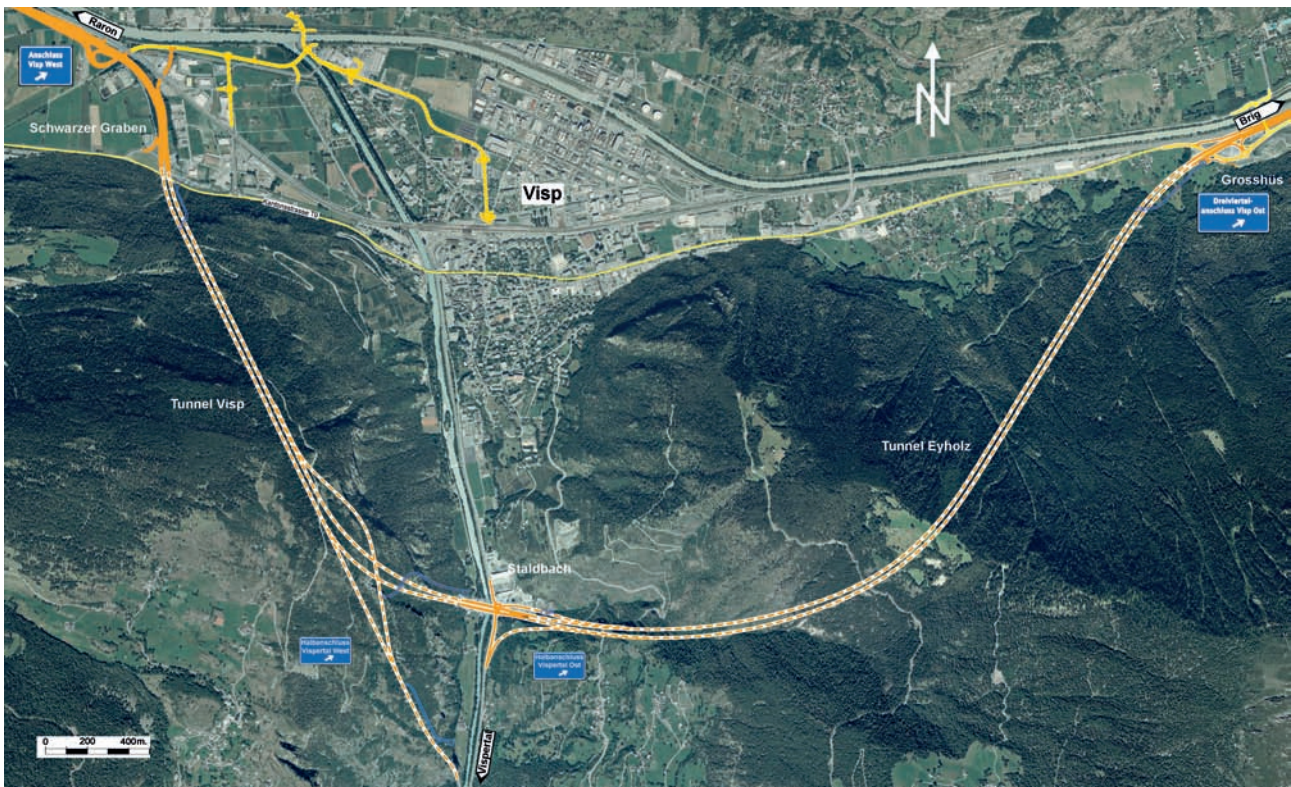
The Eyholz Tunnel consists of two main bores, each of some 4.2 km in length, between the western Staldbach portal and the eastern portal at Grosshüs, and the entry tunnel (approximately 360 m) and exit tunnel (approximately 200 m). The Eyholz Tunnel is a completely new structure. The Visp West to Visp East section connects with the route of Autobahn A9 opened in 2002 at the Grosshüs portal.

In verschiedenen „Vorlosen“ wurde der Lüftungstollen im Grosshüs (Länge ca. 410 m im Lockergestein) sowie die

The ventilation tunnel at Grosshüs (approximately 410 m in non-cohesive rock) and the lengths of the main bores in



1 Teilstück Siders Ost bis Visp Ost
The Siders East to Visp East highway section



2 Umfahrung Visp
The Visp Bypass

Lockergesteinsstrecken der Hauptrohren von 510 m (Südröhre) resp. 530 m (Nordröhre) ausgebrochen und gesichert. Ebenfalls in einem „Vorlos“ wurde mit dem Felsabtrag im Staldbach der Portalbereich ausgehoben und gesichert. Seit August 2008 laufen die Arbeiten des Bauloses „Tunnel Eyholz: Haupttunnel“.

3 Geologie

Der Tunnel quert hauptsächlich Kalkglimmerschiefer mit einer maximalen Überdeckung von 820 m. Untergeordnet sind Quarzite, Prasinite und Dolomite zu durchdrören. Diese Gesteinsschichten werden von geologischen Störungen, wie z.B. der Hotee-Störung, gegeneinander abgegrenzt. Die Schichtfolge entlang der Felsstrecke und der Lockergesteinsstrecke Grosshüs ist mit dem im Jahr 2000 durchgeschlagenen Sondierstollen gut aufgeschlossen.

4 Haupttunnel Eyholz

4.1 Bergmännischer Teil

4.1.1 Übersicht und Normalprofile

Die beiden Hauptrohren des Tunnels laufen parallel in einem Abstand von ca. 30 m zueinander. Zu den Portalen hin nimmt der Abstand der Röhren auf weniger als 10 m ab. Die Ausbaugeschwindigkeit der Nationalstrasse beträgt 100 km/h. Im Bereich Staldbach wird mit zwei unterirdischen Verzweigungen der Halbanschluss ins Vispatal mittels eines Einfahrtstunnels in die Südröhre und eines Ausfahrtstunnels von

non-cohesive rock, of 510 m (south bore) and 530 m (north bore), were excavated and support installed in a number of „preliminary lots“. The portal zone at Staldbach was also excavated and secured in one of the „preliminary lots“. Work on the „Eyholz Main Tunnel“ lot started in August 2008.

3 Geology

The tunnel passes predominantly through calcareous mica-schist with a maximum overburden of 820 m. Minor sections of quartzites, prasinites and dolomites must also be traversed. These strata are confined from each other by geological fractures, such as the Hotee Fault. The stratigraphic sequence along the in-rock section and through the Grosshüs non-cohesive section has been well charted by means of the exploratory tunnel created in 2000.

4 The Main Eyholz Tunnel

4.1 The underground mining section

4.1.1 Overview and prevailing profiles

The 2 main bores of the tunnel run parallel at a distance of around 30 m from each other, converging to less than 10 m at the portals. The speed limit on the national highway upon completion will be 100 km/h. Near Staldbach, the two-direction junction into the Vispa Valley, with two underground branches, is to be created by means of an entry tunnel to the south bore and an exit tunnel from the north bore. The section lengths of the two underground branch structures

der Nordröhre erstellt. Die Streckenabschnitte der beiden unterirdischen Verzweigungsbauwerke im Staldbachbereich betragen jeweils 445 m (Südröhre) bzw. 280 m (Nordröhre). Die unterirdischen Verzweigungen haben eine Spannweite des Ausbruchs von bis zu 26 m.

Die Normalprofile der beiden Haupttunnel weisen je nach geologischen Verhältnissen einen Ausbruchquerschnitt von zwischen ca. 110 m² und 130 m² auf. Darin besteht Raum für zwei Fahrspuren, einen Lüftungskanal von 13 m² für die Luftabsaugung im Brandfall oberhalb der Zwischendecke sowie einen begehbaren Werkleitungskanal in der Sohle. Der Ein- und Ausfahrtunnel ist jeweils einspurig mit Standstreifen ausgeführt. Im Normalfall werden die Tunnelquerschnitte in geologisch günstigen Tunnelabschnitten als Hufeisenprofil ausgeführt. Im Lockergestein wird das Profil zum Ring geschlossen (Bild 3).

4.1.2 Haupt- und Ausfahrtunnel

Felsstrecken

Das Projekt basiert auf Sprengvortrieben für die Tunnelröhren im Fels. In der Regel wird das Hufeisenprofil im Vollausbruch ausgebrochen. Für die Ausbruchssicherung sind sieben Klassen in Anlehnung an die SIA 118/198 definiert. In den Klassen SPV I bis III erfolgt die Sicherung mit Ankern und bewehrtem Spritzbeton. In der Klasse IV A werden Bogen im offenen Profil und netzbewehrter Spritzbeton eingebaut. Für längere Störzonen und zur Bewältigung der gemäss geologischer Prognose vorkommenden druckhaften Abschnitte sind Profiltypen mit Ringschluss und zum Teil auch Mehrausbruch eingeplant (SPV IV B und V). Der Graben für den Werkleitungskanal soll separat ausgebrochen und nach Bedarf gesichert werden.

at Staldbach are 445 m (south bore) and 280 m (north bore), respectively. The underground branch tunnels have a span width for excavation of up to 26 m.

The prevailing profiles of the two main bores extend to a cross-section between 110 m² and 130 m², depending on the geological conditions and fit two road lanes, a 13 m² ventilation duct above the false roof for extraction of air and fumes in case of fire and a walk-in service duct in the floor. The entry and exit tunnels are each single-lane, with hard shoulders. The tunnel cross-sections are typically of horseshoe profile in geologically easier tunnel sectors. The profile closes down to a ring in non-cohesive soil (Figure 3).

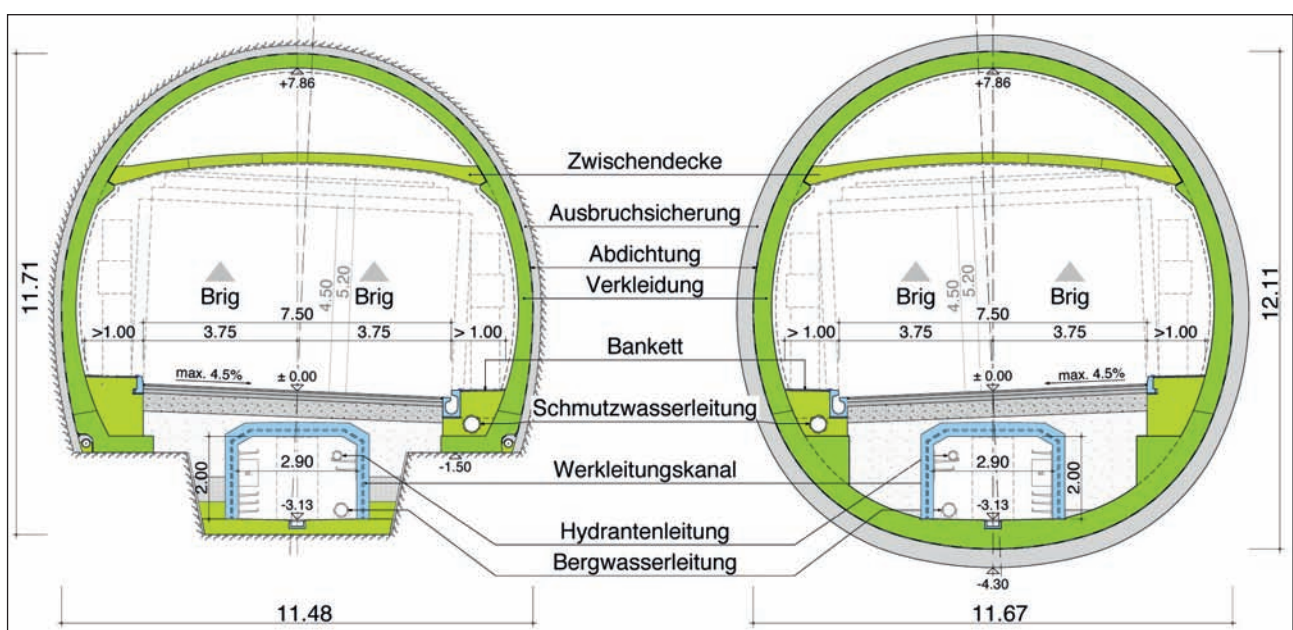
4.1.2 The main and exit tunnels

In-rock sections

The project is based on drilling and blasting (D&B) tunnelling for the in-rock bores. The horseshoe profile is generally excavated in full. Seven classes, with reference to SIA 118/198, are defined for excavation support. Classes SPV I to III specify rock-bolt and reinforced shotcrete support. Class IV A requires open-section arches and mesh-reinforced shotcrete. Profile types incorporating ring segments and, in some cases, over-profile excavation are included for longer fault zones and for managing the squeezing sections (SPV IV B and V). The trench for the service duct has to be excavated separately, and supported as necessary.

Sections in non-cohesive rock

The tunnelling operations in non-cohesive rock at Staldbach (north bore, exit tunnel) are located under the base of the slope, and are to be full-section excavated, with a stepped advance-face protected by jet-grouting vault. For a length



3 Normalprofile
Prevailing profiles

Lockergesteinsstrecken

Die Lockergesteinsvortriebe im Staldbachbereich (Nordröhre, Ausfahrttunnel) liegen im Bereich des Hangfusses und werden im Vollausschub mit abgetreppter Ortsbrust im Schutze von Jet Grouting Schirmen ausgeführt. Der Ausbruchquerschnitt liegt dabei auf einer Strecke von ca. 100 m teils im Fels und teils im Lockergestein. Der Übergang verläuft schleichend zum Tunnelquerschnitt. Nach dem Vortriebsstart im Bereich Staldbach liegt der gesamte Querschnitt im Felsen. Nach ca. 60 m reicht die Lockergesteinsoberfläche allmählich in das Profil, und im Tiefpunkt nach rund 130 m liegt 70 % des Profils im Lockergestein. Die vorausseilende Gewölbesicherung wird mit doppelten Jetsäulen ausgeführt, die jeweils eine Länge von 13 m haben und sich um 6 m überlappen. Mit langen Erkundungsbohrungen werden jeweils für die nächste Etappe die Lage der Felsoberfläche abgetastet und die Jetsäulen im Querschnitt entsprechend angeordnet. Der Ausbruch erfolgt in Etappen von 1 m. Die Sicherung wird in Spritzbeton in zwei Schritten mit zwei Lagen Netzbewehrung aufgebracht. Nach 4 m bis 6 m hinter der Ortsbrust ist der Ringschluss der Ausbruchsicherung erfolgt. Die Ortsbrustsicherung wird mit Jetting-Pfählen ausgeführt. Diese sind in Abschnitten, wo die Pfähle die Felsoberfläche durchstossen, mit Stahlstabankern versetzt.

4.1.3 Verzweigungsbauwerke

Der Hauptteil der Verzweigungen liegt im Kalkglimmerschiefer, der örtlich von Brüchen, Verwerfungen, kakiritischen Störungen durchquert wird und im Weiteren unregelmässig geklüftet ist. In der südlichen Verzweigung wird das Bauwerk von einer rund 5 m bis 7 m mächtigen „Graphitzone“ tangiert, einem Gebirgsbereich mit erhöhtem Graphitgehalt und damit einer geringeren Festigkeit als das umliegende Gebirge. Diese Zone kann beim Vortrieb unzulässige Deformationen des Querschnittes und somit eine Überbeanspruchung des Ausbaues verursachen.

Die Ausbruchsicherung der Verzweigungskaverne besteht aus einer systematischen Sicherung mit langen Mörtelankern und einer bewehrten Spritzbetonschale. Zur temporären Gewährleistung der Arbeitssicherheit an der Ortsbrust wurde zudem mit sofort wirksamen Reibrohrankern gesichert.

Die Dicke des Pfeilers zwischen Hauptröhre und jeweils der abzweigenden Röhre am Ende der Verzweigung beträgt jeweils minimal 1 m. Bei ungünstigen Felseigenschaften wird der Pfeiler im vordersten Bereich durch Beton ersetzt. Im günstigen Fall wird der Pfeiler mit Ankern gesichert.

Besondere Beachtung verdiente die Bewältigung der weichen und wenig festen „Graphitzone“, die die südliche Verzweigungskaverne mit einer Mächtigkeit von 7 m schief schneidet. Die Graphitzone fällt dabei flach und tangiert den Ausbruch auf einer Länge von ca. 85 m. Gegen Norden hin steigt die Zone derart an, dass die nördliche Verzweigungskaverne nicht betroffen wurde. Der Graphitgehalt,

of around 100 m, the excavation progresses partially in rock and partially in non-cohesive material. The transition occurs with a slight angle. From the start of the works near Staldbach, the entire cross-section is in rock. After around 60 m, the non-cohesive surface gradually intrudes into the section, while 70 % of the section is in non-cohesive rock at the tunnel bottom around 130 m further on. The advance roof support employs double jetting shield, each of a length of 13 m, overlapping by 6 m. The location of the rock face is scanned for the next pull, and the jetting shield correspondingly positioned in the cross-section, using long exploratory bore holes. Excavation is in pulls of 1 m. Shotcrete support is installed in two operations, with two layers of wire mesh. Segment closure of the excavation support is completed 4 m to 6 m behind the face. Face support is accomplished by means of jetting piles in an offset pattern with steel anchor bars in sectors in which the piles pass through the rock face.

4.1.3 Intersections

The major parts of the intersections are located in calcareous mica-schist, which is locally traversed by dislocations, slip and cataclastic faults and is irregularly fissured further on. In the southern branch, the structure contacts with a “graphite zone” of some 5 m to 7 m in thickness, i.e. a rock zone of elevated graphite content, and therefore of lower strength than the surrounding rock. This could cause non-tolerable deformations of the cross-section, and thus overloading of the support, during tunnelling.

The excavation support for the intersection cavern consists of a systematic support arrangement of long grouted rock bolts and a reinforced shotcrete shell. Immediately-acting friction-bolt anchor support is also installed for rapid assurance of working safety at the face.

The pillar between the main bore and the diverting drifts is minimum 1 m thick at the end of the intersection. In poorer rock conditions, the pillar in the front area is replaced with concrete. In better conditions, the pillar is supported by rock bolts.

Managing of the softer and weaker “graphite zone” with a thickness of 7 m, which intersects with the southern cavern by an oblique angle, required particular attention. This graphite zone is bedded and runs along the excavations for a length of around 85 m. Toward the north, the zone becomes steeper, with the result that the northern cavern is not affected. Graphite content, and thus the strength of this material, varies greatly, and it was necessary to take particular account of this aspect in the planning of provisions. A material substitution system accommodated in alcoves close to the face made it possible to traverse this zone safely, and keep the entire cross-section stable. This material substitution system is accomplished using shotcrete, normally up to a depth of around 1.5 m to 3 m (Figure 4).

und damit die Festigkeit des Materials, ist stark variabel und die Massnahmen waren insbesondere unter diesem Aspekt zu planen. Mit einem in Nischen nahe der Ortsbrust eingebrachtem Materialersatz konnte die Graphitzone sicher durchörtert und der gesamte Querschnitt stabil gehalten werden. Der Materialersatz erfolgt mit Spritzbeton und wird in der Regel bis zu einer Tiefe von ca. 1.5 m bis 3 m ausgeführt (Bild 4).

4.2 Aussenbereiche

Bei den Portalen der Hauptrohren werden jeweils kurze Tagbaustrecken und das Portalbauwerk erstellt. Beim Ein- und Ausfahrtstunnel sind die Tagbaustrecken knapp 50 m bzw. 65 m lang. Eine Besonderheit stellt dabei die Tagbaustrecke und der Voreinschnitt beim Einfahrtstunnel am Fuss eines Rutschhanges dar. Die Sicherung wird mit schweren vorgespannten Ankern ausgeführt und der Tagbautunnel sowie die anschliessende Stützmauer werden als Stützkonstruktion ausgebildet. Bei beiden Portalen wird jeweils eine Lüftungszentrale erstellt.

5 Projektbeteiligte

5.1 Bauherr

Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt, Amt für Nationalstrassenbau, 3902 Glis

5.2 Projektverfasser und Bauleitung

IG VISPA:

IUB AG (Bern), Federführung

Rothpletz, Lienhard + Cie AG (Bern)

4.2 Open cast works

Short cut-and-cover sections and the portal structures are created in each case for the portals. The cut-and-cover sections for the entry and exit tunnels are just under 50 m and 65 m long, respectively. One particular feature is the cut-and-cover section and pilot cut for the entry tunnel at the foot of an unstable slope. Support takes the form here of heavy-duty pre-stressed rock bolts, while the cut-and-cover tunnel and the subsequent retaining wall are designed as support structures. A ventilation centre is being installed at each of the 2 portals.

5 Project participants

5.1 Client

Canton of Wallis, Department of Transport, Construction and the Environment, National Highway Construction Bureau, 3902 Glis

5.2 Project planner and site engineering

IG VISPA:

IUB AG (Bern), Project Management

Rothpletz, Lienhard + Cie AG (Bern)

SPI Schmidhalter + Pfammatter Ingenieure AG (Brig-Glis)

Bänziger Partner AG (Zürich)

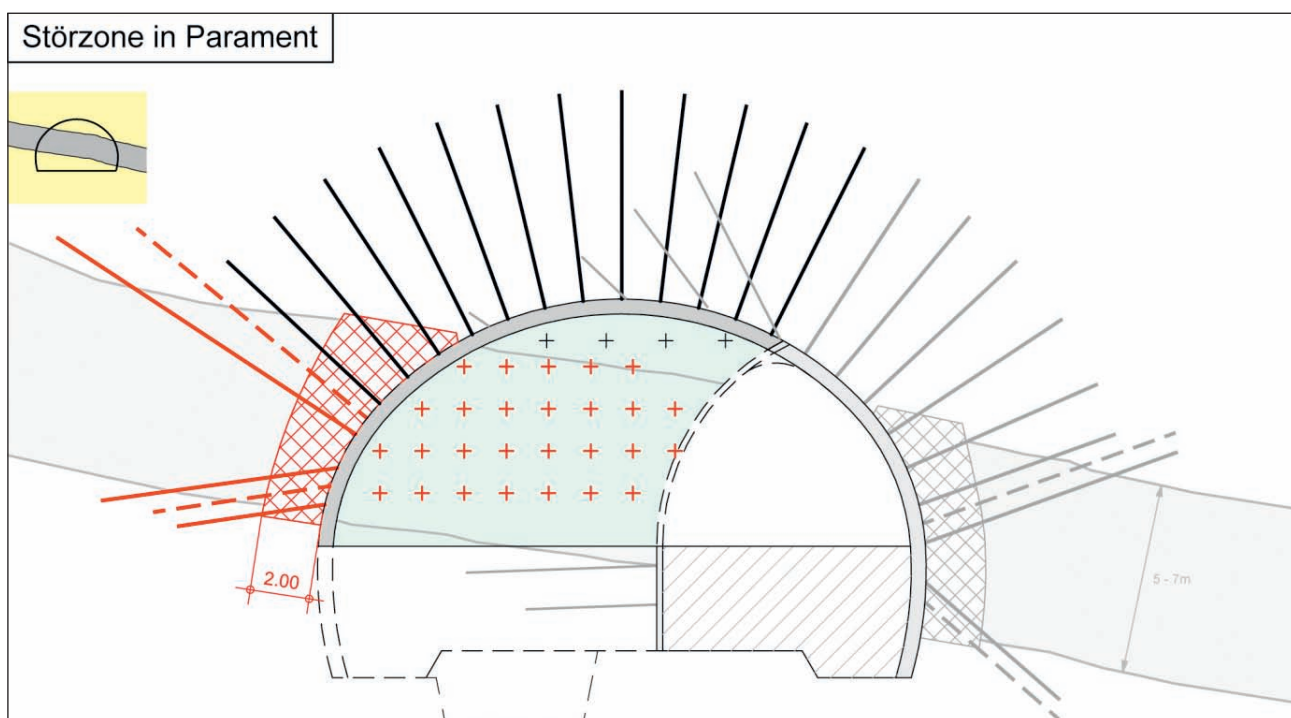
CERT (Sion)

ESM-Ruppen SA (Monthey)

Geology:

Norbert SA (Martigny)

De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens



4 Graphitzone im Parament und Anordnung des Materialersatzes

Graphite zone in the floor and side area, and arrangement of material substitution system

SPI Schmidhalter + Pfammatter Ingenieure AG (Brig-Glis)
 Bänziger Partner AG (Zürich)
 CERT (Sion)
 ESM-Ruppen SA (Monthey)

Geologie:
 Norbert SA (Martigny)
 De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens

Prüfingenieur, Berater (Untertagbau):
 Prof. Dr. K. Kovari (Oberengstringen)

5.3 Arbeitsgemeinschaft Haupttunnel Eyholz

Die Arbeitsgemeinschaft Haupttunnel Eyholz setzt sich aus den folgenden Firmen zusammen:

- Frutiger AG, Thun (Federführung und Technische Leitung),
- CSC Bauunternehmung AG, Zürich/Lugano (Kaufmännische Leitung und Mitglied der Technischen Kommission),
- Jäger Bau GmbH, Schruns (A) (Mitglied der Technischen Kommission),
- Interalp Bau AG, Visp (Mitglied der Technischen Kommission).

Die Baustellenorganisation umfasst eine Aufteilung in die Bereiche Ausbrucharbeiten, Innenausbau und Technisches Büro. Als Stabsstellen sind nebst der Administration der Zentraleinkauf sowie die Arbeitssicherheit zu nennen. Die Vermessungsarbeiten sind an einen lokalen Subunternehmer vergeben.

6 Bauprogramm

Die Ausbrucharbeiten werden im Durchlaufbetrieb ausgeführt. Es wird an rund 330 Tagen pro Jahr gearbeitet. Die Innenausbauarbeiten, welche im Groben das Erstellen des Werkleitungskanals, die Abdichtung, den Gewölbebeton und die Zwischendecke beinhalten, werden im Zweischichtbetrieb an fünf Arbeitstagen pro Woche ausgeführt.

Die groben Eckdaten des Ausführungsbauprogramms beinhalten folgende Elemente:

Baubeginn	August 2008
Beginn Ausbrucharbeiten	Januar 2009
Ende Ausbrucharbeiten	September 2011
Beginn Innenausbau	August 2010
Ende Innenausbau Süd	Dezember 2012
Ende Innenausbau Nord	Juni 2014.

7 Installationen

7.1 Hauptinstallationen

Der Hauptinstallationsplatz befindet sich unmittelbar zwischen den bergmännischen Portalen und der Staldbachbrücke. Aus Platzgründen mussten die Kantine sowie die Unterkünfte in die Grosseya, eingangs Visp, verlegt werden.

Inspecting Engineer, Consultant (Underground Tunnelling):
 Prof. Dr. K. Kovari (Oberengstringen)

5.3 The Eyholz (Main) Tunnel Joint Venture

The Eyholz (Main) Tunnel Joint Venture consists of the following companies:

- Frutiger AG, Thun (sponsor and technical management),
- CSC Bauunternehmung AG, Zurich/Lugano (commercial management, member of technical commission),
- Jäger Bau GmbH, Schruns (Austria) (member of technical commission),
- Interalp Bau AG, Visp (member of technical commission).

The site organisation is subdivided into the excavation work, interior support and engineering office sectors. Central Purchasing and Occupational Safety may be mentioned as central services, in addition to Administration. Surveying work has been awarded to a local subcontractor.

6 Working schedule

The excavation work is being conducted on a continuous basis, with operations taking place on around 330 days each year. The execution of the service duct, sealing, the roof concreting and the false roof, is performed five days a week on a two-shift basis.

The principal data for the implementation of works include the following elements:

Start of implementation	August, 2008
Start of excavation	January, 2009
Completion of excavation	September, 2011
Start of fitting-out	August, 2010
Completion of fitting-out, south bore	December, 2012
Completion of fitting-out, north bore	June, 2014

7 Work yards

7.1 Main work yards

The main work yard is located directly between the underground-tunnelled portals and the Staldbach Bridge. Due to the poor surface available, it was necessary to relocate the mess and accommodation facilities from Visp to Grosseya.

The main elements at the Staldbach work yard take the form of the concrete-making facility, the site offices, the changing rooms, the workshop and the crushing plant installation. The concrete facility is equipped with 2 twin-shaft mixers, each of 2.25 m³ capacity. This configuration makes it possible to produce steel-fibre reinforced concrete and in-situ concrete simultaneously, with no sacrifice in quality. The dimensioning of the gravel and cement silos permits storage of 2-days' supply (Figure 5).

The jaw crushing plant is an integrated element of the entire muck removal concept. The maximum crusher throughput of 850 t/h assures extremely high availability, while the in-



5 Installationsplatz Staldbach
The Staldbach work yard

Als zentrale Elemente auf dem Installationsplatz Staldbach können die Betonanlage, die Baubüros, die Umkleideräume, die Werkstatt und die Brecheranlage bezeichnet werden. Die Betonanlage ist mit zwei Doppelwellenmischern von je 2.25 m³ Mischinhalt ausgestattet. Diese Konstellation erlaubt es, gleichzeitig Stahlfaserspritzbeton und Ortbeton zu produzieren, ohne irgendwelche Qualitätseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Die Kies- und Zementsilos sind so bemessen, dass der Warenvorrat für zwei Tage genügt (Bild 5).

Der Backenbrecher ist ein integrierter Bestandteil im ganzen Schutterkonzept. Die maximale Brecherleistung von 850 t/h garantiert eine sehr hohe Verfügbarkeit. Mit der Wahl einer Vorsiebung können die Verschleisskosten auf einem Minimum gehalten werden (Bild 6).

Das Schlüsselinventar für die Vortriebe wurde für je eine Haupttröhre beschafft, damit diese unabhängig voneinander eingesetzt werden können. Folgende Geräte kommen im Haupttunnel Eyholz zum Einsatz:

- 2 Bohrwagen, dreiarmlig und 1 Ladekorb, 18" Lafetten,
- 1 Bohrwagen, zweiarmlig und 1 Ladekorb, 14" Lafetten (für Querschläge),
- 3 Pneu-lader, 4.5 m³ Schaufelinhalt,
- 2 Hydraulikbagger, 29 t (für Felsreinigung),
- 1 Tunnelbagger, 39 t (für Lockergesteinsvortrieb),
- 3 Spritzmobile, Dichtstromverfahren,
- 6 Dumper, Ladeinhalt 22 m³.

7.2 Schutterkonzept

Das Schutterkonzept beinhaltet folgende Elemente:

- Schuttern mittels Pneu-lader in Dumper vor der Ortsbrust
- Transport Ausbruchmaterial ab der Ortsbrust auf den Installationsplatz Staldbach,
- Brechen auf dem Installationsplatz auf Grösstkorn von 250 mm,
- Weitertransport gebrochenes Material mittels Förderband durch den bestehenden Schutterstollen auf den Übergabeplatz Schwarzer Graben,
- Übergabe Ausbruchmaterial an einen Drittunternehmer.



6 Backenbrecher
Jaw crusher

Installation of pre-screening keeps wear costs to a minimum (Figure 6).

The main equipment for the tunnelling operations was procured for one main bore each, in order that the sets can be deployed independently of one another. The following equipment is used in the main Eyholz Tunnel:

- 2 drilling jumbos, three-boom plus 1 load cage, 18" rock drills,
- 1 drilling jumbo, two-boom plus 1 load cage, 14" carriages (for transverse galleries),
- 3 wheel loaders, 4.5 m³ shovel capacity,
- 2 hydraulic excavators, 29 t (for rock cleaning),
- 1 tunnel excavator, 39 t (for tunnelling in non-cohesive rock),
- 3 mobile shotcreters, dense-flow method,
- 6 dumpers, load volume of 22 m³.

7.2 Muck removal concept

The muck removal concept comprises the following elements:

- wheel-loader muck removal into dumpers at the face,
- transportation of excavated material from the face to the Staldbach work yard,
- crushing to a maximum particle size of 250 mm at the yard,
- further conveyance of crushed material on a belt conveyor through the existing muck-removal tunnel to the Schwarzer Graben transfer point,
- handover of the material to a third-party contractor.

Muck removal by means of wheeled loaders has proven worthwhile, since the service duct is being excavated in a separate operation, in addition to the 2 main tunnelling works. It guarantees greatest possible flexibility. Transportation on a belt conveyor from the crusher also makes a significant contribution to keeping emission levels as low as possible.

Da nebst den zwei Hauptvortrieben auch noch der Werkleitungskanal in einem separaten Arbeitsgang ausgebrochen wird, hat sich die Schutterung mittels Pneubetrieb bewährt. Die Flexibilität ist somit grösstmöglich garantiert. Der weitere Transport ab Brecher mit Förderband leistet einen wesentlichen Beitrag, um die Emissionswerte möglichst klein zu halten.

8 Sprengvortrieb

8.1 Hauptröhren

8.1.1 Ausbrucharbeiten

Die Ausbruchquerschnitte in den Hauptröhren weisen eine Fläche von 98 m² bis 131 m² auf. Die Bohrlöcher werden mit einem dreiarmligen Bohrwagen gebohrt, welcher im Halbautomat-Modus arbeitet. Dies bedeutet, dass die entsprechenden Sprengschemata im Technischen Büro erstellt und mittels USB-Stick auf den Bohrwagen übermittelt werden können. Somit ist ein optimales Bohrlochbild gewährleistet. Die Bohrlochlängen bewegen sich je nach Sicherungsklasse zwischen 1.00 m und max. 4.80 m. Als Sprengstoff wurde eine Emulsion gewählt. Die Zündung erfolgt mittels Schlauchzünder. Die Abschlüge werden im Vollausschlag gefahren.

Der Werkleitungskanal wird mittels einer verstärkten Belegfräse ausgebrochen. Der Ausbruchquerschnitt beträgt ungefähr 10 m². In der vorherrschenden Geologie können Etappen von 5 cm bis 30 cm Fräshöhe erzielt werden. Das System hat den grossen Vorteil, das Überprofil im Vergleich zum Sprengverfahren zu optimieren. Dieser Vorteil macht sich vor allem im Sohlbereich deutlich bemerkbar (Bild 7).

8.1.2 Sicherungsarbeiten

Der Spritzbeton wird mit einem Spritzroboter appliziert. Für die Ankerarbeiten wird der Vortriebsbohrwagen verwendet. Mittels eines zweiarmigen Hebegeäts werden die Bewehrungsnetze im L1 sowie im L2-Bereich montiert. Der Stahleinbau kann mit dem Hydraulikbagger erfolgen.



7 Fräse für Ausbruch Werkleitungskanal
Cutter for excavation of service duct

8 Drilling and blasting

8.1 Main bores

8.1.1 Excavation work

The excavated cross-sections in the main bores are of 98 m² to 131 m² in area. The shot-firing holes are drilled using a three-boom rock drill functioning in semi-automatic mode. The corresponding shot-firing patterns can therefore be drafted in the engineering office and relayed to the jumbo on a USB stick. This assures an optimum shot-firing hole pattern. Hole lengths vary between 1.00 m and a maximum of 4.80 m, depending on the support class. An emulsion explosive, with initiation by means of a non-electric detonator was selected. The pulls are driven at full cross-section.

The service duct is being excavated using a reinforced deck cutter. Excavation cross-section is approximately 10 m². Pulls of 5 cm to 30 cm cutter height can be achieved in the prevailing geology. This system offers the great advantage of optimising the oversection compared to drilling and blasting. This benefit is particularly noticeable in the floor level (Figure 7).

8.1.2 Support installation

The shotcrete is applied using a robot shotcreter, while the jumbo is used for rock-bolting work. The reinforcement meshes in the L1 and L2 sectors are installed by means of a twin-boom lifting unit. Steel support is installed using the hydraulic excavator.

8.2 Intersections

8.2.1 Excavation work

The intersections were excavated in part cross-sections. The excavation cross-sections distributed across the profile as a whole varied between 110 m² and 300 m², and were subdivided in principle between roof and bench (including floor). It was also necessary, depending on the geology, to subdivide the roof additionally into 2 cross-sections, with one side preceding by a maximum of 30 m. The bench followed at an adequate distance. The excavation concept was implement-



8 Ausbruch Strosse in der Verzweigungskaverne Süd
Bench excavation in the south branch cavern

8.2 Verzweigungskavernen

8.2.1 Ausbrucharbeiten

Die Verzweigungskavernen wurden in Teilquerschnitten ausgebrochen. Die Ausbruchquerschnitte über das ganze Profil bewegten sich zwischen 110 m² und 300 m². Grundsätzlich wurde die Aufteilung nach Kalotte und Strosse (inkl. Sohle) ausgeführt. Je nach Geologie musste die Kalotte zusätzlich in zwei Querschnitte unterteilt werden. Dabei war eine Seite maximal 30 m vorausseilend. Die Strosse wurde in einem genügenden Abstand hinter der Kalotte nachgezogen. Das Ausbruchkonzept wurde mit dem gleichen Maschinenpark wie in den Hauptröhren umgesetzt. Im Bereich der prognostizierten Graphitzone musste ein entsprechender Materialersatz, in einer Nische unmittelbar an der Ortbrust, mittels Spritzbeton erstellt werden (Bild 8).

8.2.2 Sicherungsarbeiten

Da die 2 Verzweigungskavernen in geologisch schwierigen Bereichen (Graphitzonen und nachbrechende Kalkglimmerschiefer) lagen, war eine massive Sicherung erforderlich. Der starre Ausbau sah drei schwere Netzlagen (8.23 kg/m²) und zwischen 40 cm bis 50 cm Spritzbeton vor. Auf einen Stahleinbau wurde bewusst verzichtet. Als Kopfschutz kam Stahlfaserspritzbeton und Reibrohranker mit einer Länge von 5 m zur Anwendung. Als Systemanker wurden SN-Mörtelanker mit einer Länge von 7 m (im Bereich Kalotte) respektive 5 m (im Bereich Strosse) angewendet. Der Raster betrug 1.30 m x 1.30 m. Nach Erfordernis wurden auch Ortsbrustanker und Spiesse angewendet (Bild 9).

9 Lockergesteinsvortrieb

9.1 Ausfahrttunnel Staldbach

9.1.1 Ausbrucharbeiten

Der Ausfahrttunnel sowie ein Teil der Nordröhre liegen im Lockergesteinsabschnitt. Die Strecke in der Nordröhre beträgt 122 m und im Ausfahrttunnel 195 m. Der Ausbruchquerschnitt beträgt rund 140 m². Der Lockergesteinsvortrieb wird im Vollausbruch bewältigt. Die Vortriebsarbeiten werden je nach Geologie mit einem Tunnelbagger und im Sprengverfahren, mit einer Abschlagslänge von 1.0 m, ausgeführt.

9.1.2 Sicherungsarbeiten

Als Bauhilfsmassnahme wurden Jettingpfähle mit einer Länge von 13 m und einer Nutzlänge von 6 m ausgeführt. Je nach prognostizierter Geologie und Mächtigkeit der Überlagerung wurde ein einfaches oder doppeltes Jettinggewölbe gewählt. Die Stabilisierung der Ortsbrust erfolgte je nach Erfordernis mit Mörtelanker oder mit Jetsäulen. Zusätzlich wurde der Portalbereich im Ausfahrttunnel mittels eines Vertikaljettings verstärkt.

Die Sicherung im Vortrieb erfolgte mit 3-Gurt-Gitterträger, zwei Lagen Bewehrungsnetzen und 40 cm Spritzbeton (Bild 10).



9 Ausbruch- und Sicherungsarbeiten in der Verzweigungskaverne Süd

Excavation and support work in the south branch cavern

ed using the same fleet of machines as for the main bores. It was necessary, in the forecast graphite zone, to practise material substitution by means of shotcreting in an alcove at the face (Figure 8).

8.2.2 Support work

Massive support was necessary, since the 2 branch caverns were located in geologically difficult zones (graphite zones and zones of friable calcareous mica schist). The wire support system consisted of 3 layers of heavy-duty mesh (8.23 kg/m²) and between 40 cm and 50 cm of shotcrete. Steel support was consciously omitted. Steel-fibre reinforced concrete and 5 m long friction-bolt anchors were used as the overhead support. SN grouted rock bolts of a length of 7 m (in the roof) and 5 m (in the bench) were used as the system anchoring. The spacing grid was 1.30 m x 1.30 m. Face anchors and fore-poling were also used where necessary (Figure 9).

9 Tunnelling in non-cohesive rock

9.1 Staldbach exit tunnel

9.1.1 Excavation work

The exit tunnel and a portion of the north bore pass through non-cohesive rock. The section in the north bore is 122 m in length, and 195 m in the exit tunnel. The excavation cross-section is around 140 m². Tunnelling in non-cohesive rock is accomplished at full excavation cross-section. The tunnelling work is performed using a tunnel excavator and by drilling and blasting, depending on geology, with a pull length of 1.0 m.

9.1.2 Support work

Jetting piles of a length of 13 m, effective length 6 m, were installed as temporary support. A single or double jetting vault roof was selected, depending on the forecast geology and the thickness of the cover. The face was stabilised using grouted rock bolts or jetting columns, as needed. In addition, the exit tunnel was reinforced by means of vertical jetting at the portal.



10 Jettinggerät im Ausfahrtunnel
Jetting unit in the exit tunnel



11 Werkleitungs kanal
Service duct

10 Innenausbau

10.1 Haupttröhren

Der Werkleitungs kanal wird mit vorfabrizierten Elementen erstellt. Infolge einer optimierten Transportlogistik vom Produktionswerk bis auf die Baustelle wiegt ein Element maximal 12 t, damit pro Lkw-Fahrt 2 Elemente gleichzeitig transportiert werden können. Ein Transportkonzept mit der Bahn musste aus Kostengründen ausgeschlossen werden. Die Abmessungen betragen 2.375 x 2.41 x 3.38 m (L x H x B). Die Betonelemente sind bei den Fugen mit Nut und Kamm ausgestattet. Gegen das Eindringen von Wasser wird zusätzlich die Aussenfuge mit einem aussenliegenden Dichtungsband abgeklebt.

Die Betonelemente werden mit einem Lkw an die Arbeitsstelle im Tunnel transportiert und mit einem Portalkran versetzt. Das Hebe gerät läuft auf Schienen, welche im bereits vorgängig erstellten Bankett montiert sind. Das Versetzen erfolgt rund 900 m hinter dem Vortrieb (Bild 11).

Das Betongewölbe hat je nach Ausbauklasse eine Dicke von 35 cm bis 40 cm und weist eine Blocklänge von 12.50 m auf. In Bereichen mit Sohl gewölbe und in den Portalbereichen ist eine Bewehrung vorgesehen. Aufgrund langer Ausschulfristen (24 Stunden bei mindestens 10 N/mm²) hat sich die Arge für zwei Schalwagen à 12.50 m im Pilgerschrittverfahren entschieden. Auf diese Weise wird täglich ein Block betoniert. Nachlaufend, aber zeitlich parallel, wird über fünf Deckenschalwagen die bewehrte Zwischendecke eingebaut.

Der gesamte Innenausbau ist eine rund 1.7 km lange Linienbaustelle, die mit dem Abdichtungsträger und dem Ausbruch des Kanals beginnt und blockweise von Querschlag zu Querschlag, im Abstand von 266 m, über das Versetzen der vorfabrizierten Betonfertigteile für den Werkleitungs kanal bis zum Bereich des Innengewölbes reicht. Im Nachgang werden dann die Bankette mit den Schlitzrinnen und Randsteinen nachgezogen. Zwischen den einzelnen Arbeits-

Support during tunnelling was by means of three-chord truss beams, 2 layers of reinforcement mesh and 40 cm of shotcrete (Figure 10).

10 Fitting-out

10.1 Main bores

The service duct is being created using prefabricated elements. Thanks to optimised logistics from the production plant to the site, each element weighs a maximum of 12 t, in order that 2 elements can be delivered simultaneously by the same lorry. Transportation by rail was rejected for cost reasons. The element dimensions are 2.375 x 2.41 x 3.38 m (l x h x w). These concrete elements feature tongue-and-groove joints. The joint exterior is additionally sealed with an external adhesive sealing strip, to prevent the ingress of water.

The concrete elements are delivered by road to the work site in the tunnel, and handled using a gantry crane. The lifting machine runs on rails installed in the previously created bench. Transfer takes place around 900 m from the tunnelling face (Figure 11).

Depending on the support class, the concrete roof has a thickness of 35 cm to 40 cm, with section lengths of 12.50 m. Reinforcement is provided in invert-arch floor sectors, and at the portals. The consortium decided in favour of two formwork carriages, each 12.50 m, operating on a shuttle pattern, due to the long stripping times (24 h at a minimum of 10 N/mm²). This permits concreting of 1 section per day. The reinforced false roofs are installed simultaneously using five roof formwork carriages, but at a lag.

The entire fitting-out operation takes the form of an around 1.7 km long linear site, commencing with the seal car and excavation of the duct, and extending section-by-section from transverse gallery to transverse gallery, at intervals of 266 m, via handling of the prefabricated concrete elements for the

bereichen werden die Quersläge und Nischen vorbereitet und im Zuge des Innengewölbes mitbetoniert.

10.2 Verzweigungskavernen

Der Gewölbebeton in den Kavernen wird in Abhängigkeit der Querschnittsgrößen mit Betondicken von 60 cm bis 80 cm ausgeführt. Das Betonierkonzept sieht keine horizontale Etappierung vor. Somit wird das Parament und das Gewölbe in einem Arbeitsgang betoniert. Die Blocklänge beträgt ebenfalls 12.50 m. Anhand der grossen Spannweiten ist eine durchgehende Bewehrung vorgesehen.

service duct up to the inner roof area. The bench, with the slot gutters and kerbstones, then follow. The transverse galleries and alcoves are prepared between the individual working zones, and concreted simultaneously during production of the inner roof.

10.2 Intersections

The roof concrete in the caverns is 60 cm to 80 cm in thickness, depending on the size of the cross-sections. The concreting concept does not involve horizontal pull scheduling. Both the floor, side and the roof areas are thus concreted in a single operation. Section length is, again, 12.50 m. Continuous reinforcement is provided, due to the large span.

Oskar Roittner, Dipl.-Ing., Direktionsleiter Tunnelbau, STRABAG AG, Wien/A

Niagarafälle

Tunnel des Kraftwerk-Projekts Niagara

Das Wasser des Niagara River wird im Bereich der Wasserfälle seit rund 100 Jahren zur Stromerzeugung genutzt. Um die Kapazität zu erhöhen, wird derzeit ein Tunnel mit einer Länge von 10.3 km und einem Ausbruchdurchmesser von 14.4 m zur zusätzlichen Wasserüberleitung errichtet. Nachfolgend wird das Projekt sowie die bisherige Bau- und Vertragsabwicklung vorgestellt.

Niagara Falls

Niagara Tunnel Facility Project

The water of the Niagara River has been used for generation of electricity in the vicinity of the falls for around 100 years. A tunnel with a length of 10.3 km and an excavated diameter of 14.4 m is currently under construction to increase the water supply and thus generating capacity. This project and its contractual and engineering evolution achieved up to now are examined below.

1 Allgemeines

Seit etwa einem Jahrhundert wird das Wasser des Niagara River zur Stromerzeugung genutzt. Betreiber der Kraftwerke auf der kanadischen Seite des Flusses ist die Ontario Power Generation, kurz OPG.

Anfangs wurde das Wasser über einen offenen Kanal an den Fällen vorbei geführt. In den 1950er Jahren wurden 2 Tunnel im Sprengvortrieb gebaut. In einem bilateralen Abkommen zwischen den USA und Kanada wurde vereinbart, dass beide Staaten insgesamt 6000 m³/sec Wasser aus dem Niagara River entnehmen können.

Während die USA seit jeher ihr Kontingent von 3000 m³/sec ausnutzen, kann Kanada zurzeit nur etwa 1800 m³/sec ableiten. OPG hat deshalb den Bau eines weiteren Tunnels beschlossen, um ca. 500 m³/sec zusätzlich überzuleiten und damit die Kapazität des Kraftwerkes zu erhöhen. Die in der Folge zusätzlich erzeugte Energie von 1.6 TWh/Jahr entspricht dem Strombedarf von 160'000 Haushalten.

Das Kraftwerk wird als Durchlaufkraftwerk betrieben und zur Abdeckung von Lastspitzen durch ein Pumpspeicherwerk ergänzt. Um den Bau zu realisieren, hat der Auftraggeber, die OPG, 2004 eine Interessentensuche zur Realisierung des Niagara Tunnel Facility Projektes durchgeführt. Interessierte Firmen wurden zu einer Präsentation ihrer Erfahrung und Leistungsfähigkeit im Rahmen eines Hearings eingeladen. Sieben Unternehmen bzw. Arbeitsgemeinschaften haben sich daraufhin beworben.

1 General

The water of the Niagara River has been used for power generation for around a century. The operator of the generating plants on the Canadian side of the river is Ontario Power Generation (OPG).

Originally, the water was routed past the falls in an open channel. Two tunnels were then blasted during the 1950s. A bilateral agreement between the USA and Canada permitted the 2 parties to take a total of 6000 m³/sec. of water from the Niagara.

The USA made full use of its allowance of 3000 m³/sec. from the inception, whereas Canada is able at present to divert



1 Projektübersicht
Site map – overview

Les chutes du Niagara

Projet de tunnel sous le Niagara

L'eau de la rivière Niagara est utilisée depuis près de 100 ans dans la zone des chutes pour la production d'électricité. Pour augmenter la capacité hydroélectrique, on y construit actuellement un tunnel d'une longueur de 10,3 km et un diamètre d'excavation de 14,4 m pour le détourner de l'eau supplémentaire. L'article suivant présente le projet ainsi que le déroulement du chantier et du contrat jusqu'à ce jour.

Cascate del Niagara

Progetto tunnel del Niagara

Da circa 100 anni l'acqua del fiume Niagara nella zona delle cascate viene utilizzata per la produzione di energia elettrica. Per aumentare la capacità idroelettrica, si sta costruendo un tunnel lungo 10,3 km, con un diametro di scavo di 14,4 m per un apporto aggiuntivo di acqua. Si illustra, di seguito, il progetto e l'attuale svolgimento della costruzione e del contratto.

Im Dezember 2004 hat OPG 4 Firmen eingeladen, ein technisches und kommerzielles Angebot abzugeben. Von diesen 4 eingeladenen Firmen haben 3 Bieter einen technischen Vorschlag ausgearbeitet und ein Angebot vorgelegt.

2 Projektübersicht

Das Auslaufbauwerk befindet sich in der Nähe der bestehenden Sir Adam Beck Kraftwerksstation und verfügt über mechanische Gates, um den Tunnel zu Wartungszwecken vom gesamten Zufluss-System abzutrennen (Bild 1).

Der Tunnel ist mit einer Länge von 10'143 m und einem inneren Durchmesser von 12.60 bis 12.80 m konzipiert; das bedingt einen Ausbruchdurchmesser von 14.40 m.

Es wird zweischalig ausgebaut: Spritzbeton, Baustahlgitter, Bögen, Anker und eine 60 cm dicke Ortbetoninnenschale.

Um zu verhindern, dass Wasser aus dem Tunnel austritt, wird der gesamte Tunnel mit einer Folie abgedichtet. Es werden weiters 5 Pumpschächte am „low point“ hergestellt, um den Tunnel leer pumpen zu können. Temporär wurde für Lüftungszwecke ein Schacht mit 3 m Durchmesser gebaut, der später wieder verfüllt wird.

Das Einlaufbauwerk wird im Niagara River im Schutze eines Kofferdammes errichtet. Das Verschiessen des Tunnels auf der Einlaufseite erfolgt mittels Dammbalken, die mit einem Autokran eingehoben werden.

2.1 Längenschnitt und Geologie

Der Tunnel ist ein Düker im Längenschnitt vom Auslauf, zuerst mit 8 % Gefälle, dann 0.01 % leicht steigend und am Ende wiederum mit 8 % Steigung bis zum Einlaufbauwerk.

Die Geologie des Tunnels besteht zu 50 % aus verschiedenen Karbonat-, Ton- und Sandsteinformationen sowie zu 50 % aus „Queenston shale“, einer Formation mit quellfähigen Eigenschaften.

only around 1800 m³/sec. For this reason, OPG decided to construct a further tunnel, in order to obtain an additional approximately 500 m³/sec. and thus increase the generating capacity of its power plants. The additional 1.6 TWh/a of energy generated as a result is equivalent to the power requirements of 160,000 households.

The power generating facility takes the form of a through-flow hydropower plant and is augmented by a pumped storage installation to cover peak loads. The client, OPG, conducted enquiries for parties interested in implementing the Niagara Tunnel Facility project in 2004, with the intention of constructing the tunnel. Interested contractors were invited to showcase their experience and capabilities in the context of a hearing. Seven companies and consortia applied.

In December 2004, OPG invited 4 companies to submit their technical and commercial bids. Of these four, three bidders drafted a technical proposal and submitted a bid.

2 Project overview

The outfall structure is located in the vicinity of the existing Sir Adam Beck power station, and features mechanical gates to permit isolation of the tunnel from the overall supply system for maintenance purposes (Figure 1).

The tunnel is designed to have a length of 10,143 m and an internal diameter of 12.60 to 12.80 m, producing an excavated diameter of 14.40 m. It will feature a double-shell lining, consisting of shotcrete, reinforcement steel mesh, arches, rock bolts and a 60 cm thick inner shell of in-situ concrete.

To prevent the escape of water, the entire tunnel is to be sealed by means of a membrane. Five pump shafts are also to be created at the tunnel's "low point", to permit drainage of the tunnel when necessary. A temporary shaft of 3 m diameter has also been constructed for ventilation purposes; this shaft will later be filled in.

The intake structure is being constructed in the Niagara River under the protection of a cofferdam. The tunnel is closed on

Als Besonderheit unterfährt der Tunnel ein altes Flussbett des Niagara River, die St. David's Gorge, daher auch der Längenschnitt in Dükerform. Um den Aufstieg der TBM am Ende des Tunnels nicht durch eventuelle Wassereinträge zu gefährden, wurde vom Einlaufbauwerk ein 300 m langer Injektionsstollen vorgetrieben und Wasserzutritte mittels Injektion abgedichtet.

2.2 Bauzeit

Es war vorgesehen, das gesamte Bauwerk in 52 Monaten zu errichten und in Betrieb zu nehmen.

3 Ausschreibung, Angebot, Vertrag

Die Ausschreibung erfolgte im Dezember 2004 und die Angebotsfrist endete im Mai 2005. Die Ausschreibungsunterlagen enthielten umfangreiche rechtliche und administrative Vorgaben sowie technische Mindestanforderungen des Auftraggebers. Es müssen zum Beispiel mindestens 500 m³/sec Wassermenge durch den Tunnel fließen können; ein festgestelltes Abweichen nach unten ist perialisiert.

Hinsichtlich der Linienführung im Grundriss und im Aufriss war ein Korridor vorgegeben. Darüber hinaus lag ein umfangreicher Geotechnical Baseline Report vor.

Für die Angebotsbearbeitung wurde eine Arbeitsgruppe gebildet; für die bereits in der Angebotsphase erforderliche umfangreiche Planungsarbeit wurde eine Kooperation mit dem Büro ILF in Innsbruck/A eingegangen.

Das Angebot der STRABAG AG umfasste im Wesentlichen das Auffahren des Tunnels mit einer offenen Hartgesteins-Gripper-TBM (Ausbruchdurchmesser 14.40 m), die Sicherung des Gebirges mit Baustahlgitter, Bögen, Anker und Spritzbeton sowie eine „full round“-Abdichtung mittels Kunststoff-Folie, 60 cm Ortbetoninnenring, und eine Vorspannung des Innenbetons zur Aufnahme des Innendruckes von bis zu 14 bar.

Das Angebot wurde in vielen Verhandlungen mit dem Auftraggeber sowie dem Owner's Representative „Hatch Mott McDonald with Hatch Acres“ präzisiert, adaptiert und verändert. Die Auftragsverhandlungen wurden im August 2005 erfolgreich abgeschlossen und die Durchführung dieses Grossprojektes an die STRABAG AG – STRABAG INC. beauftragt. Die Auftragssumme betrug 623.0 Mio. CAD.

4 Derzeitiger Stand der Arbeiten

Das Baufeld wurde am 1. September 2005 übergeben und die Arbeiten für die Baustelleneinrichtung und den Voreinschnitt konnten unverzüglich begonnen werden. Gleichzeitig erfolgten die Arbeitsvorbereitung und die Verhandlungen zur Beschaffung der TBM, Nachlauf der TBM sowie der Förderbänder für die Schutterung. Nach den Verhandlungen

the inlet side by means of stoplogs positioned using a mobile crane.

2.1 Longitudinal section and geology

The tunnel takes the form of a culvert in its longitudinal section from the outlet, firstly with a down-slope of 8 %, followed by a slight rise at 0.01 %, and a steeper rise of 8 % up to the intake structure end.

The tunnel's geology consists 50 % of various carbonate, clay and sandstone formations, and 50 % of "Queenston Shale", a formation possessing expansive properties.

A particular feature of this tunnel is its passage under an old bed of the Niagara River, the St. David's Gorge, explaining the culvert geometry of the longitudinal section. In order to eliminate any hazard to the TBM's upward course at the end of the tunnel due to possible intrushes of water, a 300 m long grouting adit has been driven from the intake structure and potential water influx routes sealed by means of grouting.

2.2 Construction period

Completion and commissioning of the entire works in 52 months was originally envisaged.

3 Tendering, bids and contracts

The invitation-to-tender was published in December, 2004, the deadline for bids terminating in May, 2005. The tendering documentation included extensive legal and administrative stipulations, and the client's minimum technical specifications. The tunnel must, for example, be capable of delivering not less than 500 m³/sec. of water; any shortfall here is subject to a liquidated damages clause.

A project corridor was specified for the plan and elevation views of the routing. An extensive Geotechnical Baseline Report was also provided.

A workgroup was formed for processing of bids; the ILF consultancy, of Innsbruck, Austria, was co-opted for the extensive planning work necessary as early as the bidding phase.

The bid submitted by STRABAG AG essentially comprised the creation of the tunnel using an open hard-rock gripper TBM (excavation diameter 14.40 m), support of the rock using reinforcement-steel mesh, arches, rock bolts and shotcrete, and "full round" sealing by means of a plastic membrane, 60 cm in-situ inner shell ring, and prestressing of the inner concrete system to withstand the internal pressure of up to 14 bar.

This bid was detailed, modified and amended in a long series of negotiations with the client and the owner's representative, "Hatch Mott McDonald with Hatch Acres". The contractual negotiations were successfully concluded in

mit mehreren Anbietern wurde die TBM bei Robbins, der Nachläufer bei ROWA und das Schutterbandsystem bei H+E Logistik bestellt (Bild 2).

4.1 Technische Daten

Die TBM hat einen Durchmesser von 14.40 m und ist mit einem Gewicht von 2000 t zurzeit die grösste Hartgesteins-Gripper-TBM weltweit. Der Bohrkopf ist mit 85 Meisseln (20 Zoll) bestückt. Der Bohrkopf wird mit 15 VFD-Motoren mit jeweils 315 kW angetrieben.

Es werden weiters 5 Nachlaufwagen eingesetzt, die mit 2 Bohrarmen, 3 Spritzbeton-Robotern für die Gebirgssicherung und den sonstigen, notwendigen Geräten für die Infrastruktur bestückt sind.

Das Schutterbandsystem wurde auf eine Leistung von 1600 t/h ausgelegt. Die Versorgung der Vortriebsarbeiten erfolgte mit Radbetrieb.

4.2 Erfahrungen aus der Bauausführung

Ein wesentliches Kriterium bei der Vergabe an die diversen Sub-Lieferanten war die Einhaltung der Liefertermine. Die Vorgabe war, dass am 1. September 2006, das war ein Jahr nach Baufeldübergabe, der Tunnelvortrieb beginnen konnte. Dieser sehr straffe Zeitplan konnte im Wesentlichen eingehalten und der Tunnelvortrieb am 1. September 2006 begonnen werden.

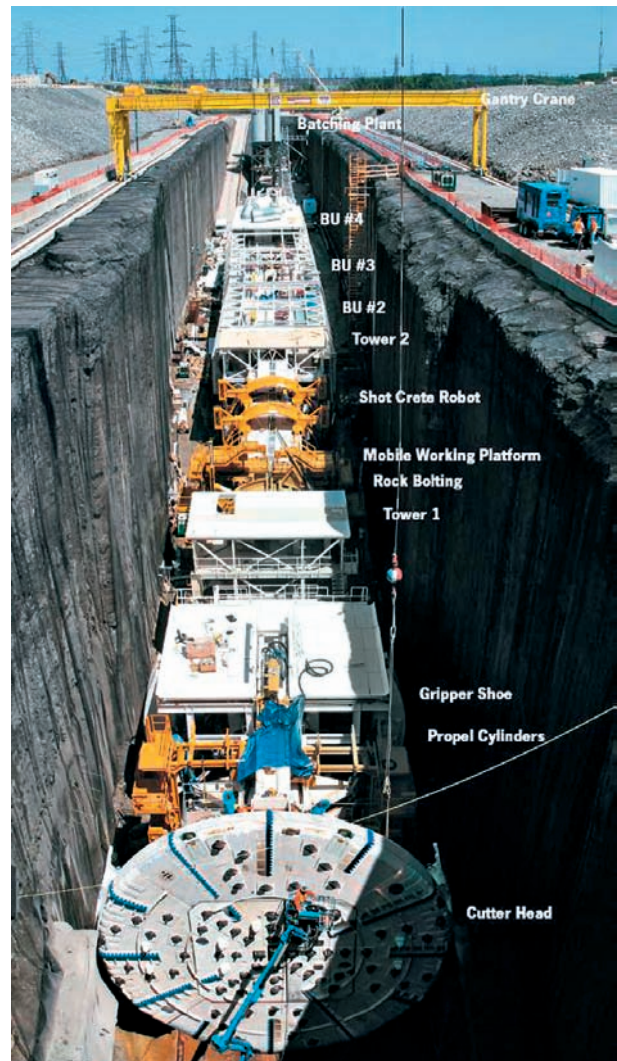
Nach der üblichen Startphase verlief der Vortrieb auf den ersten 800 m recht gut. In Bild 3 ist die Situation im März 2007 zu sehen.

Nach dem Übergang in die geologische Formation „Queenston Shale“ kam es vermehrt zu Nachbrüchen aus der Firste unmittelbar hinter dem Bohrkopf, noch im Bereich des Firstschildes (Bild 4). Vereinzelt handelte es sich um grössere Blöcke, hauptsächlich jedoch um kleinstückige Felsplatten (Bild 5, 6).

Das Überprofil reichte bis zu 4 m über das Regelprofil hinaus. Ein sicherer Vortrieb war nicht mehr gewährleistet und es wurde unter Abwägung mehrerer Möglichkeiten beschlossen, den Vortrieb im Schutze eines Rohrschirmes weiterzuführen (Bild 7).

Es kam zu einer Arbeitsunterbrechung von rund 1 Monat, da die Einrichtungen auf der TBM an die neue Situation angepasst werden mussten, um unmittelbar hinter dem Firstschild einen Rohrschirm bohren zu können. Die Vortriebsgeschwindigkeit reduzierte sich von im Mittel über 10 m/AT vor dem nachbrüchigen Gebirge auf ca. 8 m/AT ohne Rohrschirm. Kriterium für den Rohrschirm war ein Überprofil grösser als 3.0 m.

Diese Situation war nicht erwartet worden und daher – wie immer in so einem Fall – begann die Diskussion mit dem



2 Blick auf die TBM
General overview of the TBM

August, 2005, and the contract for this major project awarded to STRABAG AG – STRABAG INC. Contract value totalled 623.0 million CAD.

4 Current status of the works

The site was handed over to the contractor on September 1, 2005, and work immediately started on site equipping and the pilot cut. Work scheduling and negotiations for obtainment of the TBM, TBM back-up and the belt conveyors for muck removal were conducted simultaneously. Following negotiations with a number of bidders, the TBM was ordered from Robbins, the back-up system from ROWA, and the muck conveyor system from H+E Logistik (Figure 2).

4.1 Technical data

The TBM has a diameter of 14.40 m and is, with its weight of 2000 t, currently the world's largest hard-rock gripper TBM. The cutter head is equipped with 85 cutters (20 inch) and driven by 15 VFD motors, each rated at 315 kW.



3 Vortrieb des Tunnels
Tunnel construction

Auftraggeber, ob das Gebirge den vertraglichen Beschreibungen entspricht oder nicht, und demzufolge „different site conditions“ gegeben wären.

4.3 Werkvertragliche Auswirkungen

Auftragnehmer und Auftraggeber konnten sich nicht einigen und es wurde daraufhin im Mai 2008 das vertraglich vorgesehene DRB – Dispute Review Board – eingeschaltet. Dieses besteht aus 3 Mitgliedern. Das 1. Mitglied wird vom Auftraggeber benannt, das 2. Mitglied vom Auftragnehmer und das 3. Mitglied, welches gleichzeitig als Vorsitzender fungiert, wird einvernehmlich von den beiden ersten Mitgliedern bestimmt.

Nach einem Hearing im Juni 2008 gaben die DRB-Mitglieder im August 2008 ihre nicht bindende Empfehlung ab. Hauptaussage war, dass das aussergewöhnlich grosse Überprofil im Sinne des Vertrages „different site conditions“ darstelle und dass beide Seiten ein gewisses Verschulden treffe; den Auftraggeber einerseits aufgrund der unzutreffenden Beschreibung im Geotechnical Baseline Report und den Auftragnehmer andererseits wegen der daraus gezogenen Schlüsse.



4 Nachbrüche aus der Firse – Station 0+839
Block failure – Station 0+839

Five back-up cars are used, and are equipped with 2 drilling booms, 3 shotcreting robots for rock support, and the other equipment necessary for the tunnelling infrastructure.

The muck belt system was designed for a conveying rate of 1600 t/h. The tunnelling operations are supplied using wheeled vehicles.

4.2 Experience gained during implementation

Adherence to delivery/completion dates was an essential criterion in the award of orders to the various sub-suppliers. It was stipulated that tunnelling must be able to start at the latest on September 1, 2006, i.e. just 1 year after handing over of the site. It proved possible to keep to this extremely rigid schedule, and tunnelling did indeed start on September 1, 2006.

After the usual start-up phase, tunnelling proceeded well for the first 800 m. The situation in March, 2007 is shown in Figure 3.

Following the transition to the “Queenston Shale” formation, roof falls occurred repeatedly immediately behind the cutter head, near the roof shield (Figure 4). These consisted in isolated cases of larger blocks, otherwise predominantly fragmented slabs of rock (Figures 5 and 6).

The excess profile reached up to 4 m above the tunnel profile. Safe tunnelling was no longer assured, and it was decided, after consideration of a number of alternatives, to continue tunnelling with the protection of a pipe arch (Figure 7).

An interruption of around 1 month occurred, since it was necessary to adapt the TBM equipping to the new situation, in order to be able to drill the pipe arch immediately behind the roof shield. Rate of advance fell from an average of more than 10 m/TD prior to the friable formation to around 8 m/TD without a pipe arch. The criterion for the pipe arch was an excess profile of greater than 3.0 m.



5 Überprofil im „Queenston Shale“
Overbreak in “Queenston Shale”



6 Verbruch im „Queenston Shale“
Downfall in “Queenston Shale”

In der Diskussion mit dem Auftraggeber darüber, wie die Aussagen der DRB-Empfehlung umzusetzen wären, wurde beschlossen, den Vertrag abzuändern.

Aus dem „Design and Build Lump Sum“ Vertrag wurde ein „Cost and Fee“ Vertrag mit „Incentives“ und „Disincentives“. Die „Incentives“ und „Disincentives“ beziehen sich auf die Über- oder Unterschreitung eines Vorgabetermins sowie eines vorgegebenen Budgets. Der abgeänderte Vertrag ist seit dem 1. Dezember 2008 in Kraft getreten und funktioniert bis heute sehr gut.

Zur technischen Verbesserung wurde die Nivelette geändert, um nicht weiter im „Queenston Shale“ vortreiben zu müssen. In den über den „Queenston Shale“ liegenden Formationen reduzierte sich das Überprofil über weite Strecken auf Null, was zu sehr guten Vortriebsleistungen führte – die höchste Monatsleistung betrug im August 2010 ganze 472 m (Bild 8). Der Durchschlag erfolgt laut Plan im Frühjahr 2011.

4.4 Innenausbau

Gleichzeitig mit dem Vortrieb wurde mit den Innenausbauarbeiten (Abdichtung und Innenschale, geteilt in Sohle und Gewölbe) begonnen. Bei der Abdichtung wird erstmalig eine Folie eingebaut, die nach der Montage im Tunnel auf Dichtigkeit geprüft werden kann. Speziell für dieses Projekt ist von STRABAG Waterproofing eine einlagige Kunststoffdichtungsbahn entwickelt worden, die eine vollflächige, elektrische Dichtheitsprüfung ermöglicht. Das Verfahren basiert auf der Messung der elektrischen Spannungsfestigkeit des Abdichtungskunststoffs.

This situation had not been anticipated and, as always in these cases, discussion started with the client as to whether the geology conformed to the contractual descriptions or not and, consequently, whether “different site conditions” applied.

4.3 Implications for the contract

The client and the contractor were unable to reach agreement, and the Dispute Review Board (DRB) was, as provided for in the contract, consulted in May, 2008. This board consists of 3 members, the first being appointed by the client, the second by the contractor, and the third, who acts simultaneously as the chairman, being elected by mutual agreement between the first 2 members.

Following a hearing in June, 2008, the members of the DRB submitted their non-binding recommendation in August, 2008. Their main conclusion was that the exceptionally large excess profile did constitute “different site conditions” in the sense of the contract, and that both parties bore a certain amount of blame; the client, on the one hand, due to the inaccurate description contained in the Geotechnical Baseline Report, and the contractor, on the other hand, due to the conclusions drawn from this report.

It was decided during discussions with the client concerning implementation of the DRB recommendation to amend the contract.

The “Design and Build Lump Sum” contract was converted into a “Cost and Fee” contract incorporating “Incentives” and “Disincentives”. The “Incentives” and “Disincentives” relate to late or early achievement of a specified deadline, and to a specified budget. The amended contract has been in force since December 1, 2008, and continues up to now to function extremely well.

As a technical improvement, the gradient was modified, in order to avoid continuing tunnelling in Queenston Shale. In



7 Zustand des Gebirges 2008 mit Rohrschirm
Rock conditions 2008 – with pipe umbrella



8 Zustand des Gebirges im Juli 2009: Whirlpool Sandstone
Rock conditions July, 2009 – Whirlpool Sandstone

Das Abdichtungsprodukt besteht aus 4 unterschiedlichen Funktionsschichten: Signalschicht, elektrisch leitfähige Kunststoffschicht, Dichtschicht und elektrisch leitfähiges Kaschiervlies.

Zur Prüfung der Dichtheit werden die leitfähigen Schichten mit Hochspannung beaufschlagt. Sind in der dazwischen befindlichen Dichtschicht Fehlstellen vorhanden, kommt es an diesen Stellen zum Funkenüberschlag. Dies wird vom Prüfgerät detektiert und angezeigt. Mit einer Thermografiekamera kann die Schadstelle lokalisiert und nachfolgend eine zielgerichtete Reparatur durchgeführt werden (Bild 9). Bis Ende Februar 2011 wurden im Bereich der Sohle 7000 lfm und im Bereich des Gewölbes 1700 lfm eingebaut.

Das Sohlengewölbe wird in 12,5 m Abschnitten auf 1/3 des Umfanges eingebaut. Der Schalwagen ist als Brücke ausgebildet, damit die Versorgung der TBM gewährleistet ist. Es sind 2 Schaleinheiten vorhanden und es wird auf Lücke betoniert (Bild 10).

Der Gewölbebeton wird ebenfalls in 12,5 m langen Abschnitten mit 2 Schaleinheiten hergestellt.



10 Schalwagen als Brücke
Invert formwork bridge structure



9 Abdichtungsarbeiten
Waterproofing works

the formations above the Queenston Shale, the excess profile decreased for large lengths to zero, resulting in extremely good rates of advance – the greatest monthly advance, of a whole 472 m, occurring in August, 2010 (Figure 8). The breakthrough was made on schedule in the spring of 2011.

4.4 Fitting-out

Fitting-out work (sealing and inner shell, subdivided into floor and roof) started simultaneously to tunnelling. A membrane which can be inspected for tightness after installation in the tunnel was, for the first time, installed in the sealing system. A single-layer plastic sealing strip which permits total-area electrical tightness testing was developed specifically for this project by STRABAG Waterproofing. This procedure is based on measurement of the dielectric integrity of the sealing polymer.

The sealing product consists of 4 different functional layers: the signal layer, the electrically conductive plastic layer, the sealing layer and the electrically conductive non-woven backing.

A high voltage is applied to the conductive layers when testing tightness; arcing will occur at any defects in the intervening sealing layer. This is then detected and displayed by the test instrument. The defect can then be located using a thermographic camera, and systematic repair then performed (Figure 9). Some 7000 continuous metres had been installed in the floor zone by the end of February, 2011, and some 1700 continuous metres in the roof.

The inverted-arch floor is being installed in 12,5 m sections for 1/3 of the circumference. The formwork car takes the form of a bridge, in order not to interrupt supply to the TBM. Two formwork units are available, and concreting takes place through the gaps (Figure 10).

The roof concrete is also being installed in 12,5 m long sections, using 2 formwork units.



11 Schalungswagen für Innengewölbe – Juni 2010
Formwork for final lining – June, 2010

Erschwerend ist der Umstand, dass das Schutterband durch die Schalung geführt wird und die Funktionstüchtigkeit und der Betrieb permanent gewährleistet sein muss (Bild 11).

Derzeit sind 1700 lfm Tunnel betoniert. Die Betonarbeiten werden aus heutiger Sicht bis Mitte 2012 abgeschlossen sein.

Nachfolgend zur Herstellung des Innengewölbes erfolgt eine Kontaktinjektion und in einem zweiten Arbeitsgang eine Vorspanninjektion. Diese Arbeiten wurden erst begonnen und dauern ebenfalls bis Mitte 2012.

Ein wichtiges Bauteil ist das Einlaufbauwerk. Bild 12 zeigt die Situation sowie die bereits ausgeführten Arbeiten, d. h. die „acceleration wall“, „approach wall“ und den „cofferdam“. Innerhalb des Cofferdam befindet sich die Baugrube.

Die Arbeiten am Einlaufbauwerk mussten für die Demontage der TBM unterbrochen werden.

5 Ausblick auf die Restbauzeit

Während der Restbauzeit erfolgt die Fertigstellung des Innenausbaus (Sohlbeton, Abdichtung, Innenbeton, Kontakt- und Vorspanninjektion) und des Einlaufbauwerks einschliesslich der Dammbalken sowie die Fertigstellung des Auslaufbauwerks (Betonarbeiten, Dammbalken, Anschluss des Auslaufkanals an das bestehende System).

Der vertragliche Fertigstellungstermin wurde im überarbeiteten Vertrag mit 15. Juni 2013 festgelegt. Derzeit ist STRABAG AG der Vertragsbauzeit voraus. Zum Ziel wurde gesetzt, die Arbeiten so durchzuführen und abzuschliessen, dass der Tunnel im Dezember 2012 in Betrieb gehen kann.



12 Blick auf das Einlaufbauwerk – Juni 2010
Intake overview – June, 2010

A complicating element is the fact that the muck belt is routed through the formwork, and that its availability and operation must remain assured at all times (Figure 11).

Around 1700 continuous metres of tunnel have currently been concreted. Completion of concreting is at present expected by mid-2012.

Creation of the inner roof was followed by contact grouting, and pre-stressing grouting in a second operation. This work has only just started, and will also continue to mid-2012.

The intake structure is also an important element in this project. Figure 12 shows the situation, and the work already completed, i.e. the acceleration wall, approach wall and the cofferdam. The construction trench is located inside the cofferdam.

Work on the intake structure had to be interrupted to permit dismantling of the TBM.

5 Prospects and remaining construction period

Fitting-out (floor concreting, sealing, internal concreting, contact grouting and pre-stress grouting) and the intake structure, including the stoplogs, are to be completed during the remaining construction period, as is the outfall structure (concreting, stoplogs, connection of the outlet channel to the existing system).

The completion date was rescheduled to June 15, 2013 in the revised contract. STRABAG AG is currently ahead of the contractual schedule, and the target of organising and completing the work in such a way that the tunnel can be commissioned in December, 2012 has been set.

*Bruno Röthlisberger, Dipl. Bauing. FH STV, Amberg Engineering AG, Sargans/CH
Johannes Gollegger, Dipl. Bauing., Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Gerd Wieland, Dipl. Bauing., Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH*

Olympische Winterspiele 2014

Verkehrstunnelbauten in Sochi/Russland

Sochi wird Austragungsort der Olympischen Winterspiele 2014 sein. Der vorliegende Beitrag beinhaltet eine Projektübersicht der neuen Verkehrsverbindung zwischen dem Olympischen Dorf am Schwarzen Meer und der Wintersportregion im Kaukasus. Der längste der 6 Tunnelkomplexe, die auf dieser Strecke realisiert werden, ist der Tunnelkomplex T3, der aufgrund seiner Länge und geologischer Unsicherheiten seit Anfang an terminkritisch ist. Es werden einige besondere Herausforderungen aus diesem Abschnitt näher beleuchtet. Die Identifizierung eines Rutschhanges im Portalbereich, die damit verbundenen Risiken und die anschliessende Problemlösung werden beschrieben. Die erforderliche Trassenverschiebung und Probleme beim Vortrieb führten zu Verzögerungen, welche durch besondere Massnahmen kompensiert werden müssen. Im Weiteren wird auf die in Sochi gängigen Vortriebs- und Ausbaumethoden eingegangen und deren Besonderheiten erläutert.

The 2014 Winter Olympics

Transport-infrastructure tunnels in Sochi, Russia

Sochi is the venue for the 2014 Winter Olympic Games. This article includes a project overview of the new transport link between the Olympic Village on the Black Sea coast and the winter-sports region in the Caucasus mountains. The longest of the 6 tunnel complexes to be implemented on this route is Tunnel Complex T3, the completion date of which has been critical from the inception, due to its length and to several geological imponderables. A number of particular challenges in this section are examined here. The identification of an unstable slope near the portal, the concomitant risks, and the subsequent solution of this problem, are analysed. The necessary route adjustment, and tunnelling problems, resulted in delays which must now be made good by means of special provisions. The article concludes with an examination of the tunnelling and support methods customary in Sochi, and their special features.

1 Einleitung

Austragungsort der Olympischen Winterspiele 2014 wird die russische Stadt Sochi sein. Die Region Sochi erstreckt sich über 145 km an der nordöstlichen Küste des Schwarzen Meeres am Fuss des Kaukasus. Die Stadt ist mit ihrem subtropischen Klima einer der beliebtesten Bade- und Kurorte Russlands. In den Gebirgslagen mit deutlich niedrigeren Wintertemperaturen wird ein Grossteil der Olympischen Skiwettkämpfe, u.a. die alpinen Skiwettkämpfe, das Skispringen und die Biathlonwettkämpfe ausgetragen. Nach den Olympischen Winterspielen wird Sochi 2014 auch Gastgeber des Russland Grand Prix der Formel 1 und 2018 Austragungsort der Fussballweltmeisterschaft sein.

In der gesamten Region um Sochi werden im Rahmen der Vorbereitungen für die Olympischen Winterspiele 2014

1 Introduction

The Russian city of Sochi is the venue selected for the Winter Olympics in 2014. The region extends for 145 km along the north-east coast of the Black Sea, at the foot of the Caucasus mountains. Sochi, with its sub-tropical climate, is one of Russia's most popular sea and spa resorts. A major portion of the Olympic skiing events, including the Alpine skiing, ski-jumping and biathlon, are to be held in the mountains above the town, with their significantly lower winter temperatures. When the Winter Olympics close, Sochi is to be the host for the 2014 Russian Formula 1 Grand Prix, and one of the venues for the FIFA World Cup in 2018.

Not only the sports and athletics facilities, hotels, energy infrastructure, etc., but also the road and rail systems are being

Jeux Olympiques d'hiver 2014

Construction de tunnels de communication à Sotchi (Russie)

Sochi sera le lieu des rencontres sportives des Jeux Olympiques d'hiver 2014. Cet article propose un aperçu sur le projet de nouvelle voie de communication entre le village olympique, situé sur les bords de la Mer Noire, et les stations de sports d'hiver, dans le Caucase. Le plus long des 6 ensembles de tunnels qui seront réalisés sur cet itinéraire est le complexe T3. Du fait de sa longueur et des incertitudes géologiques, il constitue depuis le début un point critique en termes de calendrier. Quelques-uns des défis particuliers posés par ce tronçon sont examinés ici de plus près. L'article parle de l'identification d'une pente de glissement dans la zone de tête, décrit les risques inhérents à ce phénomène et la solution finale du problème. Le décalage nécessaire du tracé et des problèmes apparus à l'avancement ont entraîné des retards qui doivent être compensés par des mesures particulières. Par ailleurs, l'article revient sur les méthodes d'avancement et d'aménagement en usage à Sotchi et explique leurs particularités.

Giochi olimpici invernali 2014

Costruzione di gallerie a Sochi/Russia

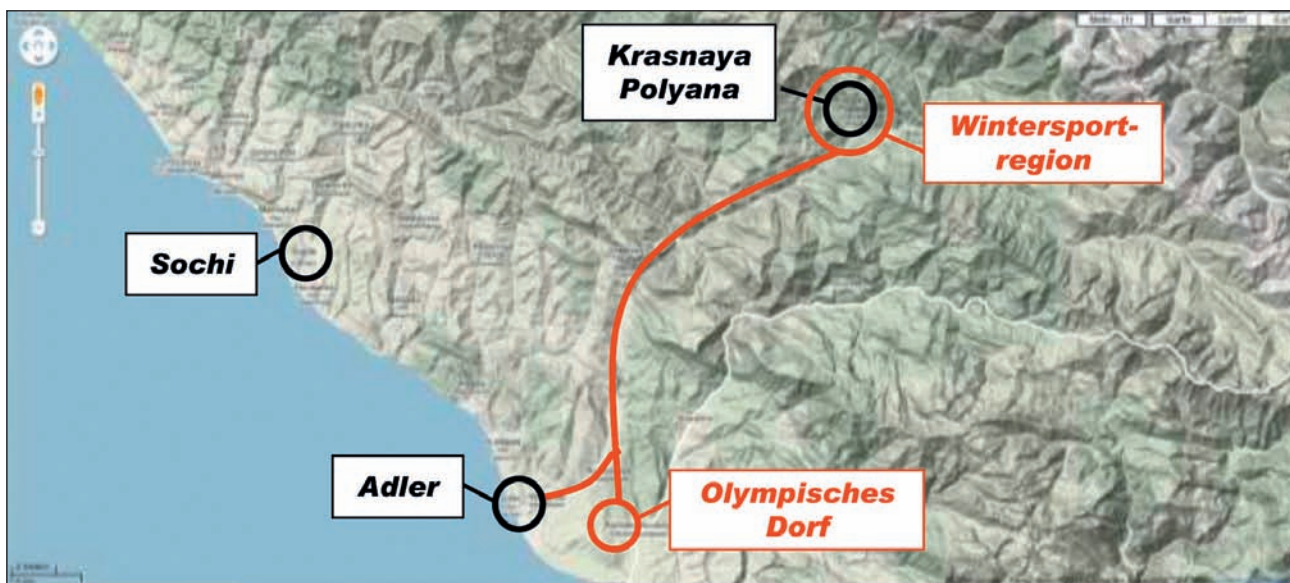
Sochi sarà la città ospite dei giochi olimpici invernali del 2014. Il presente articolo comprende una panoramica del nuovo collegamento tra il villaggio olimpico sul Mar Nero e la regione degli sport invernali nel Caucaso. Il più lungo dei 6 complessi di gallerie che verranno realizzati su questa tratta è il complesso T3, che, a causa della sua lunghezza e delle incertezze geologiche, fin dall'inizio è a rischio di ritardi sul completamento. A questo proposito vengono approfondite alcune sfide particolari. Vengono descritti l'identificazione di una frana nell'area del portale, i rischi connessi e la successiva risoluzione del problema. Lo spostamento della tratta e i problemi nell'avanzamento hanno causato ritardi, che devono essere compensati con provvedimenti particolari. Inoltre si espongono i metodi di avanzamento e costruzione impiegati a Sochi e le loro peculiarità.

neben den Sportstätten, den Hotels, der Energieversorgung usw. auch das Strassen- und Eisenbahnnetz ausgebaut.

Zwischen der Stadt Adler und der ca. 50 km entfernten Wintersportregion Krasnaya Polyana im Kaukasus werden neben rund 37 km Überführungen und Brücken auch mehr als 29 km Tunnel neu gebaut (Bild 1). Die Strecke umfasst insgesamt 6 Tunnelbaukomplexe (Tabelle 1). Mit der

upgraded throughout the region around Sochi, by way of preparation for the 2014 Winter Olympics.

In addition to some 37 km of overpasses and bridges, more than 29 km of new tunnels are under construction between the town of Adler and the Krasnaya Polyana winter-sports region some 50 km distant in the Caucasus mountains (Figure 1). The route includes a total of 6 tunnel complexes



1 Projektübersicht
Project overview

	Eisenbahn-Tunnel Rail tunnels [m]	Strassen-Tunnel Road tunnels [m]	Service-Tunnel Service tunnels [m]	Gesamtlänge Total length [m]
Tunnelkomplex T1 Tunnel Complex T1	2459	2292	2459	7210
Tunnel T2	121	–	–	121
Tunnelkomplex T3 Tunnel Complex T3	4554	3169	3197/2530	13'450
Tunnel T4	449	–	–	449
Tunnelkomplex T5 Tunnel Complex T5	2842	1345	2842	7029
Tunnel T6	407	–	–	407

Table 1 Übersicht der 6 Tunnelkomplexe

Table 1 Overview of the 6 tunnel complexes

neu errichteten Infrastruktur werden möglichst kurze und leistungsfähige Anfahrtswege für die Besucher der Wettkämpfe geschaffen. Beginn der Baumassnahmen war im Juni 2008, die Fertigstellung ist für April 2013 geplant.

Der Bauherr der gesamten Infrastruktur in und um Sochi ist DKRS, eine Tochtergesellschaft der Russischen Staatsbahn (RZhD). Mit dem Bau der neuen Infrastrukturanlagen zwischen Sochi und Krasnaya Polyana sind ausschliesslich russische Unternehmen beschäftigt. Auch Geologen und Designer stammen zum grössten Teil aus russischen Unternehmen.

2 Geologische Verhältnisse

Der grundsätzliche geologische Aufbau der Region wurde durch mehrere Kartierungskampagnen im letzten Jahrhundert ermittelt und in einer geologischen Übersichtskarte 1:200'000 zusammengefasst. Aufgrund des grossen Zeitdruckes der Projektfertigstellung wurden wenig Detailerkundungen durchgeführt. Sondierbohrungen wurden ausschliesslich in Portalbereichen und auch dann nur, wenn speziell ungünstige geologische Verhältnisse erwartet wurden, ausgeführt. So waren die geologisch-geotechnischen Randbedingungen bei Vortriebsstart der einzelnen Tunnel über weite Strecken praktisch unbekannt und die geologische Prognose änderte sich mehrmals.

Das Projektgebiet liegt im südwestlichen Bereich des zentralkaukasischen Gebirges und ist durch ein Mittelgebirge mit steilen Abhängen und Schluchten charakterisiert. Die Trasse liegt im Tal des Flusses Mzymta, des grössten Flusses der Region. Geologisch betrachtet handelt es sich um eine breite Zusammensetzung aus sedimentären und magmatischen Gesteinen, welche grösstenteils während des Miozäns entstanden sind. Es finden sich vorwiegend Kalksteine, Mergel, Porphyre, verschiedene Zusammensetzungen aus Sand-, Ton- und Schluffsteinen sowie tektonisch beanspruchte Störzonen. Die Störzonen bestehen teilweise neben stark zerbrochenen Festgesteinen aus Kakiriten und

(Table 1). This upgraded infrastructure will assure the shortest and most efficient possible access routes for visitors to the games. Work started in June, 2008; completion is scheduled for April, 2013.

The client for the entire infrastructure in and around Sochi is DCRC, a subsidiary of Russian Railways (RZhD). Only Russian enterprises are engaged on the construction of the new infrastructural facilities between Sochi and Krasnaya Polyana. The geologists and designers commissioned are also very largely made up of Russian companies.

2 Geological conditions

The basic geological structure of the region was determined by a number of cartographic campaigns during the last century, and is summarised on a 1:200,000-scale overview map. Only little detailed exploration has been performed, due to the great pressure for completion of the project. Exploratory bore holes have been sunk only in portal zones, and then only in cases in which particularly unfavourable geological conditions were suspected. The geological and geotechnical boundary conditions were therefore practically unknown for large lengths when work started on the individual tunnels, and the geological forecast has repeatedly been revised.

The project territory is located in the south-west of the Central Caucasus range, and is of Mittelgebirge character, with steep faces and chasms. The route is located in the valley of the Mzymta River, the region's largest waterway. The geology consists of a broad selection of sedimentary and magmatic rocks, originating mainly from the Miocene. Primarily limestones, marls, porphyries, various mixtures of sandstones, mudstones and siltstones are encountered, as are fault zones exposed to tectonic pressure. In addition to severely fissured solid rock, these fault zones in some cases also feature cataclastic rock and clayey inclusions. The limestone is occasionally severely karstified; these karstifications drain the range. Not only the fault zones, but also the

Tonfüllungen. Der Kalkstein kann mitunter stark verkarstet sein. Diese Verkarstungen wirken als Drainage des Gebirges. Neben den Störzonen wurden vor allem die Übergänge zwischen den einzelnen Gesteinsformationen als problematisch eingestuft. In stark geklüfteten Zonen wurden Spitzenwasserzuflüsse von bis 800 l/s prognostiziert. Tatsächlich traten bisher Wasserzutritte von nur wenigen l/s auf.

Die Gebirgsklassifizierung erfolgt in Russland üblicherweise mit dem Protodyakonov Strength Index (PSI) nach Prof. Protodyakonov. Dabei wird aus einer vorgegebenen Höhe ein Zylinder mit definiertem Gewicht auf Gesteinsteile bestimmter Grösse fallen gelassen und danach der Zerstörungsgrad der Gesteinsteile ermittelt. Die Charakterisierung des Gebirges erfolgt je nach Härte in einer Skala von < 0.9 (wenig festes Lockermaterial) bis > 19 (sehr hartes Festgestein). Als Näherung kann zwischen PSI und UCS (Uniaxial Compressive Strength) ein Verhältnis von 1:10 angenommen werden.

3 Der Auftrag

Amberg Engineering AG (AE) ist in Sochi als Bauherrenberater für die Russische Staatsbahn in tunnelbautechnischen Fragen tätig. Der Beratungsauftrag beschränkt sich zum Grossteil auf die technisch anspruchsvolleren Tunnelkomplexe T1, T3 und T5. Hierbei wiederum wird das Augenmerk primär auf den Tunnelkomplex T3 gelegt, welcher der längste der 6 Tunnelkomplexe ist, die schwierigsten geologischen Verhältnisse aufweist und sich deshalb auf dem zeitkritischen Weg befindet.

Ein Teil des Beratungsauftrags ist ein baubegleitendes Risikomanagement. Die grössten Risiken ergaben sich in Kombination mit der Bauzeit. Es bestand das Risiko einer nicht zeitgerechten Fertigstellung der Tunnel. Damit würde die gesamte Infrastruktur nicht rechtzeitig zu den Olympischen Spielen 2014 fertig werden. Verschiedene Massnahmen zur Risikominimierung wurden ausgearbeitet und dem Bauherrn zur Umsetzung vorgeschlagen. Die laufende Evaluierung der Risiken und deren Entwicklung durch die Berücksichtigung der aus den Vortrieben gewonnenen Erkenntnisse werden mehrmals jährlich dem Bauherrn sowie dem IOC (International Olympic Committee) präsentiert.

Darüber hinaus wurden von AE mehrere spezielle Expertisen zu verschiedenen Themen wie TBM-Vergleiche, Optimierung der Vortriebe, technische Reviews usw. erarbeitet. Für die Beurteilung und Erarbeitung von Lösungen im Zusammenhang mit dem Rutschhang im Portalbereich des Tunnelkomplexes 3 wurde vom Bauherrn eine Task Force unter Beteiligung von AE und weiteren internationalen Experten (B. Falconnat, H.J. Ziegler, F. Amberg und B. Röthlisberger) bestellt. Zusätzlich wurde ein Tunnelexperte vor Ort gestellt. Dieser informiert den Bauherrn täglich über die Vorkommnisse auf den Baustellen, erarbeitet Problemlösungen und optimiert Vorgänge.

transitions between the individual geological formations, in particular, are considered problematical. Peak water influxes of up to 800 l/s have been forecast in severely fissured zones; up to now, only water inflows of a few l/s have actually been encountered.

Rock-mechanical classification in Russia is normally performed using Prof. Protodyakonov's Strength Index (PSI). Here, a cylinder of defined weight is dropped from a specified height on to rock samples of a specified size, and the degree of disintegration of the rock quantified. Characterisation of the rock is, depending on hardness, on a scale from < 0.9 (lower strength non-cohesive material) up to > 19 (extremely hard solid rock). A ratio of 1:10 can be assumed between PSI and UCS (Uniaxial Compressive Strength) by way of approximation.

3 The assignment

Amberg Engineering AG (AE) is deployed in Sochi as Russian Railways' consultant and advisor on tunnel-engineering matters. The consulting brief is largely restricted to the technically demanding Tunnel Complexes T1, T3 and T5. Prime attention here again focuses on Tunnel Complex T3, the longest of the 6 complexes, with the most difficult geological conditions and therefore located on the critical completion-time path.

The assignment includes project-supporting risk management. The greatest risks are associated with the completion time; there was a risk of late completion of the tunnels. This would mean that the entire infrastructure would not be ready in time for the 2014 Winter Olympics. Various provisions for minimisation of risk were drafted and proposed to the client for implementation. Ongoing evaluation of the risks and their trends, on the basis of the perceptions gained from tunnelling operations, are presented to the client and to the International Olympic Committee (IOC) several times each year.

AE has, in addition, also drafted several special appraisals on a number of topics, including comparative evaluations of various TBMs, optimisation of tunnelling operations, technical reviews, etc. The client appointed a task force, consisting of AE and other international experts (B. Falconnat, H.J. Ziegler, F. Amberg and B. Röthlisberger) for the assessment of and finding of solutions for the unstable slope at the portal of Tunnel Complex 3. A tunnel expert has also been deployed to the site, and reports to the client on occurrences on the site on a daily basis, also proposing solutions to problems, and optimising procedures.

The necessary activities in Sochi have extended to wide-ranging areas over the past 2 years. Three particular challenges presented by Tunnel Complex 3 are examined in more detail below.

Die Tätigkeiten erstreckten sich in den letzten 2 Jahren auf umfangreiche Gebiete in Sochi. Im Folgenden werden 3 besondere Herausforderungen des Tunnelkomplexes 3 näher beschrieben.

4 Besondere Herausforderungen am Tunnelkomplex 3

4.1 Rutschhang im Bereich des Nordportals

Der Projekteinstieg erfolgte in einem fortgeschrittenen Projektstadium, in dem die Trassenführung der Eisenbahn und der Autobahn bereits fixiert war. Anfang 2009 liefen beim Tunnelkomplex 3 bereits die Vorbereitungsarbeiten für die Einschnitte im Bereich des Südportals. Im Rahmen einer Begehung des Projektgebietes wurde von AE im Bereich des Nordportals ein möglicher Rutschhang identifiziert. Im Hang waren morphologisch mehrere Gleitschollen erkennbar. Bäume mit Säbelwuchs sowie mehrere Abrissstellen im Gelände deuteten auf Bewegungen des Hanges hin (Bild 2). Obwohl es kein Monitoring gab, musste von einem aktiven Rutschhang ausgegangen werden. Gemäss Projekt lagen die Portale mitten im Rutschhang. Daher wurde diese Situation im Rahmen des Risikomanagements mit einem entsprechend hohen Risiko bewertet. Zudem hätte ein Schaden an der Tunnelanlage direkte Auswirkungen auf die Fertigstellung einer Hauptinfrastrukturanlage der Olympischen Spiele 2014. Die Grösse dieses Risikos wurde dem Bauherrn im Rahmen des Risikomanagements erläutert. Aufgrund der brisanten Lage entschloss sich der Bauherr, die unter Abschnitt 3 erwähnte Task Force ins Leben zu rufen. Im Bereich des Rutschhanges wurden vertiefte geologische und hydrogeologische Erkundungen durchgeführt, damit ein detailliertes Baugrundmodell angefertigt werden konnte. Bei den Erkundungsbohrungen wurde ein komplexes System aus verschiedenen Gleitflächen und mehreren Grundwasser-

4 The special challenges of Tunnel Complex 3

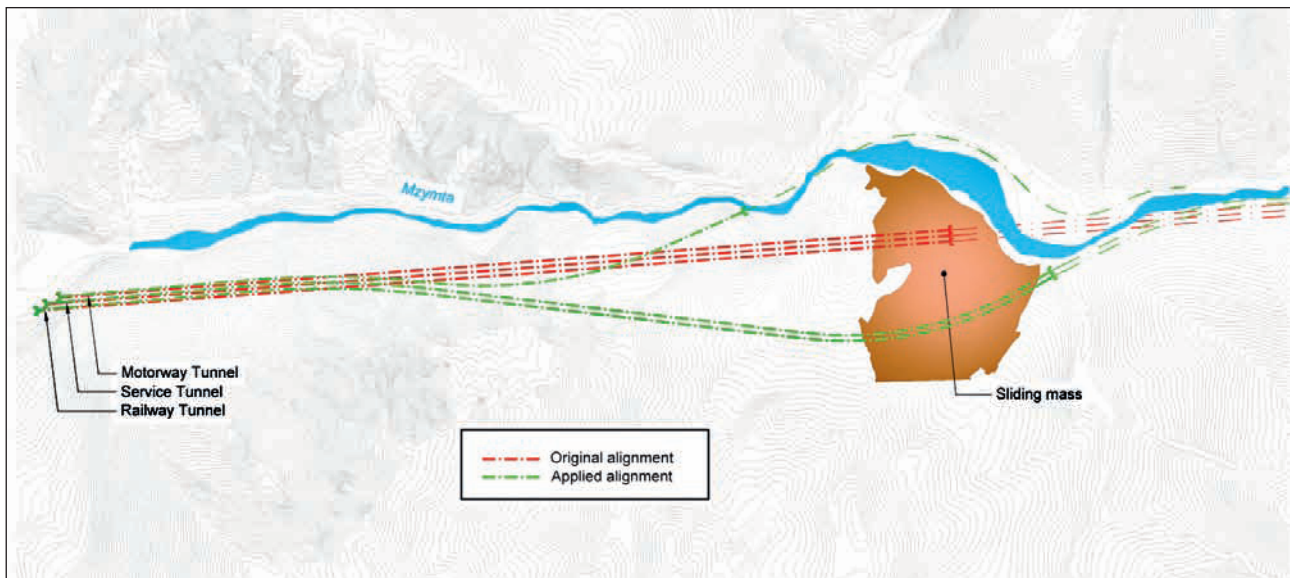
4.1 Unstable slope at the north portal

The team joined the project at an already advanced stage, when the routes of the railway and the motorway had already been finalised. Preparatory work on the pilot cuts at the south portal had already started in early 2009. AE identified a potentially unstable slope near the north portal during a visit to the project site. Morphologically, several slip wedges were apparent on this slope. Trees with bowed trunks, and a number of fissures in the terrain, were indicative of movement of the slope (Figure 2). It was necessary, despite the absence of any monitoring, to assume an active slip-endangered slope. The original project planning positioned the portals in the central area of this slope; the risk management therefore assigned a correspondingly high risk rating to this situation. In addition, damage to the tunnel system would have had direct implications for the completion of one of the main infrastructural features for the 2014 Winter Olympics. The magnitude of this risk was explained to the client in the context of risk management. This critical situation led to the client creating the task force mentioned in Section 3 above. More extensive geological and hydrogeological surveys were performed on and around this slope, in order to permit the making of a detailed site-ground model. Exploratory bore holes disclosed a complex system of diverse slip planes and multiple groundwater tables. The unstable slope has an estimated volume of some 5 million m³ and consists of large boulders embedded in a matrix of marl and clay.

The designers were instructed to revise their planning, taking account of these discoveries. In early 2010, they submitted a concept which included stabilisation of this slope. Several rows of slurry walls, to be anchored in the stable substrate, were planned for stabilisation of slope movements



2 Bäume mit Säbelwuchs (links) und ursprünglich geplanter Portalbereich (rechts)
Trees with bowed trunks (left) and the portal zone as originally planned (right)



3 Darstellung des Trassenverlaufes vor und nach der Umplanung
The route prior to and after revision

spiegeln angetroffen. Es handelt sich um einen Rutschhang mit einem geschätzten Volumen von 5 Mio. m³. Der Hang besteht aus grossen Blöcken, die in einer Mergel-Ton-Matrix eingebettet sind.

Die Designer wurden beauftragt, ihre Planung unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse zu überarbeiten. Sie legten Anfang 2010 ein Konzept vor, das eine Stabilisierung des Rutschhanges vorsah. Zur Stabilisierung der Hangbewegungen um den Portalbereich wurden mehrere Reihen von Schlitzwänden geplant, die im stabilen Untergrund gegründet werden sollten. Zur Hangentwässerung waren ein Drainagetunnel unter dem Rutschhang sowie mehrere Entwässerungsbrunnen vorgesehen, die den Hang von den treibenden Strömungskraften entlasten sollten.

Das vorliegende Konzept wurde von der Task Force geprüft und bewertet. Die Wirkung des Drainagekonzeptes wurde wegen der geringen Durchlässigkeiten des bindigen Hangmaterials infrage gestellt. Zudem schien es äusserst fragwürdig, ob die geplanten Schlitzwände den Rutschhang von rd. 5 Mio. m³ ins Gleichgewicht bringen könnten. Es lagen auch keine Ergebnisse von geotechnischen Messungen vor, die eine genauere Beurteilung der Situation zugelassen hätten. Es war nach wie vor nicht bekannt, welche Teile des Rutschhanges in Bewegung waren oder wie tief und mit welcher Geschwindigkeit sich der Hang bewegte. Aufgrund der oben genannten Fakten wurde das Risiko des vom Designer vorgelegten Konzeptes, speziell im Hinblick auf die Betriebssicherheit der Infrastrukturanlage während der Olympischen Spiele, als hoch eingestuft. Um das Risiko zu minimieren, wurde von der Task Force eine Umtrassierung empfohlen und eine Umfahrung des Rutschhanges vorgeschlagen. Der Bauherr schloss sich der Meinung der Task Force an. Die neue Trassenfindung sowie die Überarbeitung

around the portals. A drainage tunnel below the slope, and a number of wells, which were intended to relieve the slope of destabilising flow forces, were planned for drainage of this slope.

This concept was examined and evaluated by the task force. The effectiveness of the drainage concept was found to be questionable, due to the poor permeability of the densely cohesive slope soil. It also appeared extremely doubtful whether the planned slurry walls would be able to stabilise a slope of around 5 million m³. No geotechnical data which would have permitted more accurate assessment of the situation were available; it was still not known what parts of the slope were moving, and to what depth and at what speed. In view of these circumstances, the risk involved in the concept submitted by the designer, particularly with respect to the operational safety and reliability of this infrastructural system during the games, was classified as "high". A diversion of the route, avoiding the slip-endangered slope, was proposed by the task force, in order to minimise the risk; the client accepted the opinion of the task force. It was necessary to define the new route and revise the existing planning within only a few weeks, since tunnelling operations had, in some cases, already started at the south portal. This was achieved only thanks to close co-operation between the designer, the contractor and the task force. A number of variants were drafted, analysed and assessed, the main assessment criterion for these variants being completion time, since the project was already well behind schedule.

In the variant ultimately implemented, this unstable slope is avoided by the road tunnel on the downhill side, and by the service and rail tunnels on the uphill side (Figure 3). The road tunnel will be 860 m shorter, and the rail tunnel 490 m longer, than originally planned, as a result. The re-planned



4 Nordportalbereich Eisenbahn- und Servicetunnel inklusive Risikobeurteilung
The north portal zone of the rail and service tunnels, including risk assessment

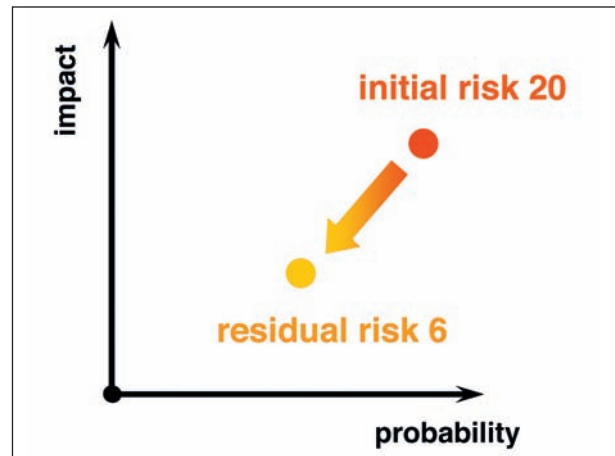
der bestehenden Planung mussten innerhalb weniger Wochen abgewickelt werden, da die Vortriebe beim Südportal z.T. schon begonnen hatten. Dies war nur durch eine enge Zusammenarbeit des Designers mit der Unternehmung und der Task Force möglich. Es wurden mehrere Varianten erarbeitet, analysiert und beurteilt. Das Hauptkriterium für die Bewertung der verschiedenen Varianten war die Bauzeit, da der Baufortschritt bereits einen erheblichen Rückstand zum geplanten Bauzeitplan aufwies.

Bei der schlussendlich umgesetzten Variante wird der Rutschhang mit dem Strassentunnel talseits und mit dem Service- und dem Eisenbahntunnel bergseits umfahren (Bild 3). Das bedeutet, der Strassentunnel wird um 860 m kürzer und der Eisenbahntunnel wird um 490 m länger als ursprünglich vorgesehen. Das neu geplante Portal des Autobahntunnels befindet sich in einem unzugänglichen Tal inmitten einer senkrechten Felswand und muss daher durch eine Schrägseilbrücke erschlossen werden. Das neue geplante Portal des Eisenbahntunnels inkl. Servicetunnel tritt leicht nördlich des Rutschhanges aus dem Berg. Durch die getroffenen Massnahmen konnte das Ursprungsrisiko deutlich gesenkt werden (Bild 4).

4.2 Vortriebsmethoden

4.2.1 Konventioneller Vortrieb

Beim konventionellen Tunnelvortrieb nach russischer Methode erfolgt der Ausbruch je nach Gebirgsfestigkeit mit Roadheader, Bagger oder durch Sprengen, wobei nach Möglichkeit ein Roadheader eingesetzt wird. Nach dem Ausbruch wird ein I-Profil gestellt und der Raum zwischen dem letzten Bogen und dem neu gestellten mittels Holzbrettern oder Schaltafeln zugeschalt. Die Aussteifung der Schaltafeln erfolgt durch Auskeilen an Stahl- oder Holzprofilen, welche in die an die Tunnelbögen angeschweissten Halterungen eingelegt werden (Bild 5). Über Betonieröffnungen wird der Hohlraum zwischen den beiden Bögen mit Ortbeton verfüllt. Je nach Erfordernis kann über eine Firstöffnung nachinjiziert werden. Für jeden geologisch-geotechnischen Abschnitt



portal of the motorway tunnel is located in an inaccessible valley at the centre of a vertical rock face and can therefore be accessed only by means of an inclined rope bridge. The revised portal of the rail tunnel, including the service tunnel, emerges from the rock slightly to the north of the unstable slope. The action taken reduced the original risk significantly (Figure 4).

4.2 Tunnelling methods

4.2.1 Conventional tunnelling

In the conventional Russian tunnelling method, excavation is performed using road-headers, excavators or by means of blasting, depending on rock strength, road-headers being preferred wherever possible. After excavation, an I-beam is positioned, and the space between the last arch and that newly positioned is shuttered by means of wooden boards or formwork panels. The formwork panels are braced by means of wedging against steel or wooden sections, which are inserted into the mountings welded to the tunnel arches (Figure 5). The cavity between the arches is filled with in-situ concrete via concreting windows. Re-injection is also possible via an opening in the roof, if necessary. Only one type of rock-fall protection, which is not modified on site, is generally provided on this project for all geological and geotechnical sectors.

The rock-fall protection installed achieves a relatively high support resistance. This procedure offers very little flexibility for optimisation of the rock-fall protection systems to meet the changing conditions encountered, however. Installation of this manual type is, in addition, extremely time-consuming.

The procedure for selection of rock-fall protection systems for conventional tunnelling customary in Switzerland, inter alia, was recommended to the client and the contractor in order to accelerate tunnelling and make good the delays vis-à-vis the completion schedule. Here, a number of rock-fall protection variants are proposed for the various hazard



5 Ausbruchsicherung nach Russischer Methode und Detail mit Ortbeton und ausgesteifter Schalung (rechts)
The Russian method of rock-fall protection, showing a detail of in-situ concreting and braced formwork (right)

ist im Projekt meist nur ein Ausbruchsicherungstyp vorgesehen, welcher auf der Baustelle nicht mehr verändert wird.

Mit der eingebauten Ausbruchsicherung wird ein relativ grosser Ausbauwiderstand erreicht. Allerdings ist diese Vorgehensweise sehr unflexibel im Hinblick auf die Optimierung der Ausbruchsicherungsmittel in Abhängigkeit von den angetroffenen Verhältnissen. Zudem ist der Einbau in dieser manuellen Ausführungsart extrem langsam.

Um den Vortrieb zu beschleunigen und die Rückstände zum Bauprogramm aufzuholen, wurde dem Bauherrn sowie dem Unternehmer die u. a. in der Schweiz gebräuchliche Vorgehensweise zur Festlegung der Ausbruchsicherungsmittel für den konventionellen Vortrieb empfohlen. Diese beinhaltet, dass mehrere Ausbruchsicherungstypen für die verschiedenen Gefährdungsbilder entworfen werden. Auf der Baustelle werden sie in Abhängigkeit von den angetroffenen Verhältnissen eingebaut. Durch Umstellung der Ausbruchsicherungsmittel auf Spritzbeton, Bewehrungsnetze und Anker könnte eine weitere Beschleunigung erreicht werden. Auch die im Projekt vorgesehene Methode zum Lösen des Gebirges kann auf der Baustelle nicht ohne Weiteres geändert werden. Für eine Umstellung der Vortriebsmethode, beispielsweise beim Vortrieb mit Teilschnittmaschine auf Sprengvortrieb bei hartem, kompaktem Fels, muss das Projekt angepasst und genehmigt werden. Somit ist es sehr schwierig, den Vortrieb auf Baustellenebene bei guten geologischen Verhältnissen zu optimieren und damit zu beschleunigen. Eine Verifizierung des Systemverhaltens mittels geotechnischer Messungen wird trotz massiver Einwände unsererseits nach wie vor nicht angewendet.

Schlussendlich gelang es, in Bereichen mit kompaktem Festgestein, beispielsweise beim Nordportal des Autobahntunnels, einen reduzierten Ausbau in unterschiedlicher Zusammensetzung aus Spritzbeton, Ankern, Bewehrungsnetzen und Gitterträgern umzusetzen.

combinations. These are then installed on site to match the conditions actually encountered. Conversion of the rock-fall protection systems to shotcrete, reinforcement mesh and rock-bolts achieved a further acceleration. It is also not possible without further consideration to modify on site the method envisaged in the project for excavation of the rock. It would be necessary to modify the project, and obtain approval, to permit a change in the tunnelling method used, from boom-type roadway headers, for example, to drilling and blasting in hard compact rock. It is therefore extremely difficult at site level to optimise – and thus accelerate – tunnelling in good geological conditions. Despite massive protests on our part, there continues to be no verification of system performance by means of geotechnical measurements.

It ultimately proved possible in sectors with compact solid rock, at the north portal of the motorway tunnel, for example, to implement a rationalised support system consisting of various combinations of shotcrete, rock bolts, reinforcement mesh and truss beams.

4.2.2 Mechanised tunnelling

Five TBMs are deployed for Tunnel Complex 3 and are summarised in [Table 2](#).

AE drafted various concepts for minimisation of risk. The examples below provide an overview of the studies prepared.

The TBMs and their configurations had been selected prior to the start of the assignment. It was necessary, within the tight time window, to make decisions concerning selection of the TBMs, despite the fact that the geological conditions were not adequately known. The pilot cut was created by means of jet-grouting and drilled piles before the Herrenknecht TBM (13.26 m cutter head diameter) started tunnelling from the south portal of the motorway tunnel. There was an elevated risk of collapse if TBM tunnelling had been started immediately, since the portal is located in the scree. In order to minimise risk, corresponding provisions were elaborated

Tunnel/Portal	Durchmesser Diameter [m]	Typ Type
Service/Süd Service/South	6.18	Doppel-Schild Double shield
Service/Nord Service/North	6.57	Einfach-Schild, Bohrkopf für offenen und geschlossenen Modus Single shield, cutter head for open and closed mode
Eisenbahn/Süd Rail/South	10.26	Doppel-Schild Double shield
Eisenbahn/Nord Rail/North	10.20	Einfach-Schild, Bohrkopf für offenen und geschlossenen Modus Single shield, cutter head for open and closed mode
Strasse/Süd Road/South	13.26	Einfach-Schild Single shield

Table 2 Übersicht der TBM beim Tunnelkomplex 3

Table 2 Overview of TBMs working on Tunnel Complex 3

4.2.2 Maschineller Vortrieb

Beim Tunnelkomplex 3 kommen 5 TBM zum Einsatz, welche in [Tabelle 2](#) zusammengefasst sind.

Unter dem Aspekt der Risikominimierung wurden von AE verschiedene Konzepte ausgearbeitet. Die nachfolgenden Beispiele zeigen einen Überblick über die ausgearbeiteten Expertisen.

Die Auswahl der TBM und deren Konfigurationen geschah bereits vor Beginn des Auftrags. Im Zuge des engen Zeitfensters mussten Entscheidungen bei der Wahl der TBM getroffen werden, obwohl die geologischen Verhältnisse nicht hinreichend genau bekannt waren. Vor dem Start der Herrenknecht TBM (13.26 m Bohrkopfdurchmesser) vom Südportal des Autobahntunnels wurde der Voreinschnitt mittels Jet Grouting und Bohrpfählen hergestellt. Da sich das Portal im Hangschutt befindet, bestand ein erhöhtes Risiko für einen Verbruch, wenn der Vortrieb sofort mit der TBM aufgenommen worden wäre. Zur Risikominimierung wurden entsprechende Massnahmen ausgearbeitet und ein konventioneller Vortrieb im Schutz eines Rohrschirmes

and conventional tunnelling under the protection of a pipe arch until solid rock could be reached was recommended. For completion-time reasons, only the roof zone was driven, and the bench then excavated using the TBM ([Figure 6](#)). This entailed the risk that the cutter head (weight 1400 t including internals) might “dip” during driving of the bench in the scree material. More detailed investigations indicated that the risk of dipping was extremely slight, given adherence to certain control conditions for the TBM. This proved to be correct, and the TBM was able to excavate the bench successfully and continue on to normal tunnelling.

Immediately upon departure from the final pipe arch length, the face lost stability, and collapsed back to the pipe arch. A 3.5 m high collapse occurred above the TBM, trapping the cutter head, which had to be freed manually. The resultant cavity was filled with foam and stabilised. The situation was investigated, and it was concluded that it would be necessary to assume an unstable face and further collapses until the geological conditions improved. Various tunnelling aids possible from the TBM and from the surface, and intended to contribute to stabilisation of the face, were examined.

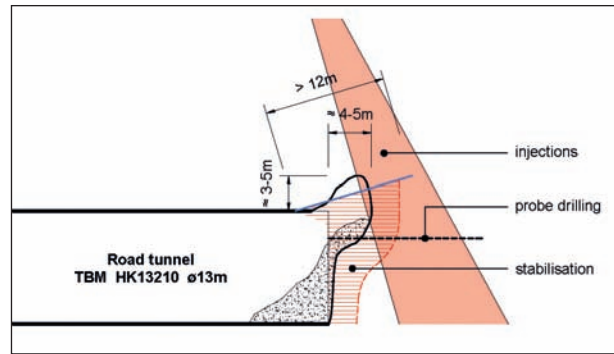


6 Portalbereich vor dem TBM-Start (links) und mit TBM-Bohrkopf (rechts)
The portal zone prior to the TBM start (left) and with the TBM cutter head (right)

bis zum Festgestein empfohlen. Aus bauzeitlichen Gründen wurde nur die Kalotte aufgeföhren und die Strosse mit der TBM ausgebrochen (Bild 6). Daraus ergab sich das Risiko, dass der Bohrkopf (inkl. Einbauten 1400 t) beim Aufföhren der Strosse im Hangschuttmaterial abtauchen könnte. Vertiefende Untersuchungen ergaben, dass unter Berücksichtigung gewisser Steuerungsbedingungen der TBM das Risiko des Abtauchens sehr gering war. Dies hat sich bestätigt und die TBM konnte erfolgreich die Strosse ausbrechen und den Regelvortrieb aufnehmen.

Unmittelbar nach Verlassen der letzten Rohrschirmetappe war die Ortsbrust nicht länger stabil und brach bis zum Rohrschirm nach. Es kam zu einem 3.5 m hohen Verbruch über dem Bohrkopf. Der Bohrkopf wurde verklemmt und musste händisch befreit werden. Der entstandene Hohlraum wurde mit Schaum verfüllt und stabilisiert. Die Situation wurde untersucht und es musste davon ausgegangen werden, dass mit einer instabilen Ortsbrust sowie mit weiteren Verbrüchen zu rechnen war, bis sich die geologischen Verhältnisse verbesserten. Es wurden verschiedene Bauhilfsmassnahmen untersucht, welche von der TBM und von der Oberfläche aus möglich waren und zur Stabilisierung der Ortsbrust beitragen sollten. Von der TBM wurden etappenweise injizierte Rohrschirme mit einer Länge von 12 m eingebaut sowie 4 bis 5 m lange Ortsbrustinjektionen mit Schaum und Zement ausgeführt. Zudem wurden von der Oberfläche aus sowohl oberhalb des Bohrkopfes als auch vor dem Bohrkopf Jet Grouting Kampagnen durchgeführt (Bild 7).

Trotz dieser Bauhilfsmassnahmen konnte die Ortsbrust nicht ausreichend stabilisiert werden. Erkundungsbohrungen von der TBM aus zeigten, dass sich der geklüftete Bereich weiter nach Norden erstreckt. Aus diesem Grund wurde im erkundeten geklüfteten Bereich ein Gegenvortrieb von einem



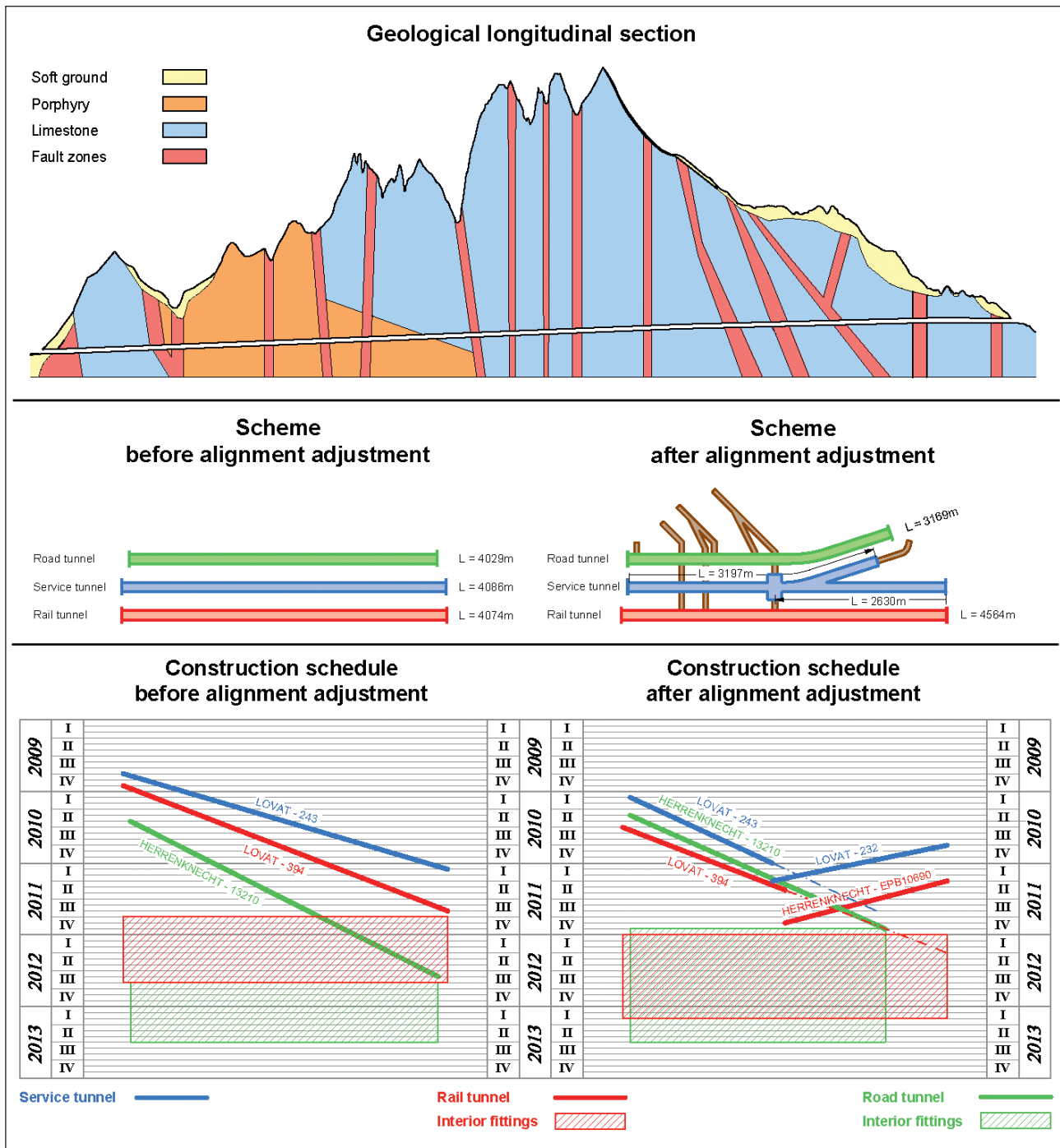
7 Verbruch Straßentunnel mit den entsprechenden Massnahmen
Road tunnel collapse, showing the corresponding provisions

Grouted pipe arches of a length of 12 m were installed length-by-length from the TBM, and face injection-grouting using foam and cement performed to lengths of 4 to 5 m. In addition, jet-grouting campaigns were implemented from the surface both above and in front of the cutter head (Figure 7).

It proved not to be possible, despite these provisions, to stabilise the face adequately. Exploratory bore holes from the TBM indicated that the fissured zone continued further to the north. For this reason, counter-tunnelling was performed from a side access tunnel in the fissured zone explored, in order to free and protect the cutter head in the roof zone (Figure 8). More powerful motors were also fitted to the TBM, and a portion of the openings in the cutter head closed. Since tunnelling operations here were well behind schedule, the roof zone was conventionally driven from side access adits in the forecast faulted zones, in order to assure the completion date. These adits were approached by means of a road specially laid in this inaccessible terrain.



8 Verbruchmaterial in den Diskenkästen (links) und der freigelegte Bohrkopf (rechts)
Collapsed rock in the cutter boxes (left) and the freed cutter head (right)



9 Geologischer Längenschnitt (oben), Schemaplan der Trasse (Mitte) und generelles Bauprogramm (unten)
 Longitudinal geological section (top), diagram of the route (centre) and general construction schedule (bottom)

seitlichen Zugangsstollen ausgeführt, um den Bohrkopf in der Kalotte freizulegen und zu sichern (Bild 8). Zudem wurde die TBM mit stärkeren Motoren ausgerüstet und die Öffnungen im Bohrkopf z.T. geschlossen. Da dieser Vortrieb eine beträchtliche Verspätung zum Bauzeitprogramm aufwies, wurde zur Terminsicherung in den Bereichen der prognostizierten Störungen die Kalotte konventionell von seitlichen Zugangsstollen aus aufgeföhren. Diese Zugangsstollen wurden durch eine eigens angelegte Strasse im unzugänglichen Gelände erschlossen.

4.3 The construction schedule

Tunnel Complex T3, due to its length of around 4 km (in the original variant) and the geological imponderables, was from the inception the most time-critical complex. The unstable slope at the north portal, and the new planning thus necessary, additionally exacerbated the problem. The new routing lengthened the railway tunnel to some 4.5 km, shortening the road tunnel to approximately 3.2 km.

4.3 Bauzeitplanung

Der Tunnelkomplex T3 war aufgrund seiner Länge von rund 4 km in der Ursprungsvariante und der geologischen Unsicherheiten wegen von Projektbeginn an am zeitkritischsten. Durch den Rutschhang im Bereich des Nordportals und der damit verbundenen notwendigen Umplanung wurde das Problem zusätzlich verschärft. Durch die Trassenverlegung vergrösserte sich die Länge des Eisenbahntunnels auf rund 4.5 km, während sich der Straßentunnel auf rund 3.2 km verkürzte.

Gemäss der ursprünglichen Planung sollte der Eisenbahntunnel im 3. Quartal 2011 und der Autobahntunnel im 3. Quartal 2012 fertig ausgebrochen sein. Aufgrund der neuen Trasse verschoben sich diese Termine auf Ende Dezember 2011 für den Autobahntunnel und Ende März 2012 für den Eisenbahntunnel (Bild 9). Ein planmässiges Vortriebsende im März 2012 stellt ein hohes Risiko für eine nicht termingerechte Fertigstellung des Tunnels und somit der gesamten Eisenbahnstrecke dar. Neben verschiedenen risikomindernden Massnahmen wie der Erstellung von Zugangsstollen zur geologischen Erkundung in Abschnitten mit vermuteten Störzonen und Injektionen in Bereichen von Störzonen aus dem vorgängig aufgefahrenen Servicetunnel, vor allem jedoch durch einen Gegenvortrieb kann das Risiko vermindert werden. Dazu soll die im Tunnelkomplex 5 eingesetzte TBM vom Nordportal aus Vortrieb machen. Die beiden TBM werden im Berg aufeinander treffen und müssen dort demontiert werden. Zur Vermeidung einer grossen Demontagekaverne soll dies durch Aushöhlen der TBM geschehen. Ziel ist ein Vortriebsende noch im Jahr 2011, damit ausreichend Zeit für die bahntechnische Ausrüstung und für einen Testbetrieb zur Verfügung bleibt.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Beim Bau der diversen Tunnelprojekte auf der Strecke vom Olympischen Dorf am Schwarzen Meer in die Wintersportregion im Kaukasus müssen eine Vielzahl an anspruchsvollen geotechnischen und tunnelbautechnischen Herausforderungen bewältigt werden. Viele dieser Probleme sind vor allem auf Mangel an Informationen über die geologischen und geotechnischen Verhältnisse zurückzuführen. Das Besondere an diesem Projekt ist die extrem kurze Planungs- und Bauzeit und der unverschiebliche Fertigstellungstermin. Deshalb ist es wenig verwunderlich, dass die Planung teilweise zu kurz kam und häufig ein relativ hohes Risiko in Kauf genommen wurde. Wesentlich ist aber, dass bei jenen Risiken, welche den Fertigstellungstermin gefährden, entsprechende Massnahmen zur Risikominimierung getroffen werden konnten.

Auch wenn weiterhin mit gewissen Problemen zu rechnen ist, gehen wir davon aus, dass die neuen Verkehrsverbindungen rechtzeitig fertig werden und die Olympischen Winterspiele 2014 erfolgreich durchgeführt werden können.

Under the original planning, excavation of the rail tunnel was to be completed in the third quarter of 2011, that of the motorway tunnel in the third quarter of 2012. The new routing put these dates back to late December, 2011 for the motorway tunnel, and late March, 2012 for the rail tunnel (Figure 9). Scheduled completion of tunnelling in March, 2012 constitutes a great risk of delayed completion of the tunnel, and thus of the entire rail line. In addition to various risk-reducing provisions, such as the creation of access tunnels for geological surveying in sectors where fault zones are suspected, and injection-grouting from the previously completed service tunnel in fault zones, this risk can, above all, be reduced by means of counter-tunnelling. The TBM previously used in Tunnel Complex 5 is to work from the north portal; the 2 TBMs will meet in the tunnel, and must be dismantled there. This is to be accomplished by "gutting" the TBMs, in order to eliminate the necessity for a large dismantling cavern. The target is completion of tunnelling in 2011, in order to leave sufficient time for installation of rail equipment and for trial operation.

5 Summary and conclusions

A large number of demanding geotechnical and tunnel-engineering challenges need to be overcome in construction of the various tunnel projects on the route from the Olympic Village on the Black Sea coast to the winter-sports region in the Caucasus mountains. Many of these problems are the result of lack of information concerning the geological and geotechnical conditions. A critical factor in this project is the extremely short planning and construction period, combined with the absolutely fixed completion date. It is therefore no surprise that planning has, in some cases, been inadequate, and that a relatively high level of risk has frequently been accepted. It must, however, be noted that appropriate provisions for risk minimisation have been implemented in the case of those risks which endanger on-time completion.

Despite the fact that certain problems must still be anticipated, we are confident that the new transport links will be completed on time, and that the 2014 Winter Olympics will be a resounding success.

Literatur/References

- [1] Maidl, B.; Schmid, L.; Ritz, W.; Herrenknecht, M.: Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein. Berlin: Ernst & Sohn Verlag (2001)

Konrad Bergmeister, Prof. Dr. Dr., Dipl.-Ing., Brenner Basistunnel BBT SE, Innsbruck/A

Brenner Basistunnel

Von der Vorerkundung zum Bau

Der 64 km lange Brenner Basistunnel (BBT) ist ein flach verlaufender Eisenbahntunnel zwischen Innsbruck/A und Franzensfeste/I. Er ist Teil der europäischen TEN 1 Achse, die den Ausbau eines länderübergreifenden Schienekorridors vorsieht. Der BBT besteht aus 2 parallelen Haupttröhen sowie einem darunter liegenden Erkundungsstollen. Im März 2011 sind 16 km Erkundungsstollen und Zufahrtstunnel errichtet.

The Brenner Base Tunnel

From preliminary surveying to implementation

The 64 km long Brenner Base Tunnel (BBT) is a gradient-free rail tunnel between Innsbruck, Austria, and Franzensfeste, Italy, and forms part of Europe's TEN 1 route, aimed at providing an upgraded rail corridor across national boundaries. The BBT consists of 2 parallel main bores, and an exploratory tunnel below them. Sixteen km of exploratory and approach tunnels had been completed by March, 2011.

1 Grundkonzept

Der prioritäre TEN-Korridor Nr. 1 von Berlin (eigentlich Rostock) nach Palermo mit mehr als 2400 km neuer Bahnverbindung befindet sich zu einem grossen Teil bereits in Bau oder in Betrieb. Zu diesem Streckenabschnitt gehören auch die neue Brennerbahn mit der Unterinntalstrecke und dem Brenner Basistunnel. Erwähnenswert sind dabei, dass der Bahnabschnitt von Neapel bis Verona bereits durchgehend seit Dezember 2009 in Betrieb ist und die 42 km lange Unterinntalstrecke Ende 2012 in Betrieb gehen wird [1]. Bereits 1994 wurde die Umfahrung von Innsbruck gebaut, welche Teil der unterirdischen Streckenführung zum Brenner Basistunnel wird (Bild 1).

Der Brenner Basistunnel ist ein nahezu horizontal verlaufender Eisenbahntunnel mit 2 parallelen Röhren. Der Tunnel weist zwischen den Bahnhöfen Innsbruck und Franzensfeste eine Länge von 55 km auf und wird südlich von Innsbruck mit der bereits bestehenden auch unterirdisch verlaufenden Umfahrung verbunden. Mit dieser Umfahrung und dem Basistunnel entsteht damit die weltweit längste unterirdische Eisenbahnstrecke mit einer gesamten Länge von etwa 64 km (Bild 2).

Mittig unterhalb der beiden Eisenbahntunnelröhren befindet sich 12 m tiefer ein Erkundungsstollen. Dieser wird zuerst abschnittsweise vor dem Bau der Haupttröhen errichtet, um hauptsächlich das Gebirge zu erkunden. Im endgültigen Ausbau wird dieser Erkundungsstollen durchgehend gebaut, sodass er dann als Entwässerungsstollen und bei

1 The basic concept

The high-priority TEN Corridor No. 1, from Berlin (from Rostock, in fact) to Palermo, involving more than 2400 km of new rail links, is now largely under construction, or already in operation. This route sector also includes the new "Brennerbahn" line, together with the Lower Inn Valley line, and the Brenner Base Tunnel. Facts worth noting are that the complete line from Naples to Verona has been in operation since December, 2009 and that the 42 km long Lower Inn Valley line is due for commissioning in late 2012 [1]. The Innsbruck avoiding line, which will form part of the underground route to the Brenner Base Tunnel, was completed in 1994 (Figure 1).

The Brenner Base Tunnel is a virtually horizontal rail tunnel consisting of 2 parallel bores. Tunnel length between the stations at Innsbruck and Franzensfeste is 55 km, with a connection to the already existing avoiding line, also in tunnel, to the south of Innsbruck. The avoiding line and the BBT together make up the world's longest underground rail line, totalling around 64 km in length (Figure 2).

An exploratory tunnel will be located 12 m below the 2 bores of the rail tunnel, and is to be driven prior to construction of the main bores, primarily for the purpose of geological exploration. The exploratory tunnel will ultimately be completed throughout the main tunnel's length, and will be used during operation as a drainage tunnel and, where necessary, as a service duct [1]. The most important data for the BBT and the Innsbruck avoiding line are as follows (Figure 3):

Tunnel de Base du Brenner

De la reconnaissance géologique à la construction

Long de 64 km, le tunnel de base du Brenner est un tunnel ferroviaire sans pente longitudinale qui reliera Innsbruck, en Autriche, à Franzensfeste, en Italie. Il constitue l'un des éléments de l'axe prioritaire n° 1 du réseau transeuropéen de transport, qui prévoit l'extension d'un corridor ferroviaire transfrontalier. Le tunnel de base du Brenner se compose de deux tubes principaux parallèles et d'une galerie de reconnaissance, creusée sous les tubes. Seize km de galerie de reconnaissance et de descenderies seront achevés en mars 2011.

La Galleria di Base del Brennero

Dalla ricognizione alla costruzione

La galleria di base del Brennero, lunga 64 km, è una galleria ferroviaria con andamento pianeggiante tra Innsbruck in Austria, e Fortezza, in Italia. Fa parte dell'asse europeo TEN 1, che prevede l'ampliamento di un corridoio ferroviario internazionale. La galleria di base del Brennero (BBT) è costituita da 2 tubi principali paralleli nonché una galleria di ricognizione sottostante. Seidici km della galleria di ricognizione e della galleria di accesso sono stati terminati a marzo 2011.

Notwendigkeit als Dienststollen genutzt werden kann [1]. Die wichtigsten Kenndaten des Brenner Basistunnels mit der Umfahrung Innsbruck sind (Bild 3):

- Gesamtlänge: 64 km
- Längsneigung: 5.0 ‰ bis 6.7 ‰
- Scheitelhöhe des Basistunnels: 795 m ü.d.M.
- Nettoquerschnitt der Hauptröhren: ca. 43 m²
- Nettodurchmesser Hauptröhren: 8.1 m
- Minimalquerschnitt Erkundungsstollen: ca. 26 m²
- Abstand der Querschläge: 300 m.

- Total length: 64 km
- Gradient: 5.0 ‰ to 6.7 ‰
- Altitude of the crown of the BBT: 795 m above sea level
- Net cross-section of main bores: approximately 43 m²
- Net main bore diameter: 8.1 m
- Minimum cross-section of exploratory tunnel: approximately 26 m²
- Transverse-gallery spacing: 300 m.

2 Von der Planung zur Erkundung

2.1 Planungsphasen und Genehmigungen

Die Genehmigungsplanungen zum Brenner Basistunnel sind in beiden Staaten – Österreich (15. April 2009 Eisenbahnrechtliche und UVP-Genehmigung) und Italien (31. Juli 2009 CIPE-Beschluss) – seit 2009 abgeschlossen. Bis März 2011 wurden bauvorbereitende Arbeiten durchgeführt und etwa 16 km von Erkundungs- und Zugangsstollen gebaut.

Bereits 1989 wurde eine detaillierte Machbarkeitsstudie zum Brenner Basistunnel erstellt. Zwischen 1999 und 2002 wurde das Vorprojekt (Phase I) erarbeitet. Ab 2003 wurden viele Erkundungsbohrungen und ab 2005 bis 2008 das technische Einreichprojekt und die Planungen zur Umweltverträglichkeit durchgeführt (Phase II). Am 18. November 2010 wurde in Italien durch eine weitere CIPE-Genehmigung die Finanzierung abgesichert. In Österreich hat der Ministerrat am 1. Februar 2011 die Voraussetzungen für die weitere Finanzierung von Bauarbeiten zur Bauvorbereitung und vertieften Erkundung beschlossen. Mit der Errichtung der Hauptbaulose soll 2016 begonnen werden. Die Fertigstellung des Brenner Basistunnels ist für 2025 geplant.

2.2 Projektübergreifende Regelplanung (guide design)

Im Monat Februar 2011 wurde eine projektübergreifende Regelplanung europaweit ausgeschrieben. Dadurch soll eine



1 Alpenquerende Eisenbahntransversalen
Mainline rail links through the Alps



2 Lageplan des Brenner Basistunnels
Location of the Brenner Base Tunnel

homogene und solide Basis für die Folgeplanungen erarbeitet werden. Die wesentlichen Elemente dieser gesamtheitlichen Planung sind:

- Überarbeitung der Trassierung mit Einarbeitung sämtlicher
- Optimierungen und UVP-Vorschriften,
- normative Grundlagen und technische Vorgaben für die losbezogene Ausschreibungs- und Ausführungsplanung,
- Grundsätze für die Bemessung und die konstruktive Durchbildung für eine Lebensdauer von 200 Jahren,
- Erstellen von detaillierten Schnittstellen- und Typenplänen
- Toleranzvorgaben (vermessungs- und baumethodenabhängige Toleranzen) unter Berücksichtigung der Folgewerke,
- Vorkehrungen für den bahntechnischen Ausbau.

Zusätzlich wird die gesamte Trassierung vom UTM in ein projektbezogenes Koordinatensystem BBT-TM gebracht, das durch eine transversale Mercatorprojektion erzeugt wird. Damit wird die mittlere Projekthöhe von 720 m orthometrische Höhe festgelegt, was ca. 770 m ellipsoidischer Höhe entspricht. Das Projekt liegt somit in einem Gebiet ca. 10 km östlich und westlich vom Mittelmeridian. In diesem Fall beträgt die Streckenverzerrung weniger als 2 bis 3 mm pro km.

Im so geschaffenen Bezugssystem muss keine weitere Rotation durchgeführt werden, da die Meridiankonvergenz einfach zu berechnen ist und der sich daraus ergebende

2 From the planning to the exploratory phase

2.1 Planning phases and approvals

Approval planning for the Brenner Base Tunnel was completed in both countries in 2009: Austria (April 15, 2009 – rail-transport law and EIA approval) and Italy (July 31, 2009 – CIPE resolution). Preparatory civil-engineering and around 16 km of exploratory and access tunnel had been completed by March, 2011.

A detailed feasibility study for the BBT was drafted as long ago as 1989. The preliminary project (Phase I) was planned between 1999 and 2002. A large number of exploratory bore holes were sunk from 2003 onward, and the technical permit application design and environmental-impact planning conducted between 2005 and 2008 (Phase II). Financing was secured in Italy on November 18, 2010, by means of a further CIPE approval. In Austria, the Council of Ministers approved the preconditions for further financing of engineering work for preparation for implementation and intensified exploration on February 1, 2011. Work on the main lots is to start in 2016, with completion of the Brenner Base Tunnel scheduled for 2025.

2.2 Supra-project guide design

An invitation-to-tender for supra-project guide design was published throughout Europe in February, 2011, with the intention of providing a sound and uniform basis for subsequent planning. The essential elements of this overall planning are:

- revision of the routing, including incorporation of all optimisations and EIA regulations,
- provision of normative bases and technical specifications for lot-specific tendering and implementation planning,
- provision of the basic principles for design and dimensioning for an operational life of 200 years,
- drafting of detailed interface and arrangement diagrams,
- specification of tolerances (dependent on surveying and construction methods), taking account of follow-up structures,
- provisions for fitting-out with rail equipment.

In addition, the entire routing of the Lower Inn Valley line is being incorporated into a project-specific BBT-LIV co-ordinate system generated by means of transverse Mercator projection. A mean orthometric project altitude of 720 m is thus defined, equivalent to approximately 770 m ellipsoid altitude. The project is thus located in a zone around 10 km to the east and west of the central meridian. Line distortion in this case is less than 2 to 3 mm per km.

No further rotation is necessary in the reference system thus created, since meridian convergence can be easily calculated, and since the resultant reduction effect on the directions is of no significance (angle of convergence is around 4').

2.3 The exploratory tunnel

An exploratory tunnel is to be constructed throughout the length of the BBT, and will be used primarily for preliminary

Reduktionseffekt auf die Richtungen unbedeutend ist (der Konvergenzwinkel beträgt ca 4').

2.3 Erkundungsstollen

Beim Brenner Basistunnel wird durchgehend ein Erkundungsstollen gebaut. Dieser dient primär der geologischen und hydrogeologischen Vorerkundung und sekundär zur Führung einer entkoppelten Entwässerung. Zusätzlich erleichtert er während des Baus der Haupttunneln den Bauablauf und kann für die Baubelüftung genutzt werden [2].

Beim Erkundungsstollen Innsbruck – Ahrental wird die geologische Dokumentation von internem BBT-Personal durchgeführt, um das Wissen und die Erfahrung für die weitere Planung zu verbessern. In geologisch schwierigen Abschnitten (Störzonen) wird jeder Abschlag dokumentiert, bei monotonen Verhältnissen bzw. Abschnitten mit gleichbleibender Geologie jeder zweite Abschlag. Bei der geologischen Ortsbrustkartierung werden der anstehende Gesteinstyp, die gesteinsphysikalischen Parameter wie Härte und Verwitterung, die Ausbildung und Raumstellung der massgeblichen Trennflächen und die Bergwasserhältnisse beobachtet, gemessen und aufgezeichnet.

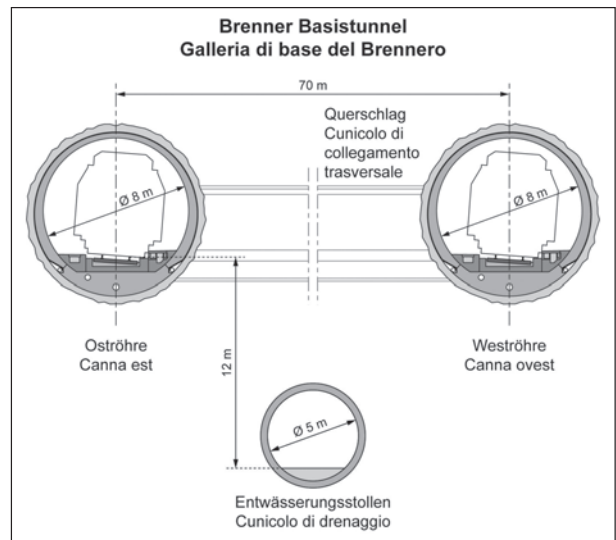
Die erhobenen Daten der Erkundungsstollen werden über die Tunneldatenbanksoftware „2-DOC“ verwaltet und entsprechende Abschlagsberichte erstellt. Ebenso werden kontinuierlich geologische Längenschnitte erstellt, die die aufgefahrene Geologie zusammenfassend darstellen. In regelmässigen Abständen erfolgt eine Berichterstattung an die zuständige Behörde.

Wertvolle Erkenntnisse konnten bereits bei beiden Erkundungsstollenabschnitten im

- Innsbrucker Quarzphyllit und
 - Brixner Granit
- gewonnen werden [3] (Bild 4).

2.4 Innsbrucker Quarzphyllit

Die beiden Tunnelbauwerke Erkundungsstollen Innsbruck – Ahrental und der Zufahrtstunnel Ahrental des Erkundungsloses Innsbruck – Ahrental liegen zur Gänze in Gesteinen der

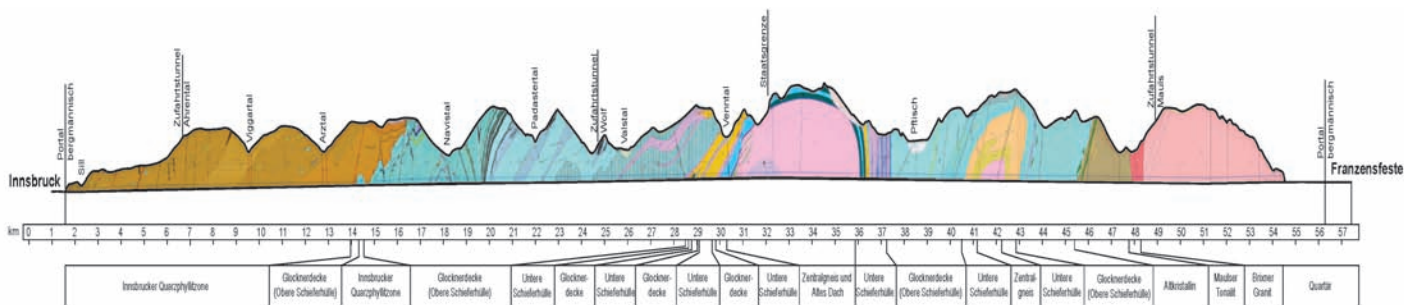


3 Querschnitt der Haupttunnel und des Erkundungsstollens
Cross-section of the main and exploratory tunnels

geological and hydrogeological exploration, and secondarily for separate drainage. It will, in addition, facilitate operations during construction of the main bores, and can also be used for ventilation of the underground sites [2].

Geological documentation is to be performed for the Innsbruck-to-Ahrental exploratory tunnel by internal BBT personnel, in order to improve knowledge and experience for future planning. Every round length is to be documented in geologically difficult sectors (fault zones), and every second round length in constant conditions and in sectors of consistent geology. The rock type confronted, physical rock parameters such as hardness and weathering, the configuration and disposition of the definitive cleavage planes, and underground water conditions, will be observed, measured and recorded for geological mapping of the face.

The exploratory-tunnel data acquired will be administered using the “2-DOC” tunnel data-base software package, and corresponding round-length reports drafted. Continuous longitudinal geological sections will also be prepared, and will summarise the geology of the tunnelling operations.



4 Geologisches Längsprofil
Longitudinal geological section

Innsbrucker Quarzphyllitzone. Diese Tunnelabschnitte werden zyklisch mittels Sprengvortrieb erstellt [5]. Die Innsbrucker Quarzphyllitzone ist auf den ersten ca. 14 km des BBT-Tunnelsystems vom Portal Innsbruck aus zu durchörtern. Sie reicht von Innsbruck, im Westen begrenzt durch das Wipptal, bis in das Navistal, wo sie mit Gesteinen des Tauernfensters verschuppt bzw. durch eine grossangelegte Störungszone mit denselben Gesteinen des Tauernfensters getrennt ist.

Der „Quarzphyllit“ ist eine Wechsellagerung aus unterschiedlichen Phylliten mit quarzitischen und gneisigen Lagen. Es ist ein Gestein, das schiefrig bis dünnplattig bricht und hauptsächlich aus Schichtsilikaten (Glimmer) und Quarz besteht. Die Schieferung als Haupttrennfläche liegt flach. Der Quarzphyllit ist aufgrund seines hohen Glimmeranteils ein dichtes Gestein, es wurden nur sehr geringe Wasserzuflüsse in den Tunnel prognostiziert. Die in ihm eingelagerten, kleinräumigen Kalkmarmor- und Dolomitmarmorkörper können mit Bergwasser angereichert sein. Werden sie beim Tunnelvortrieb „angestochen“, rinnt dieses Wasser binnen Tagen aus und versiegt dann. Dies wird treffend mit dem Begriff des „Ausblutens“ bezeichnet.

2.4.1 Erkundungsstollen Innsbruck–Ahrental

Der Ausbruchquerschnitt dieses fast 6 km langen Stollens beträgt etwa 26 m². In diesem Abschnitt konnten Abschlagslängen bis zu 2.20 m aufgefahren werden. Aufgrund einer Ausarbeitung der Oberflächengeologie wurden für den Erkundungsstollen mehrere Schwäche- bzw. Bruchzonen, sog. Störungszonen prognostiziert. Entlang dieser Störungszonen wurde das Gestein durch gebirgsbildende Prozesse zerbrochen und zerrieben. Gerade für die Querung des Lanser Sees wurden mehrere derartige Bruchlinien aufgrund Oberflächenkartierungen und Luftbilddauswertungen vorhergesagt. Es wurde daher befürchtet, dass der Tunnelvortrieb beim Anschneiden derartiger Störungen den Wasserhaushalt des Lanser Sees gefährden könnte. Tatsächlich wurde im Tunnelvortrieb bei der Unterfahrung des Lanser Seegebietes ungestörtes Gebirge angetroffen. Die insgesamt anfallenden Bergwassermengen betragen bislang nur knapp 0.1 l/s, deutlich weniger als die ohnehin gering prognostizierten Bergwassermengen. Bislang wurden keine mächtigeren Störungen aufgefahren, das Gebirge zeigte nur abschnittsweise eine tektonische Beanspruchung in Form weniger Zentimeter mächtiger Scherbänder, entlang derer der Quarzphyllit zu einem tonigen Zerreibsel aufgearbeitet ist. Bei ca. Tunnelstation 2400 m ist eine weitere Grossstörung prognostiziert, die sog. „Ahrentalstörung“. Der Tunnel soll diese Störung im rechten Winkel, also auf kürzestem Weg durchstossen. Generell sind Störungen im Quarzphyllit ab einer gewissen Teufe – man geht von ca. 50 m Teufe aus – praktisch dicht und nicht wasserführend. Sie bergen ab einer gewissen Überlagerung mehr die Gefahr des langsamen und stetigen Bergdruckes, der Tunnelbauer spricht von einem „druckhaften“ Verhalten.

Reports will be submitted to the responsible authorities at regular intervals.

Valuable knowledge has already been gained [3] (Figure 4) in the 2 exploratory-tunnel sections in the

- Innsbruck Quartz Phyllite and
- Brixner Granite.

2.4 Innsbruck Quartz Phyllite

The 2 tunnel structures, i.e. the Innsbruck-to-Ahrental exploratory tunnel and the Ahrental access tunnel for the Innsbruck-to-Ahrental exploratory lot, are located entirely in Innsbruck Quartz Phyllite zone formations. These tunnel sectors will be driven cyclically using drilling and blasting (D&B) tunnelling [5]. The Innsbruck Quartz Phyllite zone will be traversed for the first around 14 km of the BBT tunnel system, from the Innsbruck portal. It extends from Innsbruck, bounded in the west by the Wipptal valley, into the Navistal valley, where it either overlaps with Hohe Tauern Window formations, or is divided off by a major fault zone featuring the same Hohe Tauern Window geology.

“Quartz phyllite” is an alternating stratification consisting of various phyllites interspersed with quartzitic and gneissic layers. It is a rock with a schistous to thin-shaly fracture behaviour, and consists primarily of sheet silicates (mica) and quartz. Schistosity, the main cleavage plane, is horizontal. Due to its high mica content, quartz phyllite is a dense rock, and only very slight influxes of water into the tunnel are predicted. The smaller zones of lime marble and dolomite marble formations included in it may contain accumulations of underground water. If these are “tapped” during tunnelling, this water will flow out within days, and dry up. This is aptly termed “haemorrhaging”.

2.4.1 The Innsbruck-to-Ahrental exploratory tunnel

This nearly 6 km long tunnel has an excavated cross-section of around 26 m². Round lengths of up to 2.20 m can be achieved in this sector. Several weak and/or fracture zones, so-called “fault zones”, have been forecast for the exploratory tunnel, on the basis of an evaluation of the surface geology. The rock has been disintegrated and pulverised by orogenic processes along these fault zones. Several such fault lines have been predicted by means of surface mapping and of evaluation of aerial photographs, for transition under the Lanser See lake, in particular. It was therefore feared that tunnelling could disturb the water balance of this lake if such faults are disturbed. Undisturbed rock was, in fact, encountered during tunnelling under the Lanser See. Up to now, the total flows of underground water encountered have amounted to only just under 0.1 l/s, and are thus significantly lower than even the already slight flows predicted. Tunnelling has, up to now, not entered any thicker faults, and the rock has exhibited tectonic loading in the form of shear bands of a few centimetres in thickness, along which the quartz phyllite has been transformed into a clayey paste, only in isolated sectors. A further major fault, the so-

2.4.2 Fensterstollen Ahrental

Der Ausbruchquerschnitt des 2.4 km langen Fensterstollens beträgt etwa 90 m²; dieser Abschnitt wird zyklisch, also zuerst die Kalotte, dann die Strosse und die Sohle, vorgetrieben.

Durch die Nähe des Fensterstollens Ahrental zur Wipptalstörung, welche die Gesteine der Ötztaler und Stubai Alpen von der grossen Quarzphyllitmasse trennt, ist das Gebirge in diesem Tunnel von Anbeginn an deutlich zerlegt. Bis Tunnelmeter ca. 30 standen eiszeitliche Schotterablagerungen im oberen Teil des Tunnelquerschnitts an. Lockergesteine und Unterfahrung der Autobahn machten daher einen Vortrieb im Schutze eines Rohrschirms (2 x 18 m) erforderlich.

Auch traten von Anbeginn im Quarzphyllit immer wieder Linsen und Bänke aus Kalkmarmor auf, die zumeist wasserführend waren, aber rasch „ausbluteten“. Erschwerend beim Tunnelvortrieb sind jene Trennflächen, die steil nach Westen einfallen, was der Wipptalrichtung entspricht. Beim Vortrieb selbst waren daher bislang nur kurze Abschlagslängen bis max. 1.3 m möglich. Aufgrund der regional-geologischen Situation sollten sich die Gebirgsverhältnisse aber mit zunehmender Entfernung zur Wipptalstörung sukzessive bessern.

2.5 Brixner Granit

Die tektonische Einheit des Brixner Granits permischen Alters besteht aus Granit und untergeordnet aus aplitischen und pegmatitischen Gängen. Sie ist nicht metamorph, wurde jedoch durch die alpine Gebirgsbildung tektonisch beansprucht. Dadurch ist der Komplex von spröden Störungen geprägt. Beim Brixner Granit handelt es sich um ein leukokrates mittelkörniges Gestein mit isotroper Textur. Die Auswertung von 40 Dünnschliffanalysen ergab eine Mineralzusammensetzung des Gesteins von 30 bis 40 % Quarz, 20 bis 30 % Orthoklas, 20 bis 30 % Plagioklas und 10 bis 15 % Biotit. Sekundärminerale sind helle Glimmer, Chlorit, Albit, Titanit, Epidot, Calcit und opake Minerale. Das Gestein enthält häufig Mikrorisse mit ca. 20 µm Mächtigkeit, welche mit Calcit, Albit, hellen Glimmern und Quarz gefüllt sein können.

2.5.1 Erkundungsstollen Aicha – Mauls

Der über 10 km lange Erkundungsstollen Aicha – Mauls befindet sich zur Gänze im Brixner Granit. Die geologische Prognose sah 18 Störungen vor; davon wurden 8 Störungen angetroffen. Im Bereich bei Tunnelmeter 2560 wurde eine nicht prognostizierte Störung angetroffen, welche geringe Deformationen und Rissbildungen in den Tübbingen verursachte. Die mächtigste Störung ist die Weissenbachstörung, welche bei Tunnelmeter 5830 mit einer Mächtigkeit von 50 m prognostiziert war. Diese Störung trat früher, also bereits bei Tunnelmeter 5760 bis 5864 auf. Sie war begleitet von zahlreichen Wasserzutritten. Bei Tunnelmeter 6151 wurde eine ca. 5 m mächtige zum Tunnel parallel verlaufende nicht prognostizierte Störung angetroffen. Diese geologisch eher unbedeutende Störung verursachte durch ihre parallele Orientierung zur Tunnelachse starke Deformationen der Tübbinge

called “Ahrental Fault”, is predicted approximately at tunnel station 2400 m. The tunnel is to pass through this fault at a right angle, i.e. the shortest possible route. In practice, faults in quartz phyllite are compact, and not aquiferous, as from a certain depth (around 50 m is assumed). They do, as from a certain overburden, harbour the danger of slow and steady rock pressure, and tunnel engineers refer to “squeezing” behaviour.

2.4.2 The Ahrental Window Adit

This 2.4 km long window adit has an excavation cross-section of around 90 m²; this section is to be tunnelled cyclically, i.e. first the crown, then the bench, and then the floor.

The rock in this tunnel is significantly disintegrated from the inception, due to the proximity of the Ahrental window adit to the Wipptal Fault, which separates the formations of the Ötztal and Stubai Alps from the large mass of the quartz phyllite. Ice Age gravel deposits were encountered in the upper portion of the tunnel-cross section up to around Tunnel Metre 30. Non-cohesive material, and passage under the nearby motorway, therefore necessitated tunnelling with the protection of a pipe arch (2 x 18 m).

Lenses and layers of lime marble, the majority also aquiferous, but rapidly “haemorrhaging”, were also repeatedly encountered in the quartz phyllite from the inception. Those cleavage planes which dip steeply to the west, conforming to the orientation of the Wipptal valley, complicate tunnelling operations. Only short pulls, of a maximum of 1.3 m, have therefore been possible up to now. Rock conditions should, in view of the regional geological situation, improve successively as the Wipptal Fault becomes more remote.

2.5 Brixner Granite

The Brixner Granite is a tectonic unit of Permian age, consists of granite and, to a lesser extent, of aplitic and pegmatitic veins. It is not metamorphous, but is subject to tectonic stresses caused by Alpine orogenesis. The complex of brittle faults is shaped by these factors. Brixner Granite is a leucocratic medium-particle-size rock of isotropic texture. Analysis of 40 thin microsections indicated a mineralogical composition of 30 to 40 % quartz, 20 to 30 % orthoclase, 20 to 30 % plagioclase and 10 to 15 % biotite. Bright mica, chlorite, albite, sphene, epidote, calcite and opaque minerals are the secondary mineral contents. The rock frequently exhibits micro-cracking of thicknesses of around 20 µm, and often filled with calcite, albite, bright micas and quartz.

2.5.1 The Aicha-to-Mauls exploratory tunnel

The Aicha-to-Mauls exploratory tunnel, over 10 km in length, is entirely located in the Brixner Granite. The geological forecast was for 18 faults; of these, 8 have been encountered. An unpredicted fault was encountered at around Tunnel Metre 2560, and caused slight deformations and cracking of the

mit bis zu 60 cm. Es kam zu einem knapp 4-monatigen Stillstand der Tunnelbohrmaschine.

Für den Erkundungsstollen Aicha–Mauls gab die Prognose 150 l/s (stabilisiert) und 290 l/s (maximal) an. Tatsächlich zeigt der Trend eine stabilisierte Schüttung von 70 l/s. Die maximalen Schüttungen lagen bei ca. 200 l/s.

Die Prognosen für den Gesamtwasserabfluss aus dem Fensterstollen Mauls waren 25 l/s (stabilisierte Schüttung) und 230 l/s (maximale Schüttung). Tatsächlich liegt die stabilisierte Schüttung bei ca. 6 l/s und die maximale Schüttung bei ca. 10 l/s.

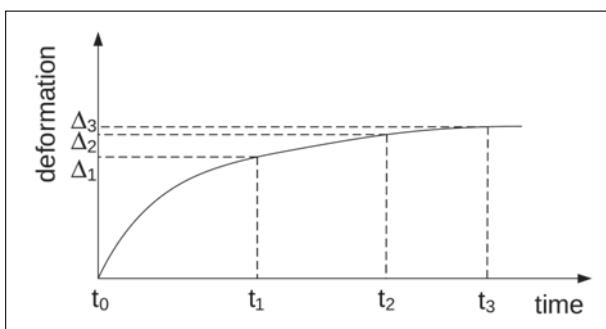
Aus 180 Proben aus dem Erkundungstunnel Aicha wurde eine Wichte des Gesteins von 2.67 kN/m³ ermittelt. Die einaxiale mittlere Druckfestigkeit beträgt dabei 142 MPa (Standardabweichung 33 MPa). Die Prognose war mit einer mittleren einaxialen Druckfestigkeit von 133 MPa angegeben. Die mittlere Abrasivität nach Cerchar ergab 3.87 (Standardabweichung 0.67).

Der Brixner Granit zeigt ein standfestes Gebirgsverhalten. In einzelnen Fällen kam es zu bergschlagähnlichen Phänomenen. Im Bereich der „damage zone“ von Störungen kam es zu instabilen Ortsbrüsten. Diese wurden durch zusätzliche ungünstige Kluftsysteme hervorgerufen. Im Bereich der „core zone“ der Störungen kam es vereinzelt zur tiefgreifenden Überbeanspruchung des Gebirges.

3 Erfassung des Gebirgsverhaltens

Beim konventionellen Tunnelausbruch verformt sich das Gebirge je nach geologischer Formation in einer ersten Phase bis zur Aufbringung der Erstsicherung. Diese volumetrische Verformung und deren Ausmass ist Teil einer Untersuchung, um verbessert das mechanische Verhalten des Ausbaues zu definieren.

Die Prognose des Gebirgsverhaltens (auch des Systemverhaltens) wird für einen Bereich bis zu 20 m vor der aktuellen Ortsbrust vorgenommen. Durch den Ausbruch des Tunnels entspannt sich vor der Ortsbrust das Gebirge. Folgende Punkte werden prognostiziert:



5 Verformungen in Abhängigkeit der Zeit
Deformations as a function of time

lining segments. The thickest fault is the Weissenbach Fault, forecast at Tunnel Metre 5830, with a thickness of 50 m. This fault was encountered earlier, at Tunnel Metre 5760 to 5864, and was accompanied by numerous influxes of water. An approximately 5 m thick unpredicted fault running parallel to the tunnel was encountered at Tunnel Metre 6151. Despite its relative geological insignificance, this fault nonetheless caused severe deformations of the lining segments, of up to 60 cm, due to its orientation parallel to the axis of the tunnel. The tunnelling-boring machine (TBM) was consequently idle for just under four months.

Flows of 150 l/s (stabilised) and 290 l/s (maximum) were forecast for the Aicha-to-Mauls exploratory tunnel. The trend, in fact, shows a stabilised flow of 70 l/s. Maximum flows have been around 200 l/s.

The forecasts for total water outflow from the Mauls window adit were 25 l/s (stabilised flow) and 230 l/s (maximum flow). Stabilised flow is, in fact, around 6 l/s, maximum flow around 10 l/s.

A specific rock weight of 2.67 kN/m³ was determined from 180 samples from the Aicha exploratory tunnel. Mean uniaxial compressive strength is 142 MPa (standard deviation 33 MPa). The forecast stated a mean uniaxial compressive strength of 133 MPa. Average Cerchar abrasiveness was 3.87 (standard deviation 0.67).

The Brixner Granite exhibits stable rock behaviour. Collapse-like phenomena have occurred in individual cases. Unstable faces have also occurred in the “damage zones” of faults, caused by additional unfavourable joint systems. Profound overstressing of the rock occurred in individual cases in the “core zones” of the faults.

3 Registration of rock behaviour

In conventional tunnel excavation, the rock deforms, depending on geological formation, during an initial phase up to the installation of the first support. This volumetric deformation and its extent is one focus of a study aimed at better defining the mechanical behaviour of the support.

Rock behaviour (and also system behaviour) is forecast for a sector extending up to 20 m behind the current face. The rock relaxes in front of the face, due to excavation of the tunnel. The following items are forecast:

- volumetric distortions of the cavity and their progress against time, differentiated by magnitude and direction,
- anticipated degree of utilisation of the support provisions, i.e. of the system support.

The deformations and their time component are registered by means of in-situ measurements (using extensometers, inclinometers, etc.) and then compared against forecast and theoretically determined data (Figure 5).

- volumetrische Verschiebungen des Hohlraumes und deren zeitlicher Verlauf, unterschiedlich nach Grösse und Richtung,
- erwartete Auslastung der Stützmittel, also des Systemausbaus.

Durch In-Situ-Messungen (Extensometer, Inklinometer etc.) werden die Verformungen und deren zeitliche Komponente erfasst und mit theoretisch ermittelten bzw. Prognose-Werten verglichen (Bild 5).

Die radiale Verformung des Gebirges kann mit verschiedenen Theorien beschrieben werden [5]. Die Vorverformung u_0 kann nach Panet mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$u_0 = \left(1 + e^{\frac{-1}{1.1 \cdot r_0}}\right)^{-1.7} \cdot u_{\max}$$

- L ungestützte Länge hinter der Ortsbrust [m]
 u_{\max} maximale Radialverformung der Gebirgskennlinie [m]

Die Abnahme der Radialverformung mit zunehmender Entfernung x von der Ortsbrust wurde von Sulem, Panet, Guenot, 1987 wie folgt abgeschätzt:

$$u(x) = u_0 + (u_{GG} - u_0) \left(1 - \left(\frac{0.84R_{pl,GG}}{x + 0.84R_{pl,GG}}\right)^2\right)$$

- u_{GG} Verformung im Zustand des Gleichgewichtes, beim Schnittpunkt der Gebirgskennlinie mit der errechneten Ausbaukennlinie [m]

- $R_{pl,GG}$ Plastischer Radius im Zustand des Gleichgewichtes [m]

Auf der Basis des abgeschätzten Systemverhaltens im Ausbruchbereich werden die bautechnischen Sicherungsmassnahmen festgelegt. Dabei sind die Tragfähigkeit (Stabilität) der Ortsbrust und der Laibung, der räumliche Spannungs- und Verformungszustand, die Standsicherheit in allen bauleistungslogischen Abfolgen, die Gebrauchstauglichkeit im Endzustand sowie weitere geologische und hydrogeologische Randbedingungen und die Streuung der Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Das Gebirgskennlinienverfahren eignet sich dazu, das Systemverhalten auch bei tiefen Tunneln abzuschätzen. Die Gebirgskennlinie stellt den Zusammenhang zwischen der radialen Hohlraumrandverschiebung und der inneren Stützwirkung des Ausbaues dar. Durch das Einbringen einer stützenden Sicherungsschale in Form von Spritzbeton oder Tübbing stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem einwirkenden Gebirgsdruck und dem Widerstand des Ausbaues ein. Das Gebirge verhält sich bis zum kritischen Ausbaustützdruck elastisch und danach plastisch [6]. Im Schnittpunkt der beiden Kennlinien herrscht Gleichgewicht (Bild 6).

The radial deformation of the rock can be described by means of various theories [5]. Pre-deformation u_0 can be estimated using the following formula (after Panet):

$$u_0 = \left(1 + e^{\frac{-1}{1.1 \cdot r_0}}\right)^{-1.7} \cdot u_{\max}$$

- L unsupported length behind the face [m]
 u_{\max} maximum radial deformation of the ground response curve [m]

The decrease in radial deformation as distance x from the face increases was estimated as follows by Sulem, Panet and Guenot (1987):

$$u(x) = u_0 + (u_{GG} - u_0) \left(1 - \left(\frac{0.84R_{pl,GG}}{x + 0.84R_{pl,GG}}\right)^2\right)$$

- u_{GG} deformation in equilibrium state, at the intersection of the ground response curve with the calculated support characteristic curve [m]

- $R_{pl,GG}$ plastic radius in equilibrium state [m]

The engineering support provisions are defined on the basis of estimated system behaviour in the excavated zone. The stability of the face and the walls, the spatial stress and deformation state, stability in all site logistical phases, serviceability in ultimate state, and other geological and hydrogeological boundary conditions, plus scatter of the influencing factors, must be taken into account.

The ground-response-curve procedure is also suitable for estimation of system performance in deep tunnels. This curve depicts the correlation between radial cavity-boundary distortion and the internal supporting action of the support system. The installation of a supporting shell in the form of shotcrete or lining segments results in equilibrium between the rock pressure acting and the support resistance. The rock behaves elastically up to the critical support counterpressure, and then plastically [6]. Equilibrium prevails at the intersection of the two curves (Figure 6).

Particular importance attaches to the deformability of the support provisions [8]. Maximum deformation of the support element (concrete) can be calculated in simplified form as follows:

$$u_{R,\max} = \frac{p \cdot r_0^2}{E_c \cdot t_c} = \frac{f_c(t) \cdot r_0}{E_c}$$

- $f_c(t)$ = time-dependent strength in compression of the support element (concrete)

Rock behaviour can be better estimated, and the support optimised, by means of the observation method and accompanying monitoring. This information is incorporated into the tunnel-engineering framework planning, which forms part

Der Verformungsfähigkeit der Ausbaumasnahmen kommt eine besondere Bedeutung zu [8]. Die Maximalverformung des Ausbauelementes (Beton) kann vereinfacht wie folgt errechnet werden:

$$u_{R,max} = \frac{p \cdot r_0^2}{E_c \cdot t_c} = \frac{f_c(t) \cdot r_0}{E_c}$$

$f_c(t)$ = Zeitabhängige Druckfestigkeit des Ausbauelementes (Beton)

Mit der Beobachtungsmethode und einem begleitenden Monitoring kann das Gebirgsverhalten verbessert abgeschätzt und der Ausbau optimiert werden. Diese Informationen fließen in den tunnelbautechnischen Rahmenplan ein, welcher Teil des umfassenden geotechnischen Berichtes ist. Nicht immer kann jedoch durch dieses zeitnähere Wissen auch der Ausbau abgeändert werden; dies muss in Kombination mit der baugelastischen Abfolge entschieden werden.

4 Bauzeitplan

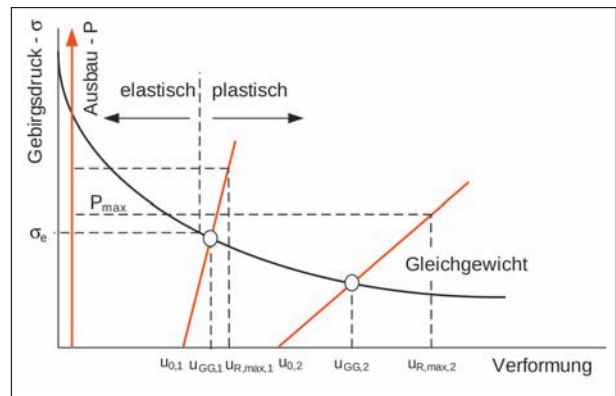
Das Bauprogramm 2010 des Brenner Basistunnels wurde auf Basis der UVP-Genehmigungen, aufbauend auf ermittelten Ausbruchzeiten von vergleichbaren Projekten unter Berücksichtigung der lokalen baugelastischen Möglichkeiten erstellt. Nach einer eingehenden Analyse wurde das Bauprogramm in Form eines Weg-Zeit-Diagramms erstellt und mit externen Fachexperten diskutiert. Es war notwendig, neben den verschiedenen Vortriebsmethoden auch die Planungs- und Ausschreibungs- bzw. Vergabezeiten zu berücksichtigen. Das Weg-Zeit-Diagramm umfasst die gesamten Bautätigkeiten vom Rohbau bis zur Inbetriebnahme und die dazu notwendigen Planungsleistungen ohne Berücksichtigung der derzeit noch nicht bekannten Projektrisiken.

Leistung	Einfacher – mittlerer – komplexer Fall [Monate]
Ausschreibung Ingenieurleistung (Vorbereitung bis Vergabe)	3 – 7 – 13
Planungszeiten	6 – 8 – 16
Bauausschreibung bis Vergabe	4 – 10
Bauvorbereitung	ca. 3
Lieferzeiten TBM	ca. 6

Das weitere Bauprogramm sieht eine Aufteilung der Arbeiten in 5 Hauptbaulose vor:

- 2 Baulose für den Erkundungsstollen und Bauvorbereitung sowie
- 3 Hauptbaulose.

Der durchgehende Erkundungsstollen wird etwa 1/3 konventionell und 2/3 maschinell vorgetrieben. Die Zufahrtstun-



6 Gebirgs- und Ausbauelementkennlinie
Ground response and support characteristic curves

of the comprehensive geotechnical report. It is not always possible also to modify the support on the basis of this more quickly available knowledge, however; this must be decided in combination with the site logistical sequence.

4 Construction schedule

The 2010 schedule for the Brenner Base Tunnel was drafted on the basis of the EIA approvals, and utilising excavation times determined from comparable projects, taking account of local site logistical circumstances. Following a detailed analysis, the construction schedule was drafted in the form of a path-time diagram, and then discussed with external experts. It was necessary to take account not only of the various tunnelling methods, but also the planning, tendering and award periods. The path-time diagram covers all construction activities, from excavation up to and including commissioning, and the necessary planning services, without including the at present still unknown project risks.

Activity	Simple – medium – complex case [months]
Tendering for engineering services (from preparation to award)	3 – 7 – 13
Planning times	6 – 8 – 16
Tendering for construction, up to award	4 – 10
Preparation for construction	approx. 3
TBM delivery times	approx. 6

The remaining construction schedule provides for subdivision of the work into 5 main construction lots:

- 2 lots for the exploratory tunnel and preparation for construction, and
- 3 main lots.

nel werden ausschliesslich konventionell hergestellt. Bei den Hauptbaulosen teilen sich die Bauverfahren auf etwa 1/4 konventionelle und 3/4 maschinelle Bauverfahren auf. Auch die Verbindungstunnel mit der Umfahrung von Innsbruck werden konventionell hergestellt. Das Bauprogramm 2010 des Brenner Basistunnels wurde auf Basis der UVP-Genehmigungen, neuer bauleistungsbezogener Optimierungen und verbesserter geologischer und hydrogeologischer Kenntnisse erarbeitet (Bild 7).

5 Prognostizierte Gesamtkosten

Die Kosten des Brenner Basistunnels wurden auf der Grundlage des Einreichprojektes 2008 grösstenteils mit der Positionsmethode ermittelt. Zusätzlich wurden die Kosten der vorgeschriebenen UVP-Massnahmen und der externen Bewertung berücksichtigt. Auch wurde eine Valorisierung der prognostizierten Gesamtkosten vom 1. Juli 2006 bis zum 1. Januar 2010 durchgeführt.

Kostengruppe	
Rohbau	65 %
Ausrüstung	15 %
Management und Grundeinlöse	12.5 %
Risikovorsorge	7.5 %
Gesamt (Preisbasis 1. Januar 2010)	7460 Mio. Euro

Im Risikoanteil wurden auf der Grundlage einer analytischen Risikoanalyse die identifizierten Risiken mit einer hohen und mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigt. Zur Berücksichtigung der zu erwartenden, aber derzeit noch nicht identifizierbaren und quantifizierbaren Risiken wurde auf der Grundlage der österreichischen ÖGG-Richtlinie „Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur“ (Version 2005) eine Abschätzung der notwendigen Risikovorsorge aufgrund von langjährigen Erfahrungswerten für Infrastrukturprojekte vorgenommen [9]. Dieser zusätzliche Anteil errechnet sich auf 602 Mio. Euro. Aufgrund der österreichischen ÖGG-Richtlinie errechnet sich eine gesamte Risikovorsorge auf 1144 Mio. Euro (theoretisch ermittelte Risikovorsorge mit mittlerer und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und die erwartbaren, aber derzeit weder quantifizierbaren noch identifizierbaren Risiken). Mit dieser Risikovorsorge errechnen sich die prognostizierten Gesamtkosten des Brenner Basistunnels bezogen auf den 1. Januar 2010 auf 8062 Mio. Euro.

6 Ausblick

Der Brenner Basistunnel, Teil der 2400 km langen TEN Nr. 1 – Verbindung von Berlin nach Palermo wird von der europäischen Projektgesellschaft BBT SE vorangetrieben. Die österreichische Bundesbahn ÖBB hält in der weiteren Realisierungsphase 50 % und die italienische Bahngesellschaft RFI etwa 42 % der Anteile. Die restlichen etwa 8 % teilen sich auf die 3 Regionen Südtirol, Trentino und Verona

The full-length exploratory tunnel is being driven approximately 1/3 conventionally, and 2/3 by mechanised means. The approach tunnels are to be completed using only conventional methods. The methods used for the main lots are around 1/4 conventional, and 3/4 mechanised. The tunnels connecting to the Innsbruck avoiding line are also being created using conventional means. The 2010 construction schedule for the BBT was drafted on the basis of the EIA approvals, new site logistical optimisations, and improved geological and hydrogeological knowledge (Figure 7).

5 Predicted total costs

The costs of the Brenner Base Tunnel were determined, largely using the item method, on the basis of the permit application design in 2008. The costs for the mandatory EIA provisions and external evaluation were also taken into account. Value adjustment of the predicted total costs from July 1, 2006 to January 1, 2010 was also performed.

Cost group	
Excavation and tunnel shell	65 %
Equipping	15 %
Management and ground rents	12.5 %
Risk contingencies	7.5 %
Total (price basis: January 1, 2010)	7460 million euro

The risk contingencies cover risks with a high and moderate probability of occurrence, as determined on the basis of a risk analysis. An estimation of the necessary risk contingencies was performed on the basis of many years of empirical data for infrastructural projects, and also of the Austrian ÖGG “Determination of costs for transport-infrastructure projects” code (2005 version), in order to include risks anticipated, but not yet identifiable and quantifiable at that time [9]. This additional element has been calculated to 602 million euro. A total risk contingency of 1144 million euro is calculated on the basis of the Austrian ÖGG code (risk contingency determined theoretically for risks with a medium and high probability of occurrence, plus risks to be anticipated, but neither quantifiable nor identifiable at the relevant time). With this risk contingency element, the predicted total costs for the Brenner Base Tunnel are calculated, referred to January 1, 2010, to 8062 million euro.

6 Prospects

The Brenner Base Tunnel, an element in the 2400 km TEN No. 1 link from Berlin to Palermo, is being pursued by the BBT SE European project corporation. For the further implementation phase, Austrian Railways (ÖBB) holds 50 %, and the Italian rail corporation, RFI, around 42 % of the shares. The remaining approximately 8 % are distributed among the 3 regions of South Tyrol, Trentino and Verona to the south of the Brenner. Further financing has been secured both in Italy

südlich des Brenners auf. Die weitere Finanzierung wurde sowohl in Italien als auch in Österreich abgesichert, sodass laut Bauzeitplan die weiteren Erkundungsstollen gebaut und ab 2016 mit den Hauptbaulosen begonnen werden kann.

Bis jetzt wurden etwa 16 km Erkundungs- und Fensterstollen gebaut. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sowie verschiedene Projektoptimierungen werden im Rahmen einer projektübergreifenden Regelplanung (guide design) integriert. Dadurch kann eine einheitliche Basis für die weiteren Ausschreibungs- und Ausführungsplanungen des Brenner Basistunnels geschaffen werden.

and in Austria, with the result that the remaining exploratory tunnels can be constructed in accordance with the construction schedule, and that work on the main tunnel lots can be started from 2016 onward.

Around 16 km of exploratory and window adits have been completed up to now. The knowledge gained, and various project optimisations, are to be integrated in the context of a supra-project guide design. This will create a uniform basis for further tendering and implementation planning for the Brenner Base Tunnel.

Literatur/References

- [1] Bergmeister, K.: Brenner Basistunnel – Lebensräume und Verkehrswege. Tappeiner Verlag – Lana. 2008, 171 Seiten
- [2] Bergmeister, K.: Stand der Vorarbeiten für den Brenner Basistunnel. In: tunnel 1-2008, offizielles Organ der STUVA – Köln. Bauverlag. S. 16–25
- [3] Quick, H.; Bergmeister, K.; Facchin, E.; Michael, J.: Aichmauls on the Brenner Base Tunnel – status of the works and results. In: Geomechanics and Tunneling. Ernst & Sohn Company, 2010, S. 520–533
- [4] ITA-Austria: The Austrian Art of Tunneling in Construction, Consulting and Research. Editors: Stipek, W.; Galler, R. Vienna, 2008, S. 72–74
- [5] Pilgerstorfer, T.; Radoncic, N.: Prediction of spatial displacement development. Geomechanics and Tunneling 2-2009, S. 250–259
- [6] Schubert, P.: Anforderungen an die Beobachtungsmethode bei tiefliegenden Tunnels. In: Geomechanics and Tunneling, 01-2010, S. 68–72
- [7] Suter, T.; Bergmeister, K.: Tübbing aus Stahlfaserbeton – Optimierung der Bewehrung durch experimentelle Untersuchungen. In: Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11, 2004, S. 858–864
- [8] Bergmeister, K.: Monitoring in tunnels: recent experiences. In: Tongji University and Technology University of Delft (Hrsg.), 1st International Workshop on Service Life Design for Underground Structures, Tongji University, Shanghai, China, 1st International Workshop on Service Life Design for Underground Structures, 19–20 October 2006, Shanghai, S. 4–8
- [9] ÖGG-Richtlinie: Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken. Salzburg 2005

Nathalie Monin, Responsabile Polo Geologia, LTF

Alain Chabert, Direttore Studi e Progetti, LTF

Lorenzo Brino, Direttore Aggiunto Studi e Progetti, LTF

Nuova Linea Torino – Lione

Ritorni d'esperienza dalla discenderia di La Praz

Il nuovo progetto ferroviario tra Torino e Lione passa al di sotto di gran parte delle Alpi con una forte pressione di copertura (spesso oltre i 1000 m e fino a 2500 m). L'opera maggiore dell'intero progetto è la galleria di base, che si sviluppa su una tratta di circa 57 km tra St. Jean de Maurienne (Savoia) e Susa (Piemonte).

I lavori di preparazione sul lato francese, sul quale è stato necessario perforare 3 gallerie di accesso, sono ora conclusi (sono, da ovest a est, St. Martin La Porte, La Praz e Villarodin-Bourget/Modane). Il presente articolo si concentra sull'analisi a posteriori della discenderia La Praz. Questa discenderia della lunghezza di 2480 m, fu iniziata nel gennaio 2006 con il metodo drill and blast nella zona geologica Houiller Brianzonese e terminata nel gennaio 2009. L'articolo descrive il contesto geologico e presenta i risultati importanti rispetto allo scavo della galleria di accesso. Si dà particolare rilievo alla descrizione geomeccanica della montagna. Si illustra, infine, come sono stati utilizzati i dati durante lo scavo della galleria di base.

New Turin – Lyon Line

Back-analysis of the La Praz access gallery

The new railway project between Turin (Italy) and Lyon (France) will underpass high parts of the Alps, with significant overburden (frequently over 1000 m and up to 2500 m). The largest civil engineering structure of the whole project is the base tunnel, running for around 57 km between St. Jean de Maurienne (Savoy) and Susa (Piedmont).

Preliminary works on the French side, involving the mining of 3 adits, are now complete (i.e. from west to east, the adits are: St. Martin La Porte, La Praz and Villarodin-Bourget/Modane). This article focuses on the back-analysis of the La Praz access gallery. The 2480 m long adit has been created within the Houiller Brianzonese geological unit by the Drill and Blast Method, starting in January 2006 and finishing in January 2009. After a review of the geological environment, the article will present significant results from the excavation of the adit, with particular reference to the geo-mechanical characterization of the rock mass. Then it will be shown how the data have been applied to the excavation of the base tunnel.

1 Introduzione

A causa dell'aumento permanente degli scambi in Europa e in particolare attraverso l'arco alpino, una nuova linea ferroviaria è in corso di studio tra le città di Torino (Italia) e Lione (Francia). Questa nuova linea fa parte della rete transeuropea (il corridoio 5) che collegherà Lisbona e Kiev (**Illustrazione 1**) e permetterà il trasferimento di una grande porzione di merci e viaggiatori dalla strada alla ferrovia, con conseguente riduzione dell'inquinamento nell'ambiente alpino.

1 Introduction

Owing to the permanent increase in trade within Europe, and in particular through the Alpine region, a new railway line between the cities of Turin (Italy) and Lyon (France) is currently being studied. This new line will form part of the trans-European network (corridor 5) linking Lisbon and Kiev (**Figure 1**), and will allow the transfer of a large proportion of goods and passengers from road to rail, with a resultant reduction in pollution within the Alpine environment.

Neue Bahnverbindung Lyon – Turin

Lehren vom Zugangsstollen La Praz

Das neue Bahnprojekt zwischen Turin und Lyon unterquert hochgelegene Teile der Alpen mit hoher Deckgebirgslast (vielfach über 1000 m und bis zu 2500 m). Das umfangreichste Bauwerk des gesamten Projekts ist der Basistunnel, der auf einer Strecke von ca. 57 km zwischen St. Jean de Maurienne (Savoyen) und Susa (Piemont) verläuft.

Die Vorarbeiten auf der französischen Seite, bei denen 3 Zugangsstollen gebohrt werden mussten, sind jetzt abgeschlossen (von West nach Ost sind dies St. Martin La Porte, La Praz und Villarodin-Bourget/Modane). Dieser Artikel konzentriert sich auf die rückblickende Analyse des Zugangsstollens La Praz. Dieser 2480 m lange Zugangsstollen wurde ab Januar 2006 mit der Bohr- und Sprengmethode in der geologischen Zone Houiller Brianzonese begonnen und im Januar 2009 abgeschlossen. Der Artikel beschreibt die geologischen Verhältnisse und stellt wesentliche Ergebnisse im Zusammenhang mit der Ausschachtung des Zugangsstollens vor. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der geomechanischen Beschreibung des Gebirges geschenkt. Abschließend wird dargestellt, wie die Daten bei der Ausschachtung des Basistunnels genutzt wurden.

Nouvelle liaison ferroviaire Lyon – Turin

Les enseignements tirés de la descenderie de La Praz

Le nouveau projet ferroviaire entre Turin et Lyon traverse une grande partie des Alpes, sous une couverture rocheuse élevée (souvent supérieure à 1000 m et allant jusqu'à 2500 m). Le tunnel de base qui relie Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie) à Susa (Piémont), sur une distance de 57 km environ, est l'ouvrage le plus vaste de tout le projet.

Les travaux préparatoires sont achevés côté français, à savoir le creusement de trois descenderies (qui sont d'ouest en est: Saint-Martin de La Porte, La Praz et Villarodin-Bourget/Modane). Cet article se concentre sur l'analyse rétrospective de la descenderie de La Praz. Longue de 2480 m, cette galerie d'accès a été creusée et percée en traditionnel dans la zone géologique du Houiller briançonnais. Le creusement, démarré en janvier 2006, s'est achevé en janvier 2009. L'article décrit la situation géologique rencontrée et présente les résultats essentiels obtenus en liaison avec l'excavation de la descenderie. Une attention toute particulière est accordée à la description géomécanique du massif. Pour finir, l'article montre comment les données ont pu être utilisées pour l'excavation du tunnel de base.

È stata creata nell'ottobre 2001, in seguito al trattato stipulato tra Francia e Italia nel gennaio 2001, la società *Lyon Turin Ferroviaria (LTF)*. LTF è una società per azioni transnazionale.

Following the treaty signed between France and Italy in January 2001, the company *Lyon Turin Ferroviaria (LTF)* was founded in October 2001. LTF is a trans-national public limited company. Its shareholders are the companies *Réseau Ferré de France (RFF)* and *Rete Ferroviaria Italiana (RFI)*.

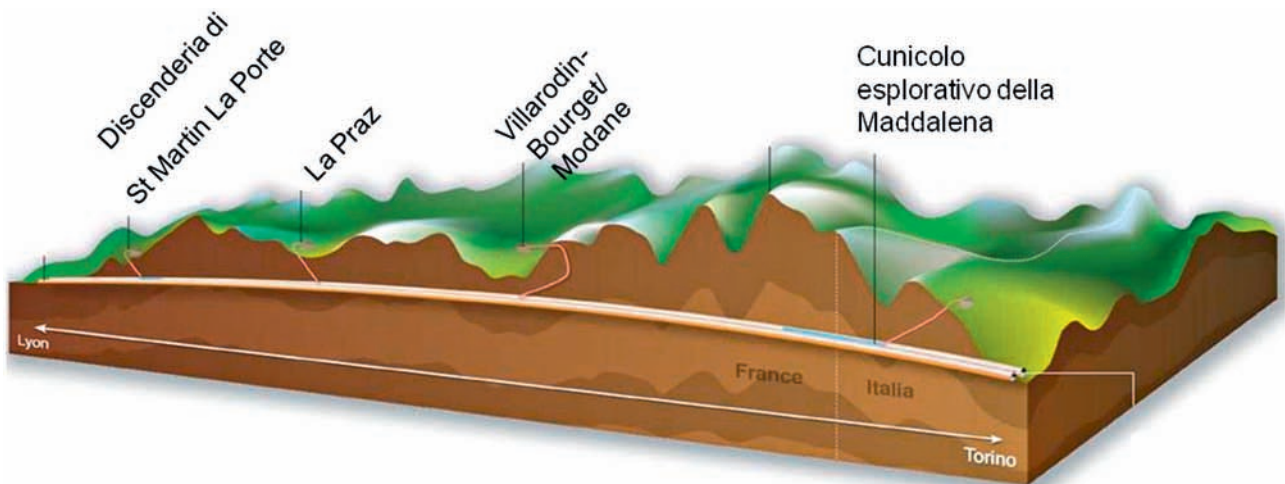


1 La Torino – Lione in Europa
Turin – Lyon within Europe

In the initial phase, LTF has the task of carrying out project studies (preliminary and definitive) and surveys of the common Italian-French portion, in particular the creation of access galleries and exploration shafts. The aim of this phase is to present the French and Italian governments with final details of the civil engineering work to be carried out, the location of it, the cost and the timeframe for construction.

The common Italian-French portion of the new Turin – Lyon rail link is nearly 84 km between Chiusa San Michele in Valle di Susa (Piedmont) and Saint Jean de Maurienne in Maurienne (Savoy). A base tunnel of approximately 57 km will constitute the main element of this cross-border section.

Preliminary work on the French side is nearly complete, with the construction of 3 access galleries, namely, from west to east (Figure 2), St. Martin La Porte (2400 m, excavation completed in July 2010), La Praz (2480 m, excavation completed in January 2009) and Villarodin-Bourget/Modane (4000 m,



2 Tunnel di base, discenderie e cunicolo esplorativo
Base tunnel, access galleries and exploration shaft

Suoi azionisti sono: le società *Réseau Ferré de France (RFF)* e *Rete Ferroviaria Italiana (RFI)*.

In una prima fase, LTF ha il compito di eseguire gli studi di progetto (preliminare e definitivo) e realizzare le indagini della parte comune italo-francese, in particolare con la realizzazione delle discenderie e dei cunicoli esplorativi. La finalità di tale fase è di presentare, ai governi francese e italiano, i dettagli finali delle opere civili da realizzare, la loro ubicazione, il costo e la tempistica della costruzione.

La parte comune italo-francese del nuovo collegamento ferroviario Torino–Lione è di quasi 84 km tra Chiusa San Michele, in Valle di Susa (Piemonte) e Saint Jean de Maurienne in Maurienne (Savoia). Un tunnel di base di ca. 57 km costituirà l'opera maggiore di questa tratta transfrontaliera.

I lavori preliminari sul lato francese sono ormai completati, con la costruzione di 3 discenderie che sono, da ovest verso est (Illustrazione 2), quelle di St. Martin La Porte (2400 m, fine scavo in luglio 2010), di La Praz (2480 m, fine scavo in gennaio 2009) e di Villarodin-Bourget/Modane (4000 m, fine scavo in Novembre 2007). Tutte queste gallerie di accesso hanno permesso di migliorare la conoscenza delle strutture geologiche per valutare meglio le difficoltà tecniche e quindi i metodi di costruzione e i costi. In seguito, durante la realizzazione dei lavori del tunnel di base, offrono la possibilità di scavare il tunnel partendo da diversi fronti di attacco. Infine, quando il tunnel sarà in servizio, le discenderie assicureranno la ventilazione del tunnel e permetteranno l'accesso delle squadre di manutenzione e di soccorso in caso di incidente.

Sul versante italiano è stato presentato, nel luglio del 2010, un nuovo progetto preliminare che integra una revisione del tracciato in seguito alla forte opposizione locale contro quello originale. Lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, di ca. 7500 m, dovrebbe essere avviato nella primavera 2011.

excavation completed in November 2007). All of these access galleries have allowed an improved knowledge of the geological structures, for better assessment of the technical difficulties, and therefore of the construction methods and costs. Subsequently, when work on the base tunnel is being carried out, they will provide the possibility of excavating the tunnel from different starting points. Finally, when the tunnel is in service, the access galleries will ensure ventilation of the tunnel, and allow access for maintenance and emergency teams in case of any incident.

On the Italian side, a new preliminary plan was presented in July 2010 that includes a review of the layout, following strong local opposition to the original one. Excavation of the Maddalena exploratory shaft, approximately 7500 m, should begin in spring 2011.

After a summary presentation of the geological picture, with particular reference to passing through the Houiller Zone, this article will set out how experience gained within the La Praz access gallery, excavated in the traditional way between January 2006 and January 2009, will contribute to the excavation of the base tunnel.

2 Geological background

2.1 Passing through the Alps

At approximately 57 km, the base tunnel will pass through a substantial portion of the Alps with cover of more than 1000 m, and at some points up to 2500 m. From west to east (Figure 3), the principal geological units consist of flysch from the ultra-Delphinese zone, carbonate and sulphate rocks from the sub-Brianzonese zone, sandstones, Houiller schists and coal from the Brianzonese zone, carbonate and siliceous rocks from the chalk layer, carbonate and siliceous rocks from the Ambin massif and calcareous schists from the Piedmontese zone.



3 Sezione geologica previsionale lungo il tunnel di base
Provisional geological section along the base tunnel

Dopo una presentazione sintetica del quadro geologico, con particolare riferimento all'attraversamento della zona dell'Houiller, il presente articolo esporrà come le esperienze maturate nella discenderia di La Praz, scavata in tradizionale tra gennaio 2006 e gennaio 2009, contribuiranno allo scavo del tunnel di base.

2 Quadro geologico

2.1 Attraversare le Alpi

Con i suoi ca. 57 km, il tunnel di base attraverserà gran parte delle Alpi con una copertura spesso maggiore di 1000 m e con punte sino a 2500 m. Da ovest a est (Illustrazione 3), le principali unità geologiche sono costituite dai flysch della zona ultradelfinese, dalle rocce carbonatiche e solfatiche della zona subbrianzonese, dalle arenarie, dagli scisti e dal carbone dell'Houiller della zona brianzonese, dalle rocce carbonatiche e silicee della zona brianzonese, dalle rocce carbonatiche e solfatiche della falda dei gessi, dalle rocce carbonatiche e silicee del massiccio dell'Ambin e dai calcescisti della zona piemontese.

2.2 La zona dell'Houiller

L'attraversamento dell'Houiller rappresenta una tratta di ca. 12 km (entro le progressive chilometriche 11 e 23), di cui 9 km tra le discenderie di St. Martin La Porte e La Praz (Illustrazione 4).

In generale, l'Houiller è costituito da peliti, arenarie e conglomerati metamorfosati in facies da scisti verdi a scisti blu. Localmente sono presenti formazioni ad elevato contenuto

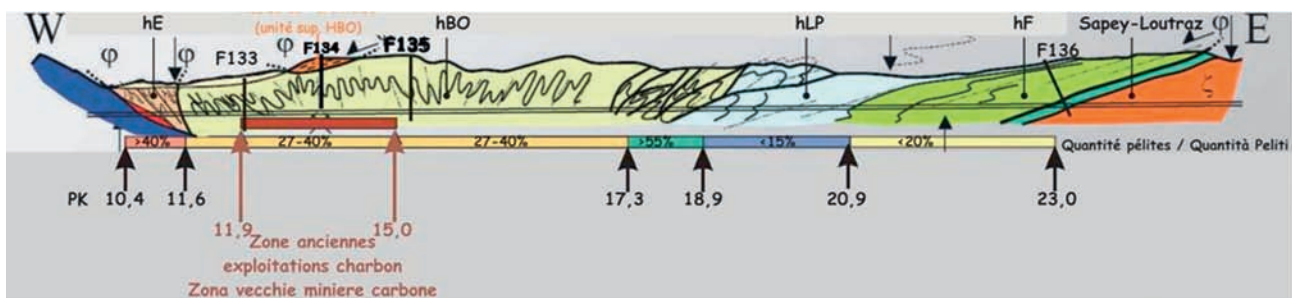
2.2 The Houiller zone

Passing through the Houiller represents a section of approximately 12 km (between kilometres 11 and 23), 9 km of which is between the St. Martin La Porte and La Praz access galleries (Figure 4).

In general, the Houiller consists of pelites, sandstones and metamorphosate conglomerates within facies from green to blue schists. Here, there are formations with a high carbon content, which were used in the past as mineral deposits. Various geological and structural surveys of the surface, together with 15 long probes (between 200 and 1000 m in length), have led to the sub-division of the Houiller into 4 lithological units: the Encombres unit, the Brequin-Orelle unit, the La Praz unit and the Fourneaux unit (Figure 4). These 4 units will be described briefly below, proceeding from west to east.

2.2.1 Encombres unit

This is the westernmost unit of the Houiller unit, with an extension of approximately 1.5 km in an E-W direction at the level of the base tunnel, characterised by the presence of metapelites (over 40 %) and metasandstones (approximately 30 %), as well as of formations enriched with a substantial percentage of carbon (approximately 15 %). The front of the Houiller is situated to the west, the main tectonic contact separating the entire Houiller unit from the Sub-Brianzonese zone. This unit has been explored fully from the St. Martin La Porte access gallery, which was completed in July 2010.



4 Attraversamento dell'Houiller hE – unità delle Encombres, hBO – unità del Brequin-Orelle, hLP – unità di La Praz, hF – unità di Fourneaux
Passing through the Houiller hE – Encombres unit, hBO – Brequin-Orelle unit, hLP – La Praz unit, hF – Fourneaux unit

di carbone che sono state sfruttate nel passato come giacimenti minerali. I diversi rilievi geologici e strutturali di superficie, unitamente a 15 sondaggi lunghi (tra 200 e 1000 m di lunghezza), hanno portato alla suddivisione dell'Houiller in 4 unità litologiche: l'unità delle Encombres, l'unità del Brequin-Orelle, l'unità di La Praz e l'unità di Fourneaux (Illustrazione 4). Queste 4 unità verranno brevemente descritte in seguito procedendo, da ovest a est.

2.2.1 Unità delle Encombres

Si tratta dell'unità più occidentale dell'Houiller, con estensione di ca. 1,5 km in direzione E-O alla quota del Tunnel di Base, caratterizzata dalla presenza di metapeliti (oltre il 40 %) e metarenarie (30 % ca.) così come da formazioni arricchite in carbone in percentuale importante (15 % ca.). A ovest si situa poi il fronte dell'Houiller, contatto tettonico maggiore, che separa l'intera unità dell'Houiller dalla zona del Sub-Brianzone. Quest'unità è stata ampiamente indagata dalla discenderia di St. Martin La Porte, la cui realizzazione è finita nel luglio del 2010.

2.2.2 Unità del Brequin – Orelle

Questa unità è decisamente la più sviluppata tra quelle facenti parte della zona dell'Houiller e ha un'estensione di ca. 7 km in direzione E-O alla quota del tunnel di base.

Dai dati geologici di superficie e dalle analisi condotte sui sondaggi, l'unità del Brequin – Orelle è formata da metapeliti in percentuale variabile tra il 25 % e il 40 %, da metarenarie per ca. il 50 % e da formazioni a contenuto di carbone variabile che, dall'8 % ca. dovrebbe diminuire andando verso est.

Dal punto di vista strutturale, l'unità del Brequin-Orelle si materializza con una scistosità penetrativa e con pieghe a doppia vergenza, noto come ventaglio brianzone [Fabre, 1961].

2.2.3 Unità di La Praz

L'unità di La Praz si estende sulla verticale del tunnel di base per ca. 1,5–2 km. Da quanto emerso dai rilievi di superficie e dai sondaggi, essa è costituita essenzialmente da metarenarie (90 % ca.) e da una percentuale assai ridotta di metapeliti che va dal 3 % al 15 % massimo. La presenza di carbone è pressoché nulla. Si tratta della porzione più massiccia dell'Houiller e di litologie notevolmente più consistenti rispetto a quelle caratterizzanti le due unità adiacenti.

Da un punto di vista strutturale, l'unità di La Praz si presenta come una piega plurichilometrica anticlinale con vergenza E che ne costituisce il fianco inverso, di natura litologica.

2.2.4 Unità di Fourneaux

L'unità di Fourneaux si estende sulla verticale del Tunnel di Base per ca. 2 km. Essa è costituita da metarenarie per ca. il 60 %, da metapeliti per una percentuale variabile tra il 20 % e il 40 % e da metaconglomerati per ca. il 15 %. La percentuale di carbone è inferiore all'1 %. Questi litotipi sono disposti

2.2.2 Brequin-Orelle unit

This unit is definitely the most developed of those making up the Houiller zone, and has an extension of approximately 7 km in an E-W direction at the level of the base tunnel.

Geological data from the surface and analyses carried out using probes show that the Brequin-Orelle unit is formed from metapelites, varying as a percentage between 25 % and 40 %, approximately 50 % metasediments and formations with a variable carbon content, diminishing towards the east, from approximately 8 %.

From a structural point of view, the material nature of the Brequin-Orelle unit is penetrative schistosity, with double vergence folds, known as the Brianzone Fan [Fabre, 1961].

2.2.3 La Praz unit

The La Praz unit extends vertically from the base tunnel for approximately 1.5 to 2 km. From what has emerged from surface surveys and probes, it essentially consists of metasediments (approximately 90 %) and a fairly small percentage of metapelites, between 3 % and a maximum of 15 %. There is virtually no carbon present. This is the most massive portion of the Houiller, and has lithologies that are considerably more consistent than those characterising the two adjacent units.

From a structural point of view, the La Praz presents itself as an anticlinal, multi-kilometre fold with vergence, which does not represent the reverse side. This is lithological in nature.

2.2.4 Fourneaux unit

The Fourneaux unit extends vertically from the base tunnel for approximately 2 km. It consists of approximately 60 % metasediments, a variable percentage of metapelites between 20 % and 40 %, and approximately 15 % metaconglomerates. The percentage of carbon is less than 1 %. These lithotypes alternate with fields of metaconglomerates several metres thick.

From a structural point of view, the Fourneaux unit consists of the reverse side of the anticlinal fold thrown up within the La Praz unit, with easterly vergence. The transition between the La Praz unit and the Fourneaux unit manifests itself through a gradually, increasing percentage of metasediments.

3 Excavation of the La Praz access gallery

3.1 General information

The site of the access gallery is located slightly to the east of the La Praz area, in the locality of Les Sarrazins, on the orographical right of the Maurienne valley. The entrance is at approximately 975 m above sea level. The access gallery has an overall length of 2480 m and an average incline of 12 % and enters the base tunnel at a level of 683 m. With regard to forward direction, the access gallery subdivides into 2 main sections (Figure 5), separated by a bend:

in alternanze con orizzonti di metaconglomerati di potenza metrica o plurimetrica.

Dal punto di vista strutturale, l'unità di Fourneaux costituisce il fianco inverso della piega anticlinale rovesciato nell'unità di La Praz con vergenza E. La transizione tra l'unità di La Praz e l'unità di Fourneaux si manifesta in modo graduale, attraverso un'intensificazione della percentuale di metarenarie.

3 Lo scavo della discenderia di La Praz

3.1 Generalità

Il cantiere della discenderia è collocato leggermente ad E rispetto all'abitato di La Praz, in località Les Sarrazins, sulla destra orografica della valle della Maurienne. Il piazzale di imbocco si trova a quota 975 m s.l.m. ca. La discenderia ha una lunghezza complessiva di 2480 m e una pendenza media del 12 %; s'innesta nel tunnel di base alla quota di 683 m. Per quel che riguarda le direzioni di avanzamento, la discenderia si suddivide in 2 tratti principali (Illustrazione 5), separati da una curva:

- il tratto iniziale (PM 0–854) ha direzione di avanzamento all'incirca N–S;
- il secondo tratto (PM 854–1260), in curva, piega verso O e va ad allinearsi all'incirca alla direzione del tunnel di base; la curva compie un angolo di 105°;

- the initial section (M 0–854) follows an approximately N–S forward direction;
- the second section (M 854–1260), on the bend, curves towards the west and aligns itself approximately with the direction of the base tunnel; the bend has an angle of 105°;
- the final section (M 1260–2480) follows an approximately E–W direction.

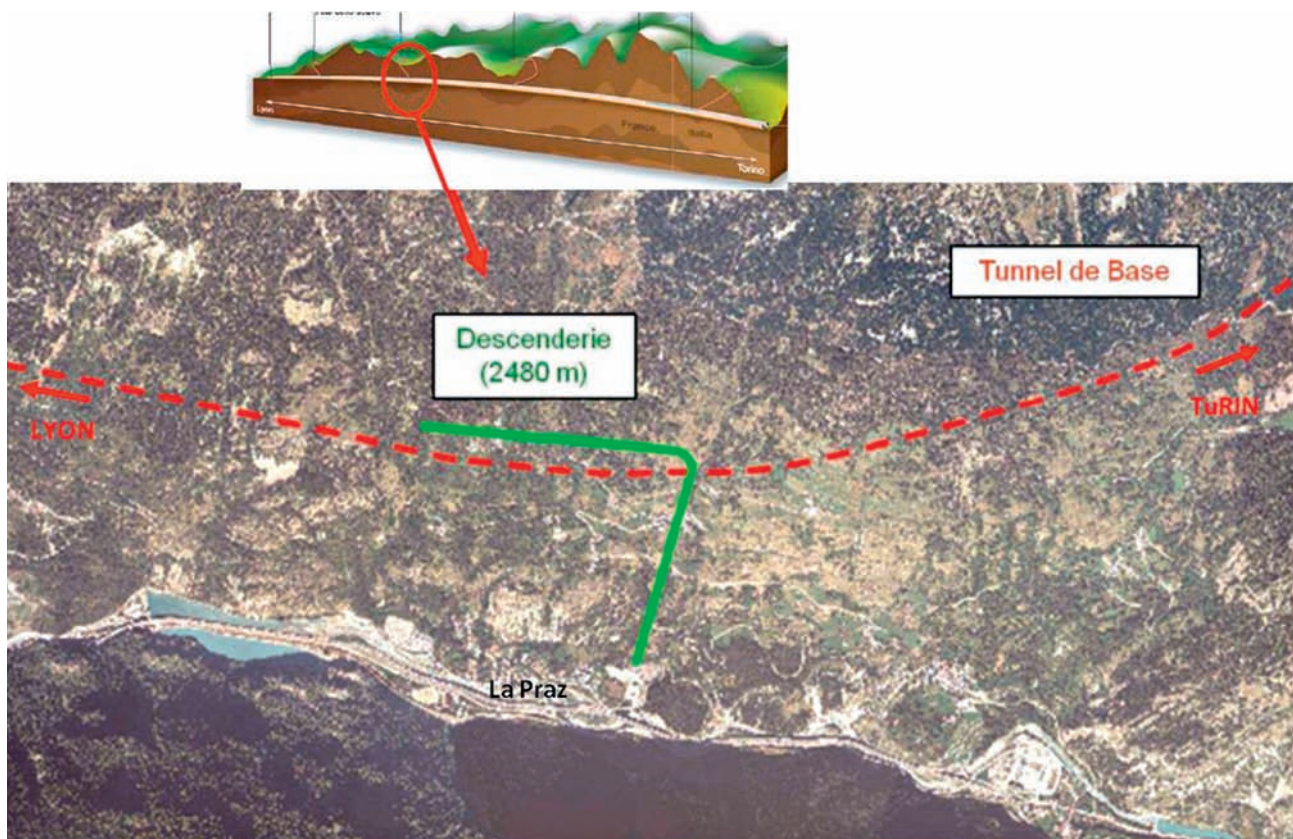
The excavation was carried out in the traditional manner; the standard profile, in a horseshoe shape, has a diameter at the extrados of approximately 11 m and a section of approximately 66 m². In line with the geological conditions found, 6 classes of excavation were allowed for, with ascending difficulty from 1 to 6 and 13 standard sections to be applied to the various classes, and increasingly large provisional lining measurements.

3.2 Available data

The main sources for the analysis of excavation data comes from surveys of the front and various monitoring data (measurements of ground deformation, provisional lining, water-courses etc.).

3.3 Geology: forecasts

During the planning phase, it emerged from the surface data (geological and structural surveys) and probes that



5 Ubicazione della discenderia di La Praz
Location of the La Praz access gallery

- il tratto finale (PM 1260–2480) con direzione all'incirca E–O.

Lo scavo è stato condotto in tradizionale; il profilo tipo, a ferro di cavallo, ha un diametro all'estradosso di ca. 11 m ed una sezione di ca. 66 m². A secondo delle condizioni geologiche riscontrate, sono state previste 6 classi di scavo, con difficoltà crescenti da 1 a 6, e 13 sezioni tipo da applicare alle varie classi, con misure di rivestimento provvisorio vieppiù importanti.

3.2 Dati a disposizione

Le fonti principali per l'analisi dei dati di scavo provengono dai rilievi del fronte e dai diversi dati di monitoraggio (misure di deformazione del terreno, del rivestimento provvisorio, delle venute d'acqua, ecc.).

3.3 Geologia: previsioni

A partire dai dati di superficie (rilievo geologico e strutturale) e dei sondaggi, era emerso in fase progettuale che la discenderia avrebbe incrociato, a partire dal portale, dapprima una zona individuata come "struttura di collasso" e successivamente l'unità di Fourneaux, formata in prevalenza da metapeliti, metarenarie e pochi metaconglomerati. Dai dati di un sondaggio (sondaggio F55), si sarebbe dovuto raggiungere

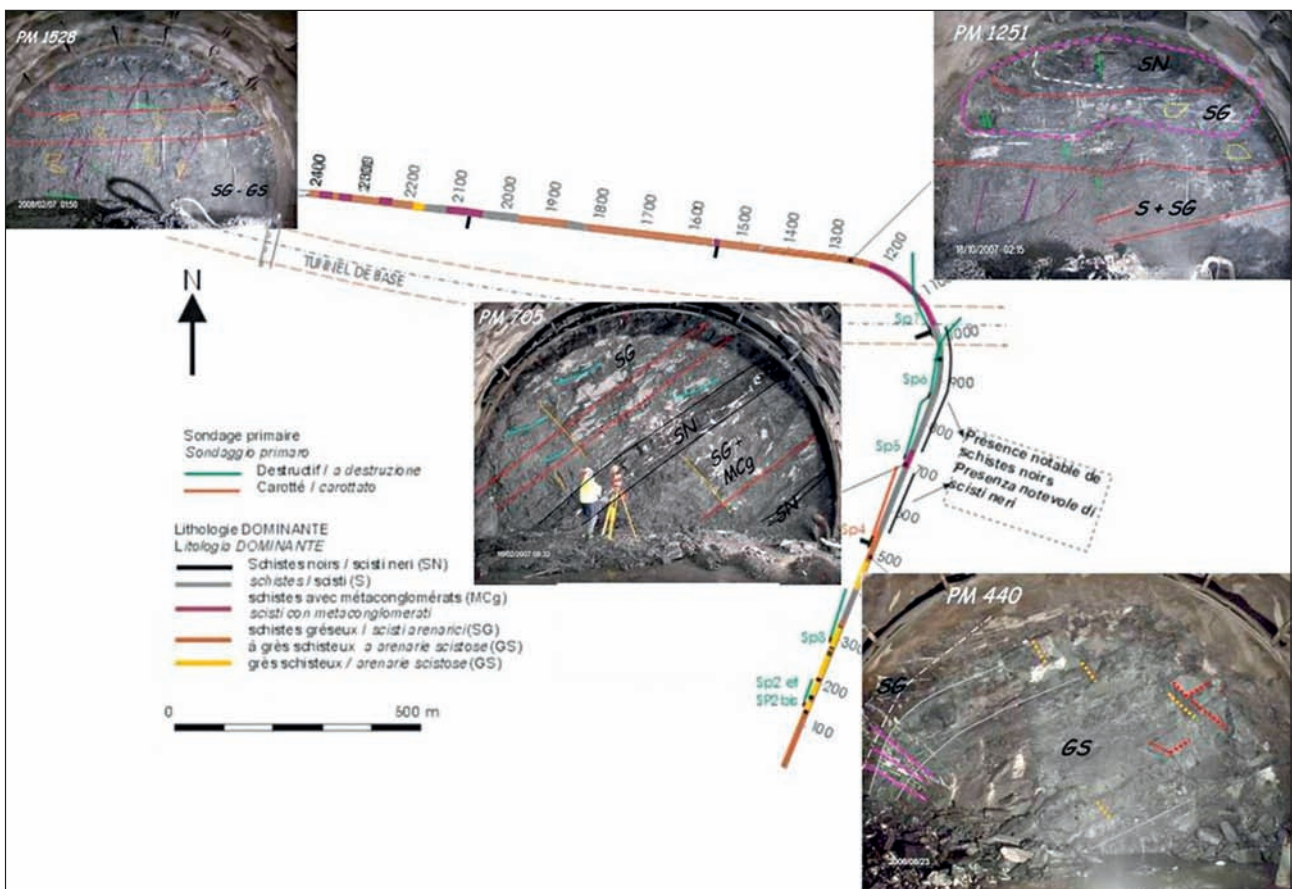
the access gallery should have passed through, from its entrance, first an area identified as a "collapse structure" and then the Fourneaux unit, predominantly formed from metapelites, metasandstones and a few metaconglomerates. According to data from a probe (probe F55), it should reach the La Praz unit, which consists predominantly of metasandstones, towards the bottom, around M 2350. The transition between the Fourneaux and La Praz units was expected to be gradual.

3.4 Geology: results

3.4.1 Geological contributions

Figure 6 outlines the different lithologies passed through over the entire length of the access gallery. The figure shows that the work was excavated entirely within the Fourneaux unit and completed within a predominantly schistose area (alternately sandstone schists, phyllite schists, black schists), with no evidence of contact with the La Praz unit being made near the foot of the access gallery. No vein of coal was passed through. Some graphite schist levels were observed, although only intermittently.

From a structural point of view, the access gallery confirmed the structure on the inverse side of the large fold that was shown up by the ground surveys carried out in 2006. This



6 Litologie attraversate nella discenderia di La Praz
Lithologies passed through within the La Praz access gallery

l'unità di La Praz, costituita in prevalenza da metarenarie, verso il fondo, intorno alla progressiva 2350 ca. La transizione tra l'unità di Fourneaux e quella di La Praz era prevista in modo graduale.

3.4 Geologia: esito

3.4.1 Contributi geologici

Nell'illustrazione 6 sono schematizzate le differenti litologie attraversate su tutta la lunghezza della discenderia. L'illustrazione evidenzia che l'opera è stata interamente scavata nell'unità di Fourneaux e ultimata in una zona a predominanza scistosa (alternanza di scisti arenacei, scisti fillitici, scisti neri), senza evidenza del contatto con l'unità di La Praz atteso vicino al piede della discenderia. Non è stata attraversata nessuna vena di carbone. Sono stati osservati soltanto puntualmente alcuni livelli di scisti grafitosi.

Dal punto di vista strutturale, la discenderia ha confermato la struttura in fianco invertito della grande piega messa in evidenza dai rilievi di terreno realizzati nel 2006. Questa struttura, molto regolare, marcata da una scistosità principale rivolta mediamente di 20–40° verso ovest, consente un'estrapolazione relativamente affidabile delle strutture osservate in discenderia verso il tunnel di base. Nei primi 600 m si sviluppa una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV) che interessa una porzione considerevole del versante, sia per quel che riguarda l'estensione, sia per quel che riguarda la profondità interessata.

D'altra parte, vengono espressi 4 principali sistemi di fratture (2 sistemi aventi direzione N–S, uno con forte pendenza E, l'altro con forte pendenza O; 2 sistemi aventi direzione E–O, uno con pendenza N, l'altro con pendenza S) lungo tutta l'opera tuttavia con una predominanza del sistema N–S con pendenza E sulla tratta parallela al tunnel di base.

3.4.2 Contributi idrogeologici

Le venute d'acqua più consistenti si sono verificate nei primi 550 m dell'opera. A partire dalla progressiva 1100 ca., la discenderia viene a trovarsi in un livello acquifero "profondo", dove non ci sono rilevanti circolazioni. Questo schema consente le seguenti conclusioni:

- il tunnel di base, all'interno degli scisti arenacei dell'unità di Fourneaux e alla quota di 500 m, dovrebbe attraversare un roccia molto poco permeabile;
- le portate istantanee, che corrispondono a livelli acquiferi confinati, non dovrebbero superare 10 l/s, a meno che non venga attraversata una zona molto fratturata;
- la portata specifica dovrebbe essere al massimo di ca. 10 l/s/km. L'impatto delle venute d'acqua non dovrebbe disturbare gli acquiferi superficiali;
- la conduttività delle acque non dovrebbe superare 350 µS/cm; non si esclude a priori la possibilità di incontrare venute decisamente più mineralizzate, in particolare a livello di acquiferi intrappolati.

structure, very regular, marked by principal schistosity turned by an average 20–40° towards the west, allows for a relatively reliable extrapolation of the structures observed within the access gallery towards the base tunnel. A Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DGSD) has developed within the first 600 m, affecting a considerable portion of the slope, with regard both to the extent and the depth involved.

In addition, 4 main fracture systems are in evidence (2 systems with a N–S direction, one with a strong easterly incline, the other with a strong westerly incline; 2 systems with a E–W direction, one with a northerly incline, the other with a southerly incline) along the entire work, although with a predominance of the N–S system with the easterly incline in relation to the section parallel to the base tunnel.

3.4.2 Hydro-geological contributions

The most consistent water courses were identified within the first 550 m of the work. From approximately M 1100, the access gallery moves into a "deep" aquifer level, where there is no substantial circulation. This pattern leads to the following conclusions:

- the base tunnel, within the sandstone schists of the Fourneaux unit and at a level of 500 m, is likely to pass through highly impermeable rock;
- instantaneous flows, corresponding to confined aquifer levels, should not exceed 10 l/s, unless a very fractured area is passed through;
- the specific flow should be a maximum of approximately 10 l/s/km. The impact of water courses should not disturb surface aquifers;
- the conductivity of the water should not exceed 350 µS/cm; this does not exclude a priori the possibility of coming across courses with a substantially higher mineral content, in particular at the level of trapped aquifers.

3.4.3 Geo-mechanical contributions

The La Praz access gallery has enabled the behaviour of schists within the Fourneaux unit to be investigated properly: there is no particular problem to report (no substantial convergence, even under a cover of 700 m). The only issues of note are instability phenomena due to frequent intense fracturing of the mass.

No trace of firedamp was found, as no carboniferous level was encountered within the Fourneaux unit. In addition, certain indices for classifying the rock mass, such as the GSI and RMR, were assessed when tackling the excavation of the base tunnel.

From the data available, and in particular from that set out within surveys of the front, the GSI index was estimated qualitatively on the site for each survey of the front. It was deemed possible and relevant to determine the RMR index directly, although this remained qualitative for some parameters, such as those relating to discontinuity conditions

3.4.3 Contributi geomeccanici

La discenderia di La Praz ha consentito di indagare bene il comportamento degli scisti dell'unità di Fourneau: nessun problema particolare da segnalare (nessuna convergenza rilevante, neppure sotto una copertura di 700 m). Sono degni di nota soltanto i fenomeni d'instabilità dovuti ad una fratturazione spesso intensa dell'ammasso.

Per quanto riguarda il "grisù" non ne è stata rilevata traccia, dato che non è stato rivelato nessun livello carbonifero all'interno dell'unità di Fourneau. Inoltre, per affrontare lo scavo del tunnel di base, sono stati valutati alcuni indici di classificazione dell'ammasso roccioso come il GSI e l'RMR.

Dai dati a disposizione, e in particolare da quelli riportati nei rilievi del fronte, l'indice GSI è stato stimato in modo qualitativo in cantiere per ogni rilievo del fronte. Si è ritenuto possibile e pertinente determinare l'indice RMR direttamente, anche se rimane qualitativo per alcuni parametri quello relativo alle condizioni delle discontinuità (giunti), valutato a partire dalle fotografie e delle descrizioni del rilievo del fronte. Si deve tener presente che l'indice RMR è stato valutato per la sola tratta tra le progressive 1500 e 2480, perché tale tratta è parallela al tunnel di base e quindi ne facilita l'estrapolazione dei dati per lo scavo del tunnel stesso.

Inoltre, ricavando 3 valori di resistenza a compressione monoassiale per ogni rilievo del fronte, più precisamente quelli minimo, medio e massimo, si è deciso di stimare 3 valori dell'RMR secondo la matrice riportata qui di seguito:

	RMR minimo (peggiori parametri possibili)	RMR medio (parametri intermedi rappresentativi delle condizioni dominanti)	RMR massimo (migliori parametri possibili)
Parametro 1	σ_{min}	σ_{med}	σ_{MAX}
Parametro 2	RQD minimo	RQD intermedio	RQD massimo
Parametro 3	spaziatura delle discontinuità minima (< 60 mm)	spaziatura delle discontinuità intermedia (100 mm)	spaziatura delle discontinuità maggiore (200 mm)
Parametro 4	superfici delle discontinuità con riempimento argilloso < 5 mm di spessore e giunti aperti 1-5 mm	valore intermedio	superfici delle discontinuità poco scabre, con separazione < 1 mm delle superfici e lembi soffici

Queste valutazioni hanno consentito il confronto tra le condizioni geologiche osservate e quelle geomeccaniche (Illustrazione 7), in particolare:

- tra le progressive 0 e 600: l'esistenza della DGPV con estrema variabilità delle caratteristiche geomeccaniche (GSI variabile tra 20 e 45 con porzioni omogenee ridotte) e presenza significativa d'acqua (portata istantanea al fronte dell'ordine di 15-20 l/s, dopo campagna di iniezioni);
- tra le progressive 610 e 650: si ritiene possibile che la

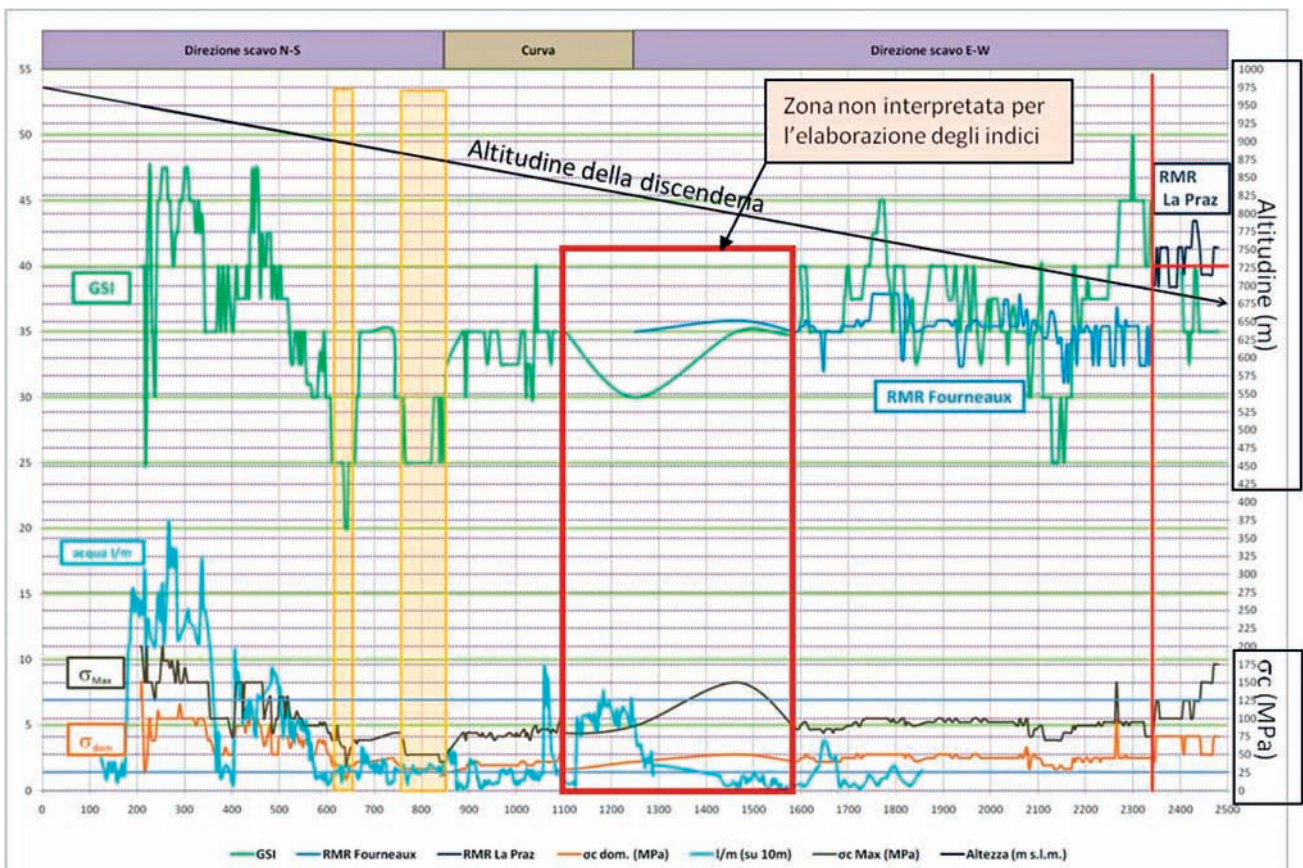
(joins), assessed by means of photographs and descriptions within the survey of the front. It should be pointed out that the RMR was assessed only in the section between Ms 1500 and 2480, as this section is parallel to the base tunnel, and can therefore facilitate the extrapolation of data on the excavation of that tunnel.

In addition, through the obtaining of 3 values for resistance to mono-axial compression for each survey of the front, more specifically minimum, average and maximum values, it was decided that 3 values for the RMR should be estimated, in line with the table set out below:

	Minimum RMR (worst possible parameters)	Average RMR (intermediate parameters, representative of dominant conditions)	Maximum RMR (best possible parameters)
Parameter 1	σ_{min}	σ_{med}	σ_{MAX}
Parameter 2	Minimum RQD	Intermediate RQD	Maximum RQD
Parameter 3	Spacing of minimum discontinuity (< 60 mm)	Spacing of intermediate discontinuity (100 mm)	Spacing of greatest discontinuity (200 mm)
Parameter 4	Discontinuity surfaces with clay filling < 5 mm in thickness and open joins 1-5 mm	Intermediate value	Discontinuity surfaces that are not very rough, with separation < 1 mm between surfaces and loose edges

These assessments have allowed for a comparison between the geological and geo-mechanical conditions observed (Figure 7), in particular:

- between Ms 0 and 600: the existence of the DGSD, with extreme variability of its geo-mechanical characteristics (GSI variable between 20 and 45, with small uniform portions), and a significant presence of water (instantaneous flow to the front of the order of 15-20 l/s, following injection action);
- between Ms 610 and 650: it is thought that the surface of the DGSD slip may be located between Ms 610 and 650. In fact, all parameters studied within this area diminish simultaneously, and reach absolute minima: GSI reaches a minimum of 20; although it is not in the presence of any change in lithology, the value of σ_{MAX} diminishes drastically, indicating that the rock is much weaker here than at all other points, probably owing to the shattering that it has undergone, thus causing the properties of resistance of the fractured component to predominate in comparison to the sound rock;
- between Ms 760 and 850: this is a second area with poor geo-mechanical characteristics, although with slightly better values than section 610-650, and most importantly without the presence of water;
- between Ms 860 and 1260 (area of the bend): the geo-mechanical characteristics are quite uniform, with a GSI of 30-35 and resistance to compression under predominant



7 Andamento degli indici RMR e GSI e dei parametri σ e portate misurate al fronte nella discenderia di La Praz
 Progression of the RMR and GSI indices, σ parameters and flows measured at the front within the La Praz access gallery

superficie di scivolamento della DGPV possa collocarsi tra le progressive 610 e 650. In questa zona, infatti, tutti i parametri studiati diminuiscono contemporaneamente e raggiungono i minimi assoluti: il GSI raggiunge il minimo di 20; il valore di σ_{MAX} , pur non essendo in presenza di alcun cambio di litologia, diminuisce drasticamente, indicando che la roccia si mostra molto più debole rispetto a tutti gli altri punti, probabilmente a causa dell'intensa frantumazione che essa subisce, facendo quindi predominare le proprietà di resistenza della componente fratturata rispetto alla roccia sana;

- tra le progressive 760 e 850: si trova una seconda zona con caratteristiche geomeccaniche scadenti, ma con valori leggermente migliori rispetto alla tratta 610–650 e soprattutto senza presenza di acqua;
- tra le progressive 860 e 1260 (zona della curva): le caratteristiche geomeccaniche sono abbastanza omogenee con GSI di valore pari a 30–35 e resistenza alla compressione nelle condizioni predominanti dell'ordine di 45 MPa. Le venute d'acqua osservate in tale zona si possono spiegare con la messa in comunicazione dell'opera con la DGPV attraverso sondaggi in avanzamento;
- tra le progressive 1260 e 2340: l'indice GSI mantiene una certa variabilità ma i cambi risultano più progressivi. Intorno alla progressiva 2150 vi è una zona nuovamente fratturata in corrispondenza di una zona di taglio che è eviden-

conditions of the order of 45 MPa. Water courses observed in this area may open up when the work comes into contact with the DGSD through advance probes;

- between Ms 1260 and 2340: the GSI index maintains a certain variability, but changes are more advanced. Around M 2150, a newly fractured area similar to a cut area appears on surveys of the front. The σ_{med} and σ_{MAX} values become more uniform, settling at average values of 45 and 95 MPa respectively;
- between Ms 2340 and 2480: behaviour changes again from approximately M 2360. At parity of GSI, with values between 30 and 40, values for rock resistance increase progressively. This is particularly true for σ_{MAX} which shows progressive lithological variation. Whereas σ_{med} may be influenced by rock fracturing conditions, this does not occur for σ_{MAX} at parity of GSI, which identifies an intrinsic property of the lithotype. In the case in question, however, the increase in values occurred for both resistances. This increase could be a key factor in the move from the Fourneaux unit, made up of metapelites and metaconglomerates, to the La Praz unit, where the percentage of metasandstones reaches 90 %, according to observations made on the surface. This increase translates to a level of RMR that has a certain uniformity of value (around RMR 35, excavation class IV) for the Fourneaux unit up to approximately M 2360, with a subsequent increase and new

ziata nei rilievi di fronte. I valori di σ_{med} e σ_{MAX} si regolarizzano, attestandosi intorno al valore medio rispettivamente di 45 e 95 MPa;

- tra le progressive 2340 e 2480: il comportamento cambia nuovamente dalla progressiva 2360 ca. A parità di GSI, con valori compresi tra 30 e 40, i valori di resistenza della roccia aumentano progressivamente. In particolare questo è vero per la σ_{MAX} , che dimostra una variazione litologica progressiva. Se infatti σ_{med} può essere più influenzato dalle condizioni di fratturazione della roccia, questo non avviene per σ_{MAX} a parità di GSI, che identifica una proprietà intrinseca del litotipo. Nel caso in esame, comunque, l'aumento di valori si verifica per entrambe le resistenze. Quest'aumento potrebbe sottolineare così il passaggio dall'unità di Fourneaux, composta da metapeliti e metaconglomerati, all'unità di La Praz, ove la percentuale di metarenarie raggiunge il 90 % secondo le osservazioni fatte in superficie. Questo aumento si traduce a livello di RMR con una certa omogeneità del valore (intorno a RMR 35, classe di scavo IV) per l'unità di Fourneaux fino a PM 2360 ca., con un successivo aumento e nuova uniformità di valore (intorno a RMR 40, classe di scavo III-IV) per la probabile unità di La Praz.

4 Conclusioni

Lo scavo della discenderia di La Praz ha permesso di integrare ampiamente la conoscenza dell'unità di Fourneaux, la quale sarà attraversata per ca. 2 km dal tunnel di base:

- esistenza di una DGPDV al di sopra della quota del tunnel di base, la quale non interesserà lo scavo del tunnel di base;
- struttura in fianco inverso della grande piega osservata in superficie, molto regolare. Tale struttura consente di estrapolare in modo affidabile le strutture attese alla quota del tunnel di base;
- nessun comportamento differito marcato degli scisti;
- scavo del tunnel di base in condizioni di acquifero di tipo profondo, cioè senza rilevanti circolazioni, con portate istantanee che non dovrebbero superare 10 l/s, salvo se venisse attraversata una zona molto fratturata, e portata specifica al massimo di ca. 10 l/s/km.

Per quanto riguarda l'unità di La Praz, anche se non è stata riconosciuta chiaramente dal punto di vista litologico, l'analisi dei parametri geomeccanici ha mostrato un aumento progressivo della resistenza alla compressione. A parità di condizioni geologiche e strutturali (fianco inverso della grande piega, densità di fratturazione omogenea, ecc.), questo aumento potrebbe tradursi con un miglioramento delle proprietà intrinseche della roccia, coerentemente con l'apparizione dell'unità di La Praz.

uniformity of value (around RMR 40, excavation class III-IV) for the likely La Praz unit.

4 Conclusion

Excavation of the La Praz access gallery has enabled knowledge of the Fourneaux unit, which will have approximately 2 km of the base tunnel passing through it, to be integrated in full:

- existence of DGSD above the level of the base tunnel, which will not affect excavation of the base tunnel;
- a structure on the reverse side of the large fold observed on the surface, very regular. This structure enables the structures expected at the level of the base tunnel to be extrapolated in a reliable manner;
- no marked delayed behaviour of schists;
- excavation of the base tunnel under deep-type aquifer conditions, i.e. without substantial circulation, with instantaneous flows that should not exceed 10 l/s, unless a very fractured area is passed through, and the specific flow should be a maximum of approximately 10 l/s/km.

With regard to the La Praz unit, although this has not been clearly recognised from a lithological point of view, analysis of the geo-mechanical parameters has shown a progressive increase in resistance to compression. Under equal geological and structural conditions (reverse side of the large fold, density of uniform fracturing, etc.) this increase could translate to an improvement in the intrinsic properties of the rock, consistent with the appearance of the La Praz unit.

Rafael Carmona, Dr., Gerente de Coordinación Técnica de CONAGUA, Mexico City/MEX

Túnel Emisor Oriente

A Deeper Outfall Sewage Tunnel for the Metropolitan Area of Mexico City

The Metropolitan Area of Mexico City, with a population over 20 million, has suffered multiple flooding events through its history. To offer the population greater protection, the Federal Government of Mexico has started to construct the Eastern Outfall Tunnel (TEO). The TEO, with a length of 62 km, is the longest sewage tunnel under construction anywhere in the world. Six tunnel boring machines have been procured for excavation of the tunnel; of these, 3 are already in operation.

In view of the harm that a failure in the sewage system could cause, the Federal Government of Mexico decided to build the Túnel Emisor Oriente (Eastern Outfall Tunnel). This effort will be a long-term solution to avoid catastrophic flooding events in the ZMVM (Mexico Valley Metropolitan Area).

The subsoil in the valley consists of soft clays with a high water content, a situation that makes the ground extremely deformable and compressible. Water extraction for human consumption has increased subsidence rates, with a huge impact on the urban infrastructure. In particular, local subsidence has reduced the capacity of surface and underground drainage.

Several works have been constructed to control the flooding events and sewage. However, the capacity has been reduced. The Gran Canal (Great Canal) had a capacity of 80 m³/s in 1975; by 2007 it had a capacity of only 15 m³/s. The Emisor Central (Central Outfall Tunnel) reduced in capacity from 170 m³/s to 120 m³/s in the same period. Only the Emisor Poniente (Western Outfall) has retained its capacity of 30 m³/s. In 1975, however, the population of the ZMVM was 10 million; by 2007, it had grown to 19 million, creating a total drainage need of 315 m³/s. Today, the total capacity is 165 m³/s, a deficit of 150 m³/s (Figure 1).

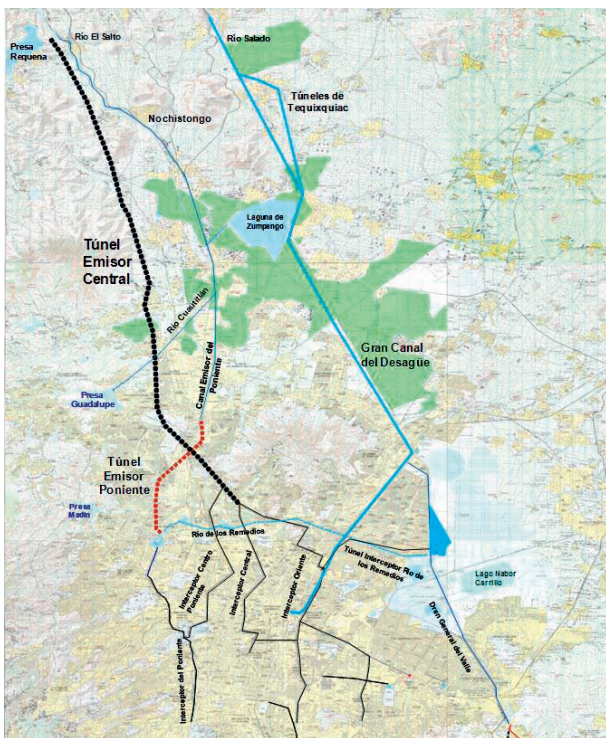
It is necessary to double drainage capacity for waste and rainwater. In addition the programmed maintenance of both tunnels during the dry seasons must also be accommodated.

From another perspective, subsidence has also caused damage to parts of the drainage infrastructure. In 1910, the ground level of Mexico City was 1.90 m above the Texcoco Lake level. Today, it is below the lake. The current maximum subsidence in the Mexico Valley is 40 cm per year, and average subsidence in the city is 10 cm per year.

As for the Gran Canal, subsidence has affected its gradient and hydraulic capacity. In 1910, it had a gradient of 0.00019. By 1951, this had reduced to 0.00012. With the beginning of excavation for the construction of the deep sewage system in 1969, the gradient changed to 0.00010. In 1992, due to the negative gradient of the canal, capacity was reduced to just 15 m³/s of the 80 m³/s needed, making it necessary to use a pumping system.

Due to the fact that it was mandatory to use the deep sewage system to evacuate rainwater from the city, it was impossible to close it for inspection and maintenance during the dry season.

The ZMVM has suffered from recurrent flooding events caused by extraordinary precipitation. The most extreme



1 General location of the existing sewage systems for the metropolitan area of Mexico City

Tunnel Emisor Oriente

Tiefer Abwassertunnel für den Grossraum Mexiko-Stadt

Der Grossraum Mexiko-Stadt mit einer Bevölkerung von über 20 Mio. Menschen ist in seiner Geschichte schon mehreren Überschwemmungen ausgesetzt gewesen. Um die Bevölkerung besser zu schützen, hat die mexikanische Regierung den Bau des Abwassertunnels Ost (Túnel Emisor Oriente, TEO) in Auftrag gegeben. Der 62 km lange TEO ist der längste im Bau befindliche Abwassertunnel weltweit. Sechs TBM wurden für den Tunnelvortrieb bereitgestellt, 3 davon haben bereits die Arbeit aufgenommen.

Tunnel Emisor Oriente

Tunnel approfondi pour l'évacuation des eaux résiduaires de la zone urbaine de Mexico

La zone urbaine de Mexico, dont la population s'élève à plus de 20 millions d'habitants, a déjà été exposée plusieurs fois à des inondations au cours de son histoire. Pour mieux protéger la population, le gouvernement mexicain a décidé la construction du Tunnel de l'Est qui évacuera les effluents urbains (Túnel Emisor Oriente, TEO). D'une longueur de 62 km, le TEO est le plus long tunnel d'eaux usées actuellement en construction dans le monde. Six tunneliers TBM ont été mis en position pour l'excavation du tunnel, dont trois ont déjà commencé leur travail.

Tunnel Emisor Oriente

Tunnel di scarico di profondità per l'area urbana di Città del Messico

L'area urbana di Città del Messico, con una popolazione di oltre 20 milioni di abitanti, nel corso della sua storia ha già subito numerose alluvioni. Per proteggere meglio gli abitanti, il governo messicano ha commissionato la costruzione del Tunnel di Scarico Est (Túnel Emisor Oriente, TEO). Con i suoi 62 km, il TEO è il tunnel di scarico in costruzione più lungo al mondo. Sono state messe a disposizione sei TBM per l'avanzamento, di cui tre hanno già iniziato a lavorare.

flooding occurred in 1910, 1950, and in July and August of 2006.

As for the Emisor Central, the need to operate it without interruption has prevented maintenance work being carried out on the tunnel since 1992.

A failure in the Emisor Central during the rainy season would cause hazards to the downtown area of Mexico City, some of the municipalities located to the east of the city and to the city's international airport. In all, this constitutes a flood-endangered area of 217 km², and flooding here would paralyse the economic activities of the city and the country, inflicting serious harm to property and the population (Figure 2).

On the basis of an analysis by the Instituto de Ingeniería de la UNAM (National University Engineering Institute), the possible flooding events caused by a failure in the Túnel Emisor Central would occur between the altitudes of 2226 and 2231 m above sea level (5 m).

1 Current situation, emergency provisions

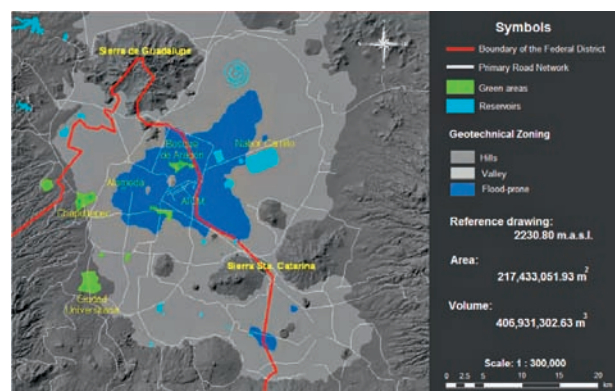
The works performed between July, 2007 and February, 2008 made it possible to carry out initial inspections and to start rehabilitation of the Emisor Central and other parts of the

deep sewage system. However, these works will not eliminate the deficit of 150 m³/s existing since 2007.

Despite the fact that the drainage capacity of the Mexico Valley has increased by 30 m³/s, subsidence of the ground will limit operational life to a maximum of 8 years.

2 Túnel Emisor Oriente: a long-term solution

The TEO will reduce the risk of flooding events in the ZMVM, increase capacity for evacuation of sewage water by 150 m³/s



2 Flooding forecast in case of a failure in the Emisor Central



3 General location of the "Túnel Emisor Oriente" with 24 shafts

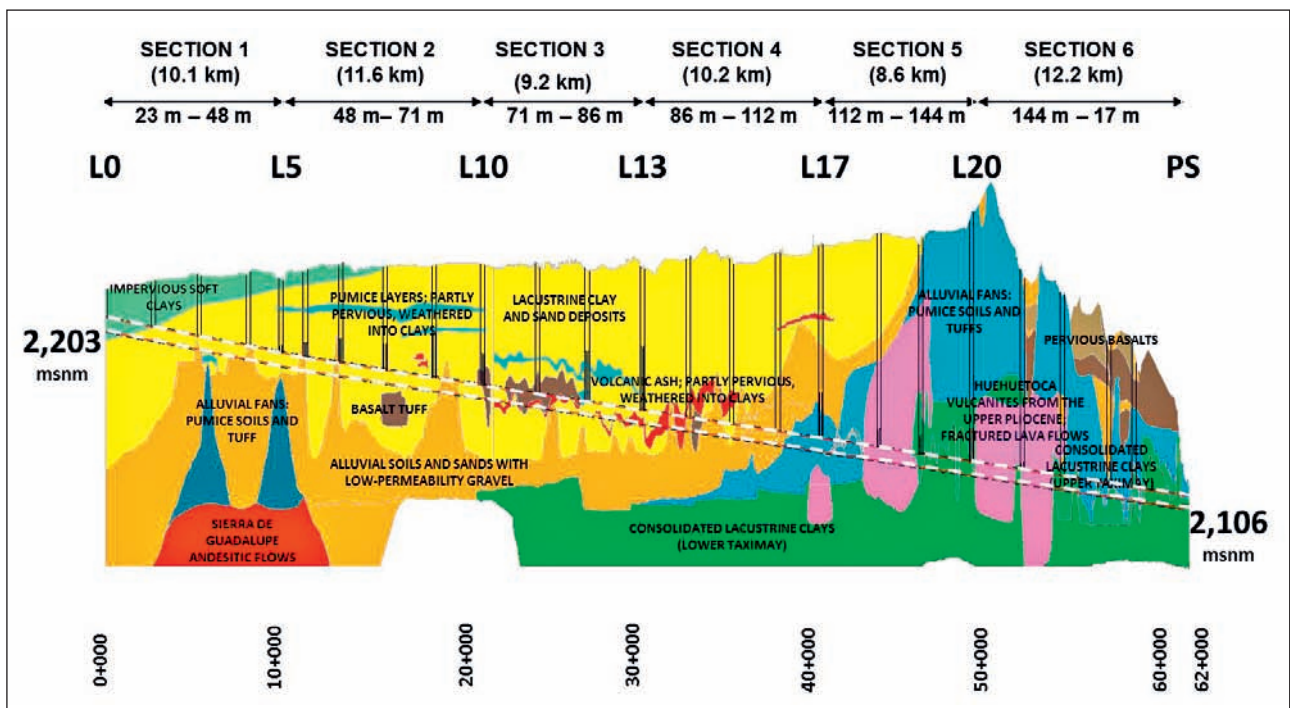
and allow performance of maintenance work during the dry season in the various parts of the deep sewage system, permitting alternating operation of the 2 tunnels. The TEO will start in the area which suffers the worst problems, branching off from the rainwater collectors with an access shaft that was once part of the city's deep sewage system. The TEO will feature several shafts of depths of 20 to 160 m and 6 tunnel sections between these.

The tunnel will be 62 km long, with a final inner diameter of 7 m and an average gradient of 0.0016. It will discharge water at the point at which the Emisor Central terminates, where the Planta de Tratamiento Atotonilco (Atotonilco Sewage Water Treatment Plant) has been constructed, with a capacity of 35 m³/s. Twenty-four shafts will provide access to the worksites, and will also be used for ventilation and maintenance (Figure 3).

In the initial stage, the TEO will be driven from Shaft 0 to Shaft 5, where the Planta de bombeo El Caracol (El Caracol Pumping Plant) will be connected to El Gran Canal. This first stage will improve the protection of the ZMVM against flooding events until the TEO is finished. This first stage is scheduled to be completed by the end of 2012.

2.1 Geological profile

For the first 37,000 m, the tunnel traverses lacustrine deposits. The initial 3000 m consist of clay, the following 34,000 m of silt and sandy clay. In these 34,000 m, there are 4000 m of basalt and volcanic ash and 7000 m of slightly compacted ash. From KM 34 to KM 39, the tunnel passes through alluvial sand and poorly permeable gravel. From KM 39 to KM 43, there are permeable alluvial deposits and slightly cemented boulders with a diameter of up to 0.80 m. The tunnel continues through Pliocene volcanites up to KM 46. In the final sector, the tunnel traverses lacustrine clays, also from the Pliocene. These are located in tectonic blocks covered by alluvial fan and interspersed with basaltic lava flows (Figure 4).



4 Geological profile



5 EPB type TBM starting the excavation at the end tunnel section

2.2 Geohydrology

Some aquifers have been detected in the section between Shafts 12 and 15. Minor confined aquifers are evidence of artesian water in the section between Shafts 18 and 21, with piezometric measurements of 700 kPa above the tunnel and in the section between Shafts 22 and 24.

2.3 Geotechnical engineering

- Zone 1A: This is 2753 m long, and is a zone of soft soil, with more than 400 % water, low cutting resistance and high compressibility; the water levels correspond to the hydrostatic pressure.
- Zone 1B: This is 7300 m long, and is a transition zone, with soft clay and a water content of above 200 %, and soil conformed by rigid sediment with 100 % less humidity. Sand crystals have been detected in this zone.
- Zone 2: This is a transition zone of 11,582 m length, with less cover, of soft soils. It features deformable materials at the tunnel level, and water flowing through the sand crystals. The water content is above 50 %, but is of low pressure.
- Zone 3: This is 19,360 m long, and is a transition zone, featuring hard soil and hard rock. It also features abrasive basaltic rock, sand crystals with water and deformable materials. The piezometric measurements indicate pressures that increase up to 4 bar over the tunnel elevation.
- Zone 4: This is a mountain zone and is 20,808 m long, featuring hard soil of low deformability. It includes rocks surrounded by a clay matrix, and exhibits water pressure of above 5 bar, but with a water content of less than 50 %.

3 Construction update

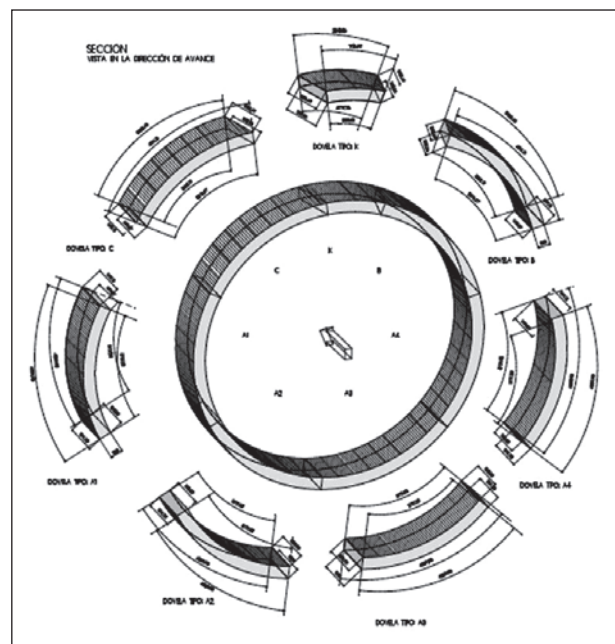
Twenty-four shafts have been constructed for this project, 6 with a diameter of between 16 m and 20 m, these being used as entry and exit points for the TBMs. The remainder the shafts have a diameter of 12 m.

Section 1 starts at Shaft 0 and terminates at Shaft 5. Section 2 is to be constructed from Shaft 5 to Shaft 10. Section 3 is to be excavated crosscurrent, starting at Shaft 13 and ending at

Shaft 10. Section 4 will run from Shaft 17 to Shaft 3, Section 5 from Shaft 20 to Shaft 17. Finally, Section 6 will run from the end of the tunnel to Shaft 20.

The federal government has purchased 6 Earth Pressure Balance (EPB) tunnel-boring machines (TBM) and mucking systems for removal of excavated material. These machines were manufactured abroad, and are designed for the specific subsoil conditions of the corresponding section. All have now arrived at the sites. Two of these TBMs have a cutting-wheel diameter of 8.70 m, for driving of Sections 1 and 2. These 2 machines were manufactured by Herrenknecht and have a total cutter-head power of 1600 kW, a maximum speed of 4 rpm and a total thrust of 79,460 kN. The cutter heads of these 2 machines are designed for excavation of soft materials. The cutting wheel diameter of the machines for the other 4 sections is 8.90 m, with a cutter head designed for excavation of mixed materials. Three of these machines are of Robbins manufacture, with a length of 120 m, a total cutter-head power of 1900 kW, a total thrust of 78,000 kN, and a maximum speed of 3 rpm. The sixth TBM is a Herrenknecht machine, with a total cutter-head power of 2080 kW, a maximum speed of 1.8 rpm and a total thrust of 62,437 kN (Figure 5).

On the basis of experience of the subsoil conditions in the first 2 sections, the mucking arrangements will employ a pumping system for haulage of the excavated material. A belt system will convey the muck out of the tunnel in the other 4 sections. The primary lining for the first 2 sections will consist of reinforced concrete segments of 0.35 m in thickness, with a casted final lining, also of reinforced concrete, and of the same thickness, using sliding formwork. The inner diameter



6 Seven concrete segments for the primary support at Sections 1 and 2



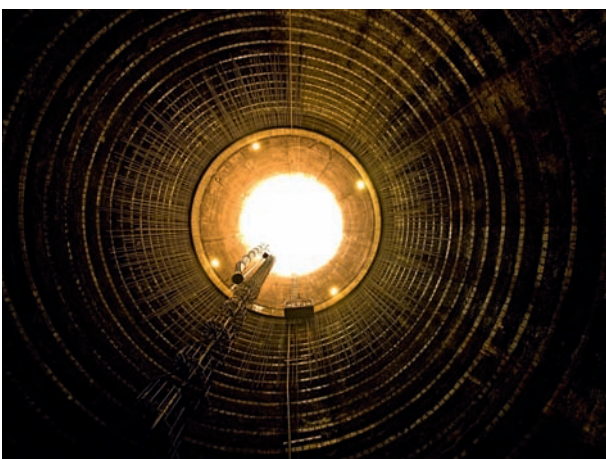
7 Upper part of Shaft 5

will be 7 m. The ring configuration for these first 2 sections will consist of 6 main segments and 1 key segment.

For the final 4 sections, the main lining will consist of reinforced-concrete ring segments of 0.40 m in thickness, plus a final casted lining of a thickness of 0.40 m, also using sliding formwork. The inner diameter will also be 7 m, the ring design comprising 7 main segments and 1 key segment.

Each ring is 1.5 m in width. A total of 42,000 rings will be required for this project; 9 different ring segment types have been designed to cover the various subsoil conditions. The higher-resistance segments will be used for the section between Shaft 20 and Shaft 24 (Figure 6).

In view of the varying subsoil conditions, 3 different procedures have been applied for construction of the shafts. The first consists of excavation in stages up to 3 m. Ground support is accomplished using steel-reinforced shotcrete and rock bolts. The bottom slab of the shaft is cast once excavation has been completed. An inner wall is then constructed, using sliding formwork, as the concluding operation. Five shafts are under construction using this procedure.



9 Steel reinforcement for the final shaft walls



8 Primary support installed by concrete segments

The second procedure commences with in-situ casting of diaphragm, or "Milan", walls, founded in deep rectangular excavations, and forming a polygonal, virtually circular wall structure. Excavation is accomplished by means of guided clamps, 45 m being the maximum depth in this case, or a hydropower trench cutter for use down to 120 m. After completion of this wall, the inner section of the shaft is excavated, and a reinforced-concrete bottom slab cast. Four shafts have been constructed using this procedure.

The third procedure is a combination of the first two. The shaft head is constructed using diaphragm, or Milan walls, while the lower section employs the conventional procedure. Fourteen shafts have been built applying this procedure (Figure 7).

The status of tunnel excavation work is as follows: from Shaft 0, 898.5 m of tunnel have been excavated, and 599 concrete rings for the first lining installed. In the case of Shaft 5, 331.5 m of tunnel have been excavated, and 221 rings installed (Figure 8). Shaft 13 is almost completed; here, however, it has proven necessary to cast the bottom slab under 12 m of water, since a high-pressure aquifer has been encountered.



10 View of the exit canal from the tunnel

Shaft 20 is the deepest in this project. For the first time anywhere in the world, 120 m Milan walls are being used to create a shaft, using 32 boards, each of 1.20 m in thickness, and a hydropower trench cutter. The shaft has now been excavated within the walls. After completion of excavation, the conventional procedure was used to achieve the final depth of 150 m (Figure 9).

The exit canal at the end of the tunnel has been excavated and the walls built. The TBM has been assembled, complete with the belt-conveyor system, 726 m of tunnel have been excavated and 484 concrete rings installed (Figure 10).

4 The benefits of the TEO

The Túnel Emisor Oriente will improve quality of life in the locality, eliminating catastrophic flooding events, hazards for human life, damage to private and public property, and the financial costs of such disasters. The construction of this

tunnel also provides an important impulse for the country's construction industry, generating numerous jobs, both directly and indirectly. The experience gained in the building of this tunnel will assist in the planning of new projects by all participants.

5 Conclusion

Construction of the TEO is part of the "Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México" (Mexico Valley Hydrological Sustainability Programme), the main targets of which are upgrading of the sewage system, sustainable water supply and 100 % treatment of sewage.

Additional benefits will be the conservation of water flows and bodies of water, reducing depletion of the aquifers, assuring the availability of the main drinking-water sources, reducing subsidence and improving sanitary conditions in the endangered zones.

Mario Peláez González, Master of Science in Civil Engineering, INECO, Madrid/E

Pajares Tunnel Project

High-speed line between Madrid and Oviedo

The Pajares Tunnel, located in the north of Spain on the high-speed line between Madrid and Oviedo, is 25 km long. The excavation was carried out with 5 TBM and was completed in 2009. In this paper, different phases of the project and the most serious difficulties are presented. Likewise, a summary of all the problems – logistical, geological, geotechnical, etc. – that arose in the construction process is given.

1 Presentation

The Pajares Tunnel is situated on the new Asturias access high-speed railway line from the Castilian Plateau. It forms part of the Pajares Bypass, which ADIF (Railway Infrastructure Administrator) is currently constructing.

The development of high-speed railway lines in Spain commenced some 20 years ago and is continuing with the construction of new lines, comprising the building of numerous

tunnels in order to overcome orographic barriers on the Iberian Peninsula. The most technically advanced methods available have been employed in the construction of these tunnels, and recently there has been a significant increase in the use of TBM, especially in tunnels exceeding 5 km in length (Figures 1 and 2).

The Pajares Bypass crosses the Cantabric Mountains and is to replace the existing line (opened in 1884), which is now very difficult to operate. It is being developed from La Robla and



1 Pajares situation

Tunnelprojekt Pajares

Hochgeschwindigkeitslinie Madrid – Oviedo

Der Pajares-Tunnel im Norden Spaniens auf der Hochgeschwindigkeitslinie zwischen Madrid und Oviedo ist 25 km lang. Der Vortrieb erfolgte mit 5 TBM und wurde 2009 fertiggestellt. Der Vortrag stellt verschiedene Projektphasen und die jeweils grössten Probleme vor. Ausserdem liefert er einen Überblick über die Herausforderungen des Projekts auf logistischer, geologischer und geotechnischer Ebene.

Projet de Tunnel Pajares

Ligne à grande vitesse Madrid – Oviedo

Le Tunnel Ferroviaire du Pajares, situé au nord de l'Espagne, sur la ligne à grande vitesse entre Madrid et Oviedo, fait 25 km de long. L'excavation a été réalisée avec 5 tunneliers TBM et achevée en 2009. L'exposé présente différentes phases du projet et les plus grands problèmes rencontrés dans chacune d'elles. D'autre part, il livre un aperçu sur les défis posés par le projet au niveau logistique, géologique et géotechnique.

Progetto Tunnel di Pajares

Tratta ad alta velocità Madrid – Oviedo

Il Tunnel di Pajares, nel nord della Spagna, sulla tratta ad alta velocità tra Madrid e Oviedo, è lungo 25 km. L'avanzamento è stato effettuato con 5 TBM ed è stato portato a termine nel 2009. Il trattato presenta varie fasi del progetto e i problemi maggiori riscontrati in queste fasi. Fornisce inoltre una panoramica delle sfide del progetto dal punto di vista logistico, geologico e geotecnico.

Pola de Lena, with a base tunnel of 25 km, and other smaller tunnels in both approach areas.

Project construction began with the base tunnel in 2004; subsequently, the approach construction contract was awarded. The current base tunnel project comprises only the underground civil works, but no track or interior works. The execution time was expected to be 5 years, and the excavation of both tubes was completed in 2009.

2 The design

2.1 Various stages

There were various stages in this project, financed by the Spanish Ministry for Development, excluding studies carried out by previous administrations.

The Feasibility Study (FS), directed by the General Railways Management of the Ministry for Development, marked the commencement of the project in November, 1997. The FS was completed in December, 1998.

The Geological-Geotechnical Study (GGS), also directed by the Ministry, was carried out between November, 2000 and September, 2002.

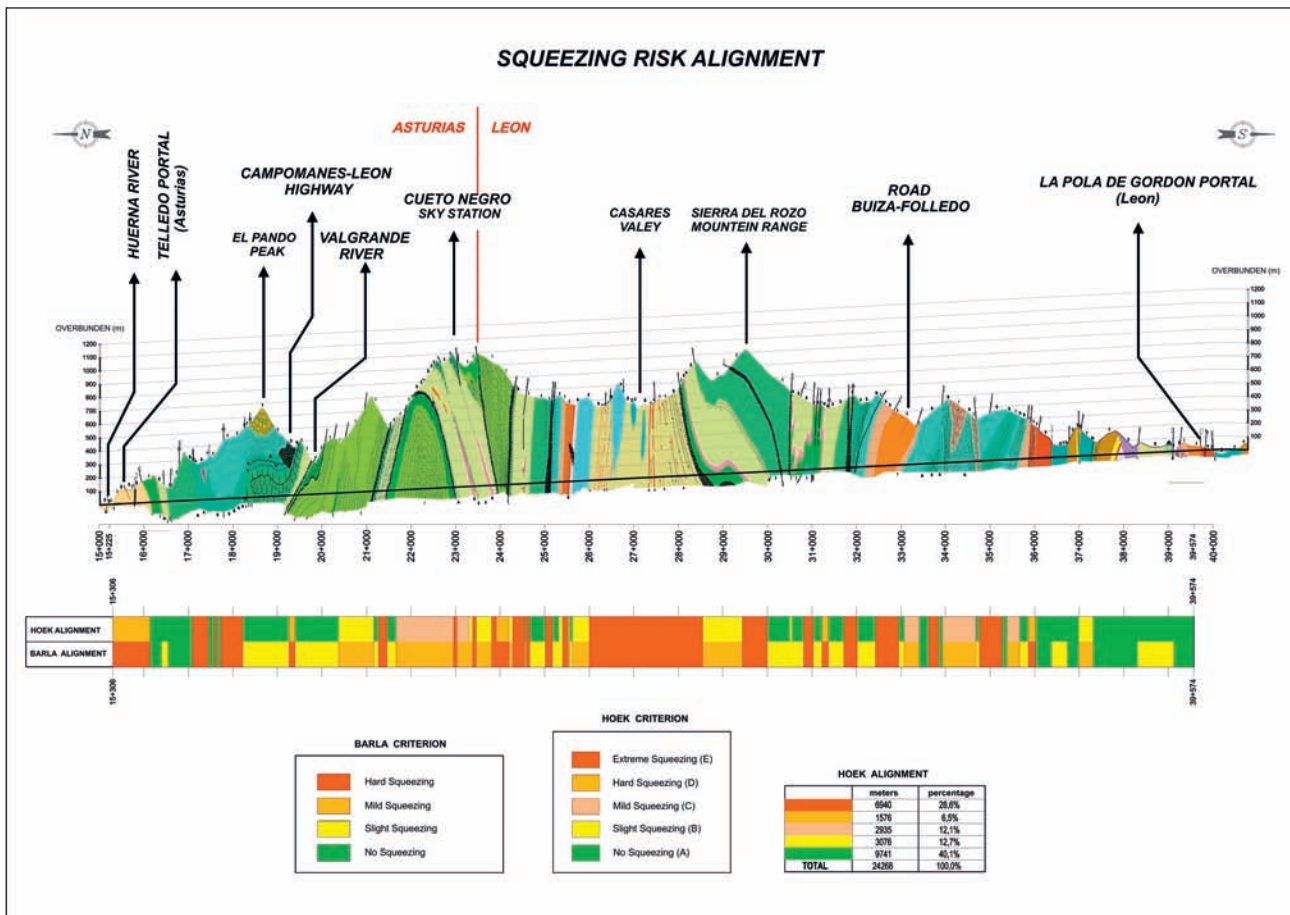
The Preliminary Design (PD) was executed from April to October, 2002, directed by ADIF Project Management, which was assigned responsibility by the Ministry for Development.

The approved PD was included in the tender-bid of 4 different design-built lots, which was awarded in June, 2003.

The construction companies were given 6 months to draw up the Definitive Design (DD), and construction started in March, 2004.



2 Bypass scheme



3 Geological problems (squeezing)

2.2 Feasibility Study

The Pajares Bypass was developed according to the solution selected from the FS. This study examined the various route alternatives for the La Robla and Pola de Lena connection. This area has high ecological value.

After a multi-criteria examination in which environmental, geological, geotechnical, constructive, economic, deadline and safety criteria were considered, the option selected was one with a total length of 50 km, 25 km of which was in tunnels, in addition to 11 other tunnels with a total length of 10 km, resulting in 35 km of tunnels in the bypass (70 %).

Compared to the 85 km of existing track, this represents a reduction of 35 km (41 %). The savings in time, however, are even greater (76 %), due to the route characteristics. With project speeds of between 220 and 350 km/h, the estimated time will be 13 minutes, while the journey currently takes 55 minutes.

The FS examined all of the existing geological-geotechnical information in a wide area around the possible alternatives. Moreover, a mechanical borehole survey was carried out to address 3 unknown areas that were essential to deciding which corridor to select:

- characteristics of the Cueto Negro anticline core (area of maximum overburden),
- permeability of lands surrounding a nearby reservoir (Casares),
- delimitation and characteristics of the San Emiliano slate formation, which is very difficult to work with.

The geology of the area presents a highly folded structure that is notably oriented east to west. Since the corridors under study generally ran north to south, all of them had to cross these formations and the goal was to select those with the least number of problems, or least significant ones. The geological-geotechnical criteria employed to assess the various corridors were basically as follows:

- to keep well away from productive carboniferous formations and to avoid limestone formations with significant karstification,
- to keep well away from reservoirs,
- to cross the San Emiliano carboniferous formation at its thinnest point,
- to seek the route with the greatest amount of sandstone lithology,
- to avoid routes with extensive formations of slate lithologies.

The chosen corridor also complies with other previously imposed criteria, such as not to exceed a 2 % slope and to have the shortest possible base tunnel.

2.3 Geological-Geotechnical Study

The Cantabrian area is characterised by a lack of metamorphism and by a structural style marked by the development of overriding and associated folding, in relation to surface-folding tectonics. The rocks are highly variable, including almost all types of sedimentary materials: limestone, dolomite, slate, sandstone, conglomerate and quartzite.

The GGS revealed the main problems that the different rock formations were likely to cause during construction (Figure 3). The first problem was the slate formations, which were very broken and metheorised. These rocks can cause considerable instability during excavation and large deformations in areas with high overburden.

Another problem that posed a challenge was water in quartzite and sandstone formations with high permeability, and in karstified limestone formations.

Gas in carboniferous formations was yet another important problem to be studied and resolved.

A geotechnical survey was carried out on the corridor chosen in the FS and subsequently used to execute the PD. This survey was mainly based on mechanical boreholes with core

Study phases		Mechanical boreholes		
		No.	Total length [m]	Maximum length [m]
Previous studies	RENFE (1981)	42	3,547	682
	RENFE (1984)	24	4,320	736
Feasibility Study (1994)		3	1,847	841
Preliminary Design (2002)		39	13,914	938
Definitive Design (2005–2008)		52	22,597	1,024
Total		160	46,225	1,024

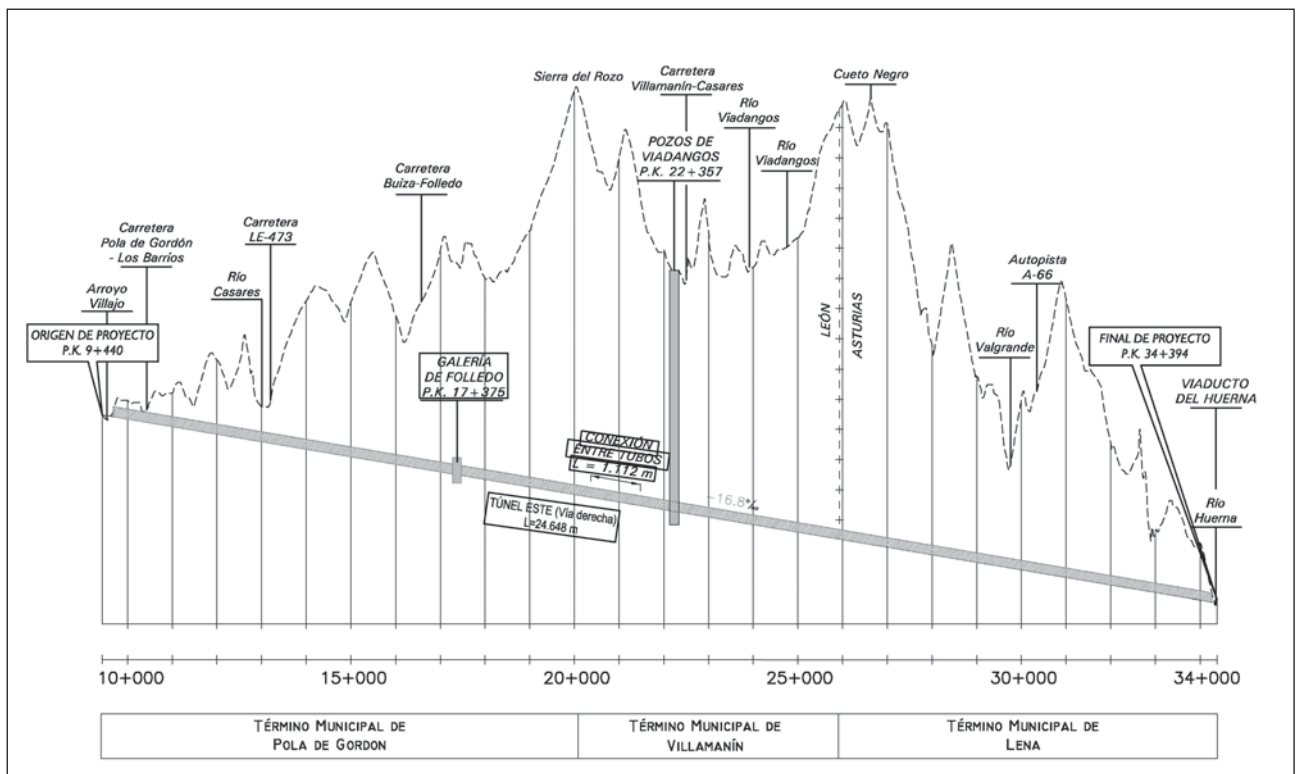
Table 1 Main research

sample extraction, using the geological cartography of the entire corridor. Table 1 indicates the coverage of these works.

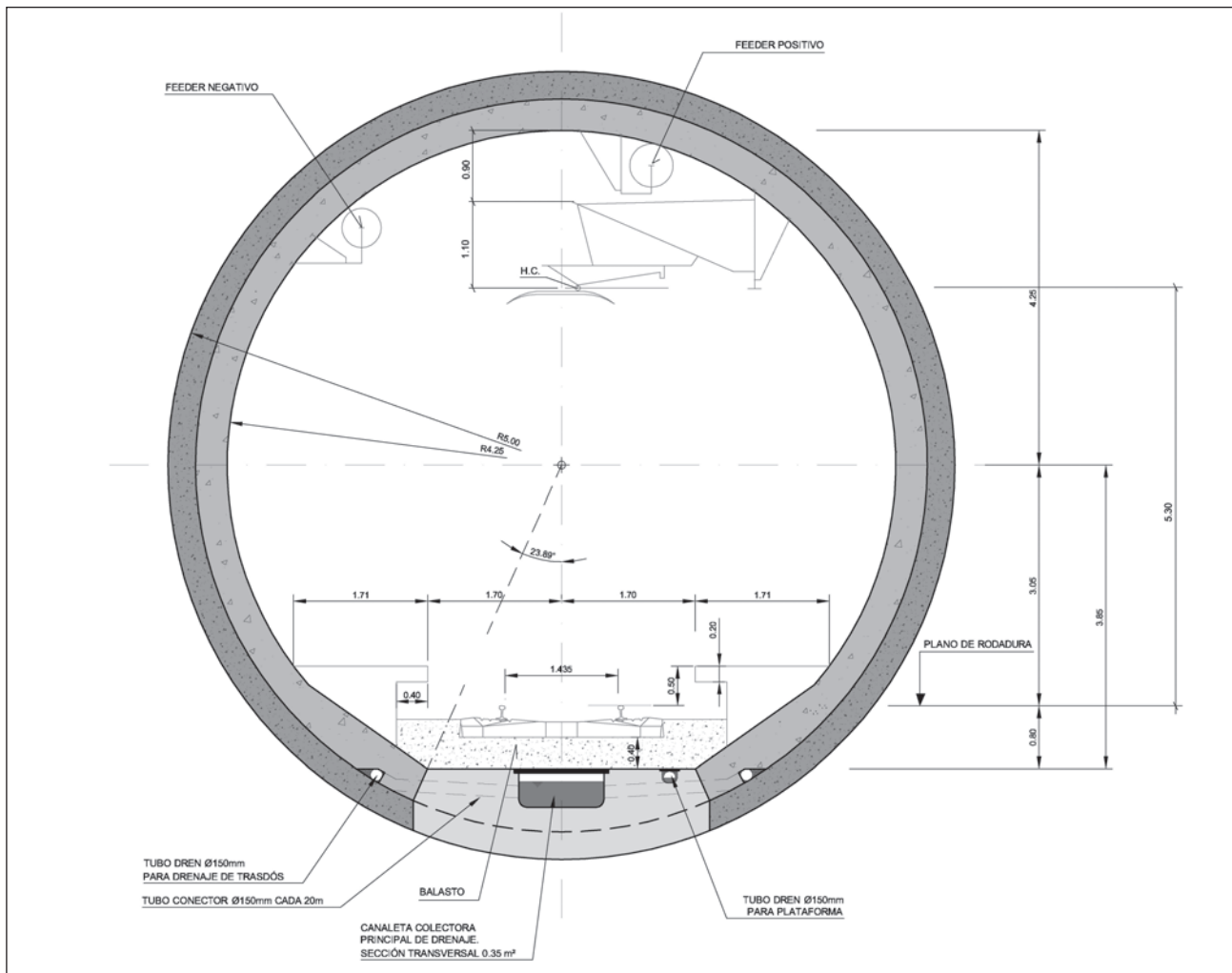
Hydro-fracturing, dilatometer, permeability (Lugeon) and various log sonic and conventional tests were carried out to obtain various parameters. In addition, numerous laboratory tests were performed to classify the lithologies.

2.4 Preliminary Design

This design was drawn up to examine the critical technical aspects and to produce a document that would guide subsequent bidding for the project and works tender. Its main technical goal was therefore to:



4 Longitudinal profile



5 Tunnel section

- establish the route,
- define the typical tunnel section and drawing of the underground complex,
- define the general safety criteria during operation,
- foresee all possible problems,
- analyse the technical feasibility of the overall project and each of its parts, and
- produce a cost estimate and the required drawings.

The tunnel has a constant 1.6 % slope. The typical tunnel section is a twin-tube, with inside diameters of 8.5 m (Figures 4 and 5).

Within the overall scheme, the defined underground spaces were:

- two 25 km long tubes, separated by a minimum of 50 m between axes,
- emergency stop near the tunnel halfway point,
- connection galleries between the main tubes every 400 m,
- a 2 km long gallery and a double 500 m deep shaft for accessing intermediate points during construction. These independent accesses were for construction requirements,

although they underwent subsequent modifications with respect to the PD provisions.

Batch sectioning for bidding on the project was defined in this PD in accordance with Table 2.

Tunnel safety is based on maximising self-rescue by passengers. This infrastructure comprises escape routes to safe areas fitted with lighting, ventilation and other necessary installations to efficiently ensure the required level of safety.

The emergency stop is intended to facilitate the evacuation of a train in case of a serious accident and to provide a safe space for passengers to await rescue by means of another train sent to their assistance.

Connection galleries between tubes will be available along the rest of the tunnel every 400 m in order to provide access from the affected tube to the other one, and for use as a safe location.

Section	Major sites	Length [km]	Construction method	Budget [Euro]
1	East tube	10.4 = 7.7 + 2.7	TBM + MC	524,047,054.05
	West tube	10.4 = 7.7 + 2.7	TBM + MC	
	Folledo gallery	2.0	MC	
	Cavern	60 m	MC	
	Connection galleries	40 m (every 400 m)	MC	
2	East tube	3.9	TBM	400,878,594.52
	West tube	3.9	TBM	
	Buiza gallery	5.5	TBM	
	Emergency stop	400 m	MC	
	Connection galleries	40 m (every 400 m)	MC	
3	East tube	10.3	TBM	235,452,179.95
	Portal excavation and dump			
4	West tube	10.3	TBM	218,155,002.94
	Connection galleries	40 m every 400 m	MC	

Table 2 Distribution of sections
 TBM: Tunnel Boring Machine/MC: Construction with Conventional Methods

The construction method under consideration greatly influences project technical feasibility, for which reason the various possibilities regarding terrain characteristics were examined according to the geological profile.

Due to the PD character, and not wanting to unduly influence construction companies, a comparative study was carried out with different methods. The safest solutions were considered to be the ideal ones, while performance and costs were additional factors used to ensure feasibility as far as possible.

The main problems taken into account when analysing construction methods were:

- presence of materials with low geotechnical parameters in areas with overburden exceeding 300 m. These circumstances could predict very severe terrain creep problems, along with the corresponding tunnel deformation and possible trapping of TBM with large shields,
- abundant water in quartzite formations with high permeability and some karstic limestone,
- geological and geotechnical uncertainty in some areas, for which reason intermediate accesses were sought to make these areas independent of others,
- incomplete information for other areas due to restricted access and time available for geotechnical surveys,
- presence of methane.

These difficulties were analysed in the PD and resolved using the following recommendations:

- tunnel excavation with open TBM (with very short shields). In the most difficult Carboniferous areas with high overburden, conventional excavation methods were recommended,

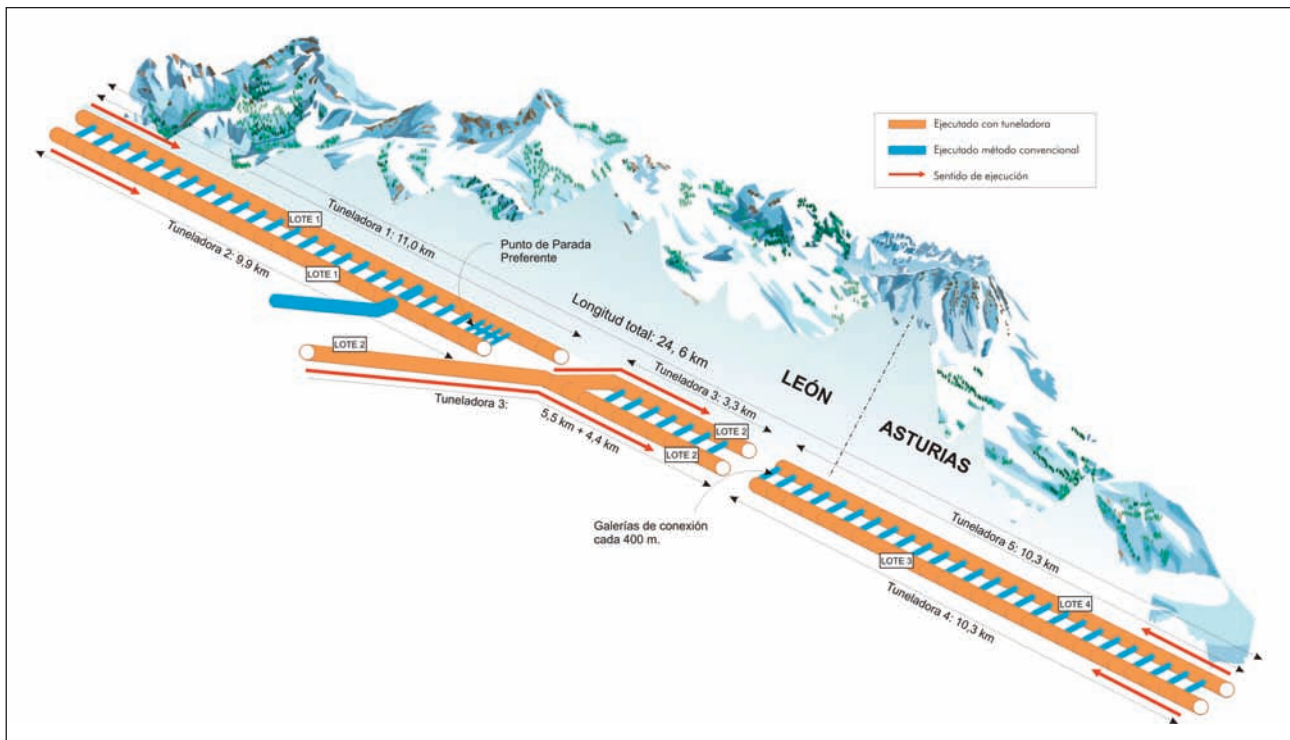
- the abundance of water suggested ascending tunnel excavation, so it was recommended to commence with the Folledo gallery at the lower southern mouth and to install a powerful pump before starting on the tunnel in an ascending manner,
- independent accesses should be defined in the most problematic areas, so that emergent problems would not affect the rest of the project,
- the uncertainty about the Pando syncline was resolved using conventional construction methods in this area to avoid the risks associated with TBM in terrain that is not fully known,
- the risk of the presence of methane meant that all the machinery employed was designed using explosion-proof criteria and systems,
- the geotechnical survey should be extended at specific points along the route: Sierra del Rozo and the El Pando syncline.

2.5 Definitive Design

The 4 lots were awarded in June, 2003 and from then on, the successful companies had 6 months to complete the DD. During this period, the construction companies defined their methods and strategies for the project execution, but did not carry out any complementary geotechnical surveys, meaning they implicitly accepted the GGS on which the PD was based.

The main general differences introduced in the DD with respect to the PD were as follows:

- replacement of open TBMs with shielded TBMs. All of the construction companies expressed their preference for this type of machine and explicitly assumed all economic consequences of this decision,



6 Tunnel scheme

- use of TBM instead of conventional methods, thus accepting responsibility for TBM trapping,
- Tunnel support would use 50 cm thick prefabricated ring segments (60 cm in lot 2), with differing strength capacity as a function of the expected tensional state, using heavily-armoured concrete from 40 to 110 Mpa.

In addition to these general differences, each lot underwent further modifications, such as, in lot 1:

- the excavation direction was changed: commencing at the southern portal and descending while advancing. When warned of flooding risks due to the rocky massif permeability, the option of designing the TBM to cope with the expected water flow rates was chosen, after considering and accepting the risk of machine flooding.

The following changes were introduced in lot 2:

- replacement of the 500 m deep double shaft by a descending 5.5 km long gallery with a 6 % slope,
- the main tunnels and the access gallery were excavated with a double shielded TBM,
- the construction company assumed the risks of descending forward movement with respect to the expected large quantities of water and possible trapping by squeezing ground.

The changes in lot 3 and 4 were less significant:

- reduction of the area excavated by conventional methods at and near the tunnel mouth.

All of the construction companies committed to carrying out further geological and geotechnical surveys in the follow-

ing months and prior to implementing any changes to the PD geotechnical profile, and accepted responsibility for any consequences resulting from such changes.

Lot sectioning for bidding was defined in this DD in accordance with the scheme in Figure 6.

3 Construction

3.1 Excavation start and end

Once the DD had been approved, work commenced in March, 2004 with lot 1. From this moment on, accesses were opened and installation prepared in the various lots (Figure 7 and 8).

These works were especially complex at the northern mouth, due to difficult access and lack of space for the installations. This caused significant delays to the beginning of tunnel excavation in lots 3 and 4.

The corresponding ring segment production plant was set up for each lot, and areas were prepared to store the excavated materials, except in lot 4, which shared this area with lot 3.

Tunnel excavation was completed in July, 2009 (Table 3).

3.2 TBM

Five rock TBM were employed in tunnel excavation; the characteristics are summarised in Table 4. Conveyor belts were used in all lots for muck removal. Moreover, all contractors installed double-track site railways.



7 Southern portal



8 Northern portal

The TBM were designed by suppliers in accordance with instructions from the respective construction companies and with the minimum conditions imposed by ADIF as follows:

- shields as short as possible and with thrust equipment that allowed values of 180,000 kN in provision for the calculated slate deformation,
- cutting head capable of excavation with the axis decentralized and thus able to over-excavate by up to 20 cm. The cutting wheel also had to be able to move axially to facilitate excavation and cutter replacement,
- steerable thrust cylinders to prevent machine rotation,
- foam equipment: foam distributed through a rotating joint,
- the option of filling the ring segment gap with either mortar or gravel,
- equipment for ground treatment and prospecting pits, which required holes in the shields (22 units of 125 mm diameter),
- pumping equipment with capacities of up to 500 l/s, in descending excavation batches,
- basic safety systems, such as:
 - gas detectors,
 - rescue chamber for 20 people, with breathable air,
 - fire-extinguishing system,
 - landline and radio communications,

- the TBM also carried explosion-proof equipment: lighting, ventilation, pumping, etc.

3.3 Complementary geological work

After commencement, all lots carried out geological surveys, aimed at obtaining more precise knowledge of the complex geological structure in the area. This required new boreholes, up to 1000 m deep, along the route.

Special attention was paid to gaining further information in the Sierra del Rozo area, the San Emiliano formation in the Casares Valley, the Cueto Negro anticline and the El Pando syncline.

Oil drilling rig techniques were employed to guarantee borehole quality and to maximise the information obtained (mud drilling, advanced geophysical techniques, etc.).

3.4 Main incidents

Apart from the previously highlighted logistics problems, the most significant incidents relating to tunnel construction were the following:

- northern portal instability, which required re-embanking and application of considerable force with active anchors,

	Length [m]	Excavation		Excavation performance			
		Beginning	End	Average [m/day]	Maximum [m/day]	Average [m/month]	Maximum [m/month]
1 – W	14,973	22/07/2005	04/06/2007	13.42	42.00	402	912
1 – E	9,856	20/09/2005	07/08/2008	15.65	51.00	469	871
2 – Gallery	5,451	23/09/2005	04/06/2007				
2 – E	4,132	04/06/2007	25/11/2007	11.93	43.50	358	924
3 – E	10,236	08/04/2006	30/08/2008	11.48	48.00	344	801
4 – W	9,531	24/08/2006	11/07/2009	8.52	33.00	255	616

Table 3 Excavation milestones

Source: Felipe Mendaña and Ramón Fernández. Túneles de Pajares. ADIF (2009)

Section	TBM		Excavation diameter		Power		Thrust	
	Manu- facturer	Type	Nominal [mm]	Maximal [mm]	Total [kw]	Motor. [kw]	Nominal [kN]	Exceptional [kN]
1 – W	HK	S.S.	9,900	10,100	6,150	4,900	115,270	180,108
1 – E	NFM-W	S.S.	9,930	10,130	7,720	4,900	115,000	180,000
2 – E	HK	D.S.	10,125	10,360	8,800	5,600	135,773	180,385
3 – E	NFM-W	S.S.	9,920	10,120	7,900	4,970	125,800	180,000
4 – W	MHI-R	S.S.	9,980	10,200	9,000	5,180	139,500	193,000

Section	Cutterhead		Speed	Torque	
	Aperture [%]	Cutter [Number]	[rpm]	Nominal [kN]	Deadlock [kN]
1 – W	8.0	64	0–6	19,960	29,141
1 – E	5.0	71	0–6	21,000	30,000
2 – E	5.0	64	0–6	23,051	30,428
3 – E	7.5	77	0–5	25,000	30,000
4 – W	5.0	68	0–5	26,000	39,000

Table 4 TBM Characteristics (HK Herrenknecht/NFM-W NFM-Wirth/MHI-R Mitsubishi-Robbins/S.S. Single Shield/D.S. Double Shield)
Source: Felipe Mendaña and Ramón Fernández. Túneles de Pajares. ADIF (2009)

- TBM excavation face instability, especially in the Carboniferous terrain at the northern mouth with low overburden. In these cases, it was necessary to carry out laborious cutting wheel cleaning operations and inject expansive foam,
- large quantities of water with values of up to 1 m³/s in the karstic limestone of lot 1, causing partial flooding of the machines, but without any significant consequences to final performance,
- large quantities of water and sand (500 l/s) in the lot 2 quartzite, causing machine flooding and significant delays,
- effects on groundwater levels in the area, causing certain sources to dry up. The tunnel is currently undergoing waterproofing,
- occasional flooding of untreated water into water flows (especially with fine particles),
- regarding clay, material creep with high overburden, deformation and pressure on the shields was less than predicted in the PD. The most significant problem was machine trapping in lot 4, which required the application of 225,000 kN employing maximum machine thrust, with assistance from additional jacks,
- machine design completely resolved any problems with methane.

4 Conclusions

In view of the experience gained during tunnel excavation, we can draw the following conclusions:

- The 2002 GGS adequately set out the main problematic lines and the geological and hydrogeological risks, which were confirmed during project execution (water flow and methane).
- With respect to the risk of soft material creep with high overburden, convergence was less than expected in the PD, and the TBM crossed the slate without any great difficulty.
- This better terrain performance with respect to creep can be explained by the presence of sandstone layers in the Carboniferous slate.
- The differences that arose with respect to the PD during the drawing up of the DD served to make the construction companies aware of the difficulties facing them and the risks they accepted when introducing changes to the construction method. In the course of the project, all of the indicated risks were confirmed, but overcome by the efforts of all parties involved.

Hany Azer, Dipl.-Ing., DB ProjektBau GmbH, Stuttgart/D

Grossprojekt in Deutschland

Stuttgart 21 und Neubaustrecke Wendlingen – Ulm

Mit der Neuordnung des Bahnknotenpunktes Stuttgart durch das Projekt Stuttgart 21 und der angeschlossenen Neubaustrecke Wendlingen – Ulm erfolgt in Deutschland der weitere Ausbau des europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes. Insgesamt werden im Rahmen des Grossprojektes Stuttgart 21 und Wendlingen – Ulm in den kommenden Jahren 117 km neue Bahnstrecke, davon 63 km als Tunnelstrecke gebaut.

Major Project in Germany

Stuttgart 21 and the new Wendlingen-to-Ulm line

The restructuring of the rail hub at Stuttgart with the Stuttgart 21 project, and the new Wendlingen-to-Ulm line connecting to it, continue the expansion of Europe's high-speed rail network. A total of 117 km of new rail line – 63 km in tunnel – are to be constructed in the next few years as part of the major Stuttgart 21 and Wendlingen-to-Ulm projects.

1 Magistrale für Europa

Das europäische Hochgeschwindigkeitsnetz der Eisenbahnen (Transeuropäisches Netzwerk) wird kontinuierlich erweitert. Mit dem Grossprojekt Stuttgart 21 und Wendlingen – Ulm wird ein zentraler Streckenabschnitt auf der Magistrale für Europa von Paris über Strassburg, Stuttgart, München, Wien bis Bratislava bzw. Budapest realisiert. Auf der bestehenden Bahnstrecke Stuttgart – Ulm durch die Schwäbische Alb, die bereits im Jahr 1850 eröffnet wurde, sind aufgrund von Steigungen und engen Kurvenradien teilweise nur Geschwindigkeiten von 70 km/h möglich. Der Abschnitt erfüllt somit nicht die Anforderungen, die an eine Hochgeschwindigkeitsstrecke gestellt werden. Nach der Inbetriebnahme des Grossprojektes wird sich die Fahrzeit von Stuttgart nach Ulm von heute 54 Minuten auf 28 Minuten verkürzen.

Darüber hinaus wird durch das Projekt Stuttgart 21 der Verkehrsknoten Stuttgart neu geordnet. Es werden erhebliche Verbesserungen und Fahrzeitverkürzungen im Nah- und Regionalverkehr und somit Optimierungen für alle Fahrgastgruppen erreicht.

2 Projektübersicht

Die Streckenlänge für Stuttgart 21 beträgt 57 km, hiervon werden ca. 50 % als Schnellfahrstrecke für 250 km/h realisiert. Die Neubaustrecke zwischen Wendlingen und Ulm ist mit einer Länge von 60 km durchgängig als Hochgeschwindigkeitsstrecke geplant (Bild 1).

1 "Superline" for Europe

Europe's high-speed rail system (the "Trans-European Network") is being continuously expanded. The large-scale Stuttgart 21 and Wendlingen-to-Ulm project involves a central sector of line on the trans-European superline from Paris, via Strassburg, Stuttgart, Munich and Vienna to Bratislava and Budapest. The gradients and tight radii of the existing Stuttgart-to-Ulm line through the hills of the Swabian Alps, opened as early as 1850, permit maximum speeds of only 70 km/h along some sections. This route therefore fails to meet the requirements for high-speed rail lines. Completion and commissioning of this project will reduce journey times from Stuttgart to Ulm from the present 54 to just 28 minutes.

The Stuttgart 21 project will, in addition, restructure the Stuttgart transport hub, achieving significant improvements and shortened journey times for both local and regional traffic, and thus enhanced services for all passenger groups.

2 Project overview

The Stuttgart 21 project involves 57 km of line, of which around 50 % will take the form of high-speed line approved for 250 km/h. The new link between Wendlingen and Ulm will be high-speed rail line throughout its 60 km length (Figure 1).

Stuttgart 21 will replace the existing dead-end station, with its sprawling station throat and approach lines by a ring

Grand projet en Allemagne

Stuttgart 21 et nouvelle ligne Wendlingen – Ulm

Le réagencement du nœud ferroviaire de Stuttgart par le projet Stuttgart 21 et la nouvelle ligne Wendlingen – Ulm s'inscrit dans la poursuite de l'extension du réseau ferroviaire transeuropéen à grande vitesse. 117 km de nouvelles voies ferroviaires, dont 63 km de tunnel, seront construits au total au cours des prochaines années dans le cadre du grand projet Stuttgart 21 et Wendlingen – Ulm.

Grande progetto in Germania

Il progetto Stoccarda 21 e la nuova tratta Wendlingen – Ulma

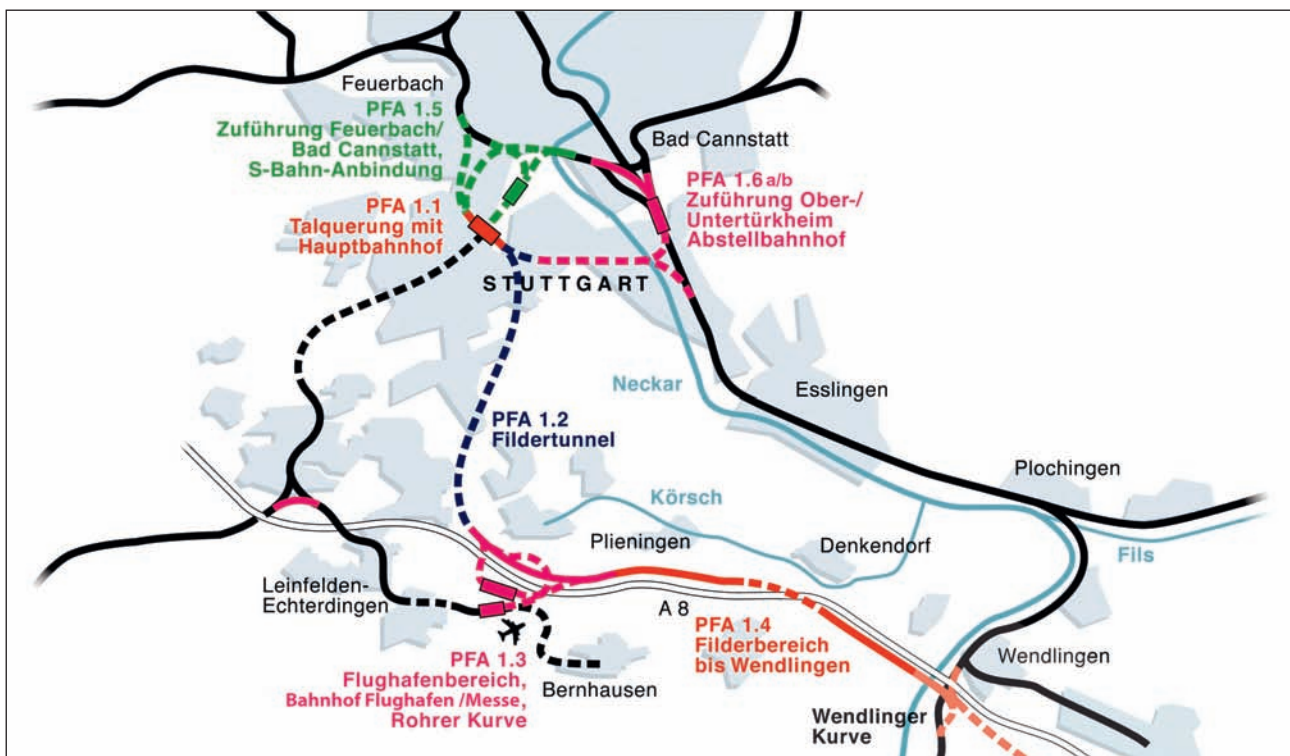
Con il riordinamento del nodo ferroviario di Stoccarda attraverso il progetto Stoccarda 21 e la nuova tratta Wendlingen – Ulma allacciata, in Germania prosegue l'ulteriore ampliamento della rete ferroviaria europea ad alta velocità. Complessivamente, nell'ambito del grande progetto Stoccarda 21 e Wendlingen – Ulma, nei prossimi anni verranno costruiti 117 km di ferrovia, di cui 63 km in galleria.

Mit Stuttgart 21 entsteht anstelle des bestehenden Kopfbahnhofs mit dem ausgedehnten Gleisvorfeld und Zulaufstrecken ein Ringsystem mit dem neuen Durchgangsbahnhof (Planfeststellungsabschnitt, PFA 1.1) und dem Abstellbahnhof Untertürkheim (PFA 1.6b) sowie neue Zulaufstrecken an das bestehende Bahnnetz. Mit der neuen S-Bahn-Haltestelle Mittnachtstrasse innerhalb des Ringsystems wird die erweiterte Stuttgarter Innenstadt nördlich des Hauptbahnhofs optimal angebunden.

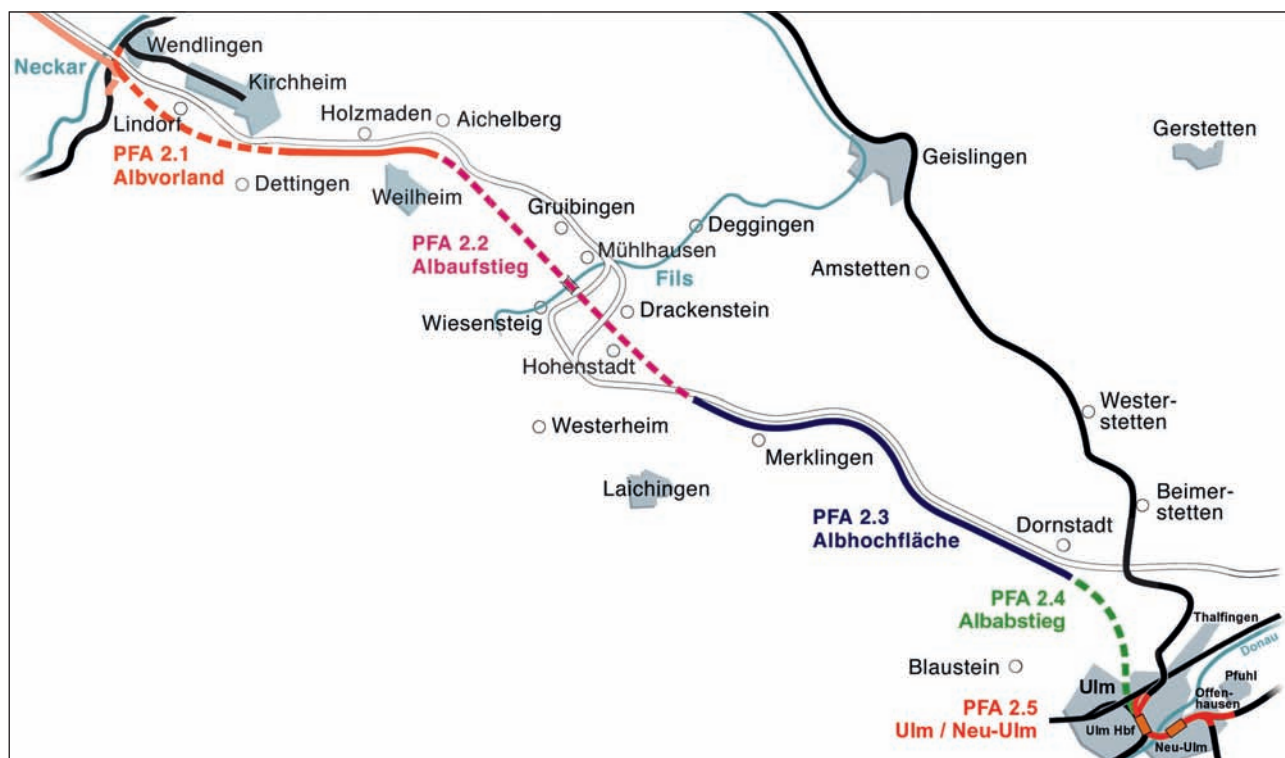
Auf der „Magistrale für Europa“ von Norden aus Paris kommend, beginnt der neue Streckenabschnitt von Stuttgart 21

system featuring the new through station (planning approval zone, PFA 1.1) and the rolling-stock yard at Untertürkheim (PFA 1.6b), plus new lines connecting to the existing rail network. Stuttgart's expanded inner city to the north of the station will be optimally integrated by means of the new Mittnachtstrasse stop on the Stuttgart rapid-transit system.

The new section of line for Stuttgart 21 begins, originating on the "Magistrale (Superline) for Europe" from Paris, in the north, at Feuerbach (PFA 1.5), running into the new through station. From Stuttgart "Hauptbahnhof" (main station), the high-speed line will continue to the south-west in the Filder



1 Übersicht Planfeststellungsabschnitte Stuttgart 21
Overview of the planning approval zones for Stuttgart 21



2 Übersicht Planfeststellungsabschnitte der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm
Overview of the planning approval zones for the new Wendlingen-to-Ulm line

bei Feuerbach (PFA 1.5), dieser mündet in den neuen Durchgangsbahnhof. Vom Hauptbahnhof wird die Schnellbahnstrecke im Fildertunnel in südwestliche Richtung auf die Filderebene zum Flughafen Stuttgart weitergeführt. Im Bereich des südöstlich des Stuttgarter Zentrums gelegenen Flughafens entsteht der neue Flughafenbahnhof, der gleichzeitig die Verknüpfung zum neuen Messegelände in Stuttgart darstellt. Der Flughafen Stuttgart und die Neue Messe werden durch diesen neuen Flughafenbahnhof direkt an das europäische Hochgeschwindigkeitsnetz angeschlossen. Die weiterführende Neubaustrecke Wendlingen – Ulm verläuft in weiten Bereichen in enger Bündelung mit der Autobahn A8 (Bild 2).

Von Stuttgart aus kommend folgt nach den Planfeststellungsabschnitten Alborland (PFA 2.1) und Alaufstieg der Bereich Albhochfläche. Der anschliessende Alabstiegstunnel (PFA 2.4) endet unmittelbar im Bahnhof Ulm.

2.1 Projektstand Stuttgart 21

Das Projekt Stuttgart 21 besteht aus insgesamt 7 Planfeststellungsabschnitten (Bild 1). Zum Jahresende 2010 lagen für 5 Abschnitte bestandskräftige Planfeststellungsbeschlüsse vor. In den Planfeststellungsabschnitten 1.3 (Flughafenbereich) und 1.6b (Abstellbahnhof Untertürkheim) werden die Beschlüsse noch erwartet. Der offizielle Baustart für das Grossprojekt erfolgte am 2. Februar 2010 im Stuttgarter Hauptbahnhof.

Tunnel, crossing the Filder plateau to reach Stuttgart Airport. The new station here, simultaneously the link to Stuttgart's new exhibition grounds, is under construction at the airport to the south-east of the centre of the city. Stuttgart Airport and the new exhibition centre will be linked directly to Europe's high-speed rail network by this new airport station. The new onward Wendlingen-to-Ulm line runs for much of its route close or parallel to the A8 autobahn (Figure 2).

Proceeding from Stuttgart, the planning approval zones "Alborland" (PFA 2.1) and the ascending "Alaufstieg" are followed by the "Albhochfläche" plateau sector. The subsequent, descending, "Alabstiegstunnel" (PFA 2.4) terminates directly at the station in Ulm.

2.1 Project status: Stuttgart 21

The Stuttgart 21 project consists of a total of 7 planning approval zones (Figure 1). Finalised planning decisions had been made for 5 sectors by the end of 2010. Decisions are still outstanding for Planning Approval Zone 1.3 (airport) and 1.6b (Untertürkheim rail yards). Construction work on this major project started at Stuttgart main station on February 2, 2010.

2.2 Project status: new Wendlingen-to-Ulm line

The new Wendlingen-to-Ulm line is also subdivided into 7 planning approval zones (Figure 2). Finalised planning decisions had been made for Sections 2.1c (Alborland) and 2.3 (Albhochfläche) as at the end of 2010.



3 *Der bestehende Kopfbahnhof und die Lage des neuen Durchgangsbahnhofs (weiss)
The existing dead-end station and the location of the new through station (white)*

2.2 Projektstand Neubaustrecke Wendlingen–Ulm

Die Neubaustrecke Wendlingen–Ulm ist ebenfalls in 7 Planfeststellungsabschnitte unterteilt (Bild 2). Für die Abschnitte 2.1c (Albvorland) und 2.3 (Albhochfläche) lagen zum Jahresende 2010 bestandskräftige Planfeststellungsbeschlüsse vor.

Die Donaubrücke im Abschnitt 2.5a2 südlich von Ulm wurde bereits realisiert und im Jahr 2007 in Betrieb genommen. Für die restlichen Planfeststellungsabschnitte 2.1 a/b, 2.2, 2.4, 2.5a1 werden die Beschlüsse erwartet. Der Baubeginn für die Neubaustrecke erfolgte im September 2010 im Planfeststellungsabschnitt 2.1c.

3 Bahnhöfe

3.1 Stuttgarter Hauptbahnhof

Das zentrale Bauwerk des Projektes Stuttgart 21 ist der neue Stuttgarter Hauptbahnhof. Der bestehende Kopfbahnhof mit dem ausgedehnten Gleisvorfeld wird durch einen unterirdischen und um 90 Grad gedrehten Durchgangsbahnhof ersetzt (Bild 3).

Aus dem Realisierungswettbewerb zur Neugestaltung des Stuttgarter Hauptbahnhofs im Jahr 1997 ging als Sieger der Entwurf des Architekten Ingenhoven hervor. Der neue Bahnhof wird 11 m unterhalb des heutigen Schienenniveaus unmittelbar nördlich der heutigen Kopfbahnhofhalle des Bonatzbaus liegen. Die Kopfbahnhofshalle wird gemeinsam mit dem Bahnhofsturm erhalten und auch zukünftig wichtige Funktionen des neuen Bahnhofs aufnehmen. Kernstück des Entwurfs sind die 28 Kelchstützen mit 23 gläsernen Augen, die zur natürlichen Belichtung und Belüftung der unterirdischen Bahnhofshalle dienen. Die Glaskonstruktionen werden sich aus dem neu entstandenen Strassburger Platz erheben (Bild 4).

Der Zugang zum Bahnhof erfolgt über 4 Hauptzugänge, die durch Gitterschalen aus Stahl und Glas überspannt werden.

The bridge over the Danube in Section 2.5a2 to the south of Ulm has already been completed, and was commissioned in 2007. Decisions are still awaited for the remaining planning approval zones (2.1 a/b, 2.2, 2.4, 2.5a1). Construction of the new line in Planning Approval Zone 2.1c started in September, 2010.

3 Stations

3.1 Main Station Stuttgart

Stuttgart's new "Hauptbahnhof" (main station) is the central engineering work on the Stuttgart 21 project. The existing dead-end (terminus) station with its extensive station throat is to be replaced by an underground through station at a 90 degree angle to the existing facility (Figure 3).

The competition for the reshaping of Stuttgart's main station held in 1997 was won by the dossier submitted by the Ingenhoven firm of architects. The new station will be located 11 m below the current rail level, immediately to the north of the existing concourse hall of architect Paul Bonatz's building. The concourse hall is to be retained, together with the station tower, and will continue to perform important functions in the new station. The central element of the successful proposal are the 28 chalice columns with 23 round glass skylights serving to provide natural lighting and ventilation for the underground station concourse. These glass structures will rise from the newly created Strassburger Platz square (Figure 4).

Access to the station will be by means of 4 main entries, which will be roofed over with steel/glass gridshells. The new station will have 8 tracks and 4 island platforms with a length of 420 m, and guarantee optimum facilities for interchange between long-distance trains, the "S-Bahn" rapid-transit system and the city tram network (Figure 5).

The now redundant trackwork of the dead-end station will be completely lifted after completion of the new lines and the through station. The current division of the Stuttgart Basin by railway tracks will thus be eliminated, providing 100 hectares of land in immediate proximity to the city for the urban development of this state capital. The parking facilities currently adjacent to the tracks are then to be expanded by around 20 hectares. A new city district is also to be developed as a residential area for mixed utilisation.



4 *Modell des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofs
Model of Stuttgart's new main station*



5 Visualisierung des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofs
Artist's view of the new main station in Stuttgart

Der neue Bahnhof wird über 8 Bahngleise und 4 Mittelbahnsteige mit einer Länge von 420 m verfügen und eine optimale Verknüpfung des Fernverkehrs mit der S-Bahn und Stadtbahn garantieren (Bild 5).

Nach der Fertigstellung der neuen Bahnstrecken und des Durchgangsbahnhofs werden die nicht mehr benötigten Gleisanlagen des Kopfbahnhofs vollständig zurückgebaut. Die derzeitige Trennung durch die Gleisanlagen im Stuttgarter Kessel wird somit aufgehoben und 100 ha Fläche stehen für die städtebauliche Entwicklung der Landeshauptstadt in direkter Citylage zur Verfügung. Die heute an die Gleisanlagen angrenzenden Parkflächen sollen dann um ca. 20 ha erweitert werden. Darüber hinaus soll ein neues Stadtviertel als Wohnstadt mit gemischter Nutzung entstehen.

3.2 Weitere Bahnhöfe

Im Rahmen des Projektes Stuttgart 21 werden neben dem Stuttgarter Hauptbahnhof weitere neue Bahnhöfe realisiert. Im innerstädtischen Bereich ist zur Erschliessung des neuen Stadtviertels auf den frei werdenden Gleisflächen eine neue S-Bahn-Station Mittnachstrasse geplant worden. Die U-Bahnhaltestelle Staatsgalerie in unmittelbarer Nähe zum Hauptbahnhof wird aufgrund des Tiefbahnhofs neu gebaut.

Hervorzuheben ist der neue unterirdische Flughafenbahnhof, der den Stuttgarter Flughafen und die Neue Messe direkt an die Hochgeschwindigkeitsstrecke anschliesst. Der neue Verkehrsknotenpunkt auf den Fildern verknüpft aufgrund der nahen Autobahn optimal die Verkehrsträger Zug, Flugzeug und Auto. Die Reisenden werden nach Fertigstellung des Projekts innerhalb von 8 Minuten vom Stuttgarter Hauptbahnhof zum Flughafen fahren können. Zusätzlich wird am Flughafen die bestehende Station Terminal an die neue Strecke angebunden.

3.2 Other stations

The Stuttgart 21 project includes other new stations in addition to the main station in Stuttgart. A new rapid-transit station at Mittnachstrasse has been planned in the inner-city zone to link the new urban district to be built on the former railway land. The "Staatsgalerie" underground-railway stop in the immediate proximity of the main station is to be rebuilt, due to the new low-level station.

Particularly worthy of mention is the new underground airport station, which will connect Stuttgart Airport and the new exhibition grounds directly to the high-speed line. Thanks to the nearby autobahn, the new transport hub on the Filder plateau optimally integrates road, rail and air transport. After completion of the project, travellers will be able to reach the airport from the main station in Stuttgart within 8 minutes. The existing station terminal at the airport is also to be linked to the new line.

4 Construction logistics in the inner city

A tailor-made construction logistics system has been developed for the construction work in the inner-city zone. This system makes it possible to convey a major portion of the excavated material yielded in the centre, and the volumes of concrete necessary for construction of the inner tunnel shells, the stations and other engineering works, via a separate site road. This will assure optimum, cost-efficient construction in the centre of Stuttgart, and reduce dirt and noise emissions, and also hindrance to traffic, to a minimum. The site road runs from the main station, along the existing rail route, to the north station, where a central transshipment point is being set up. The excavated material ("muck") will be temporarily stored here, and can then be loaded onto trains for outward haulage.

5 Tunnel works

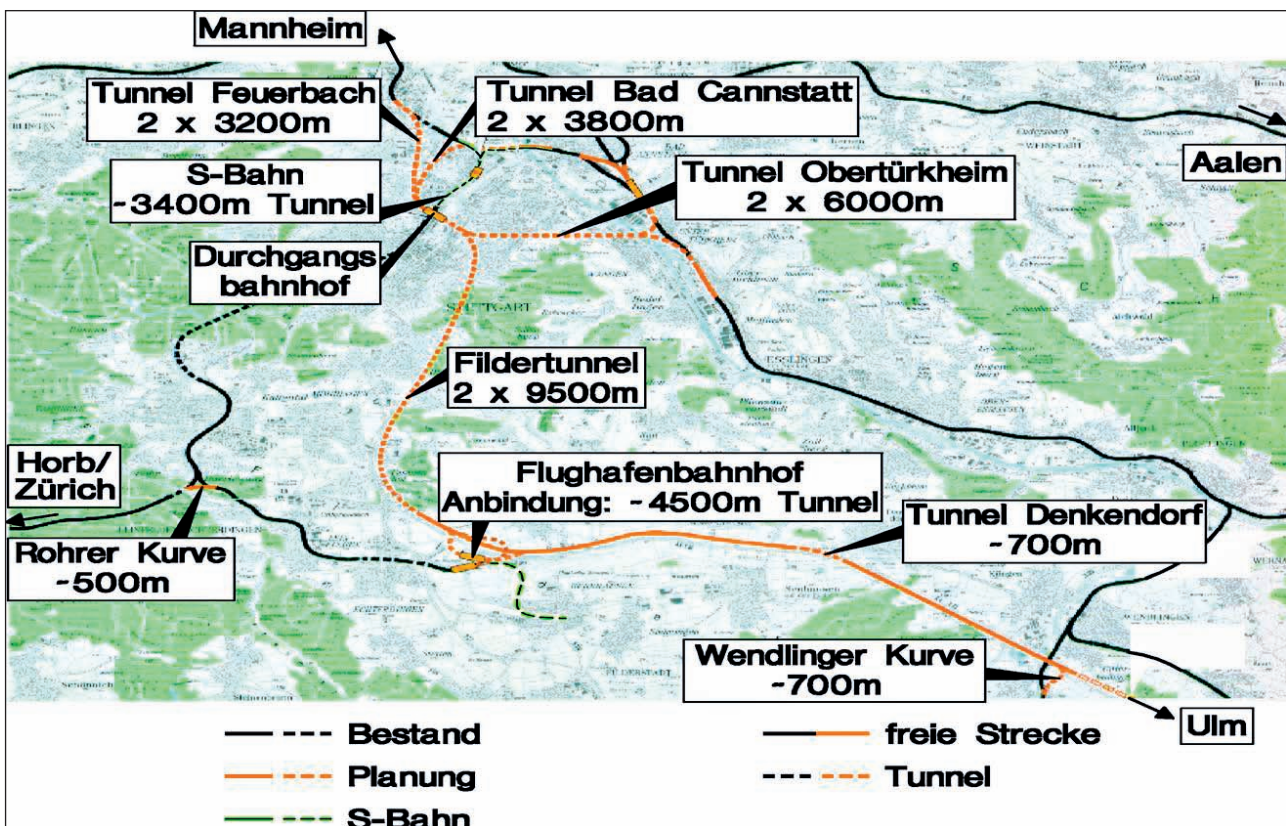
Of the 117 km of new rail line to be constructed for the Stuttgart 21 and Wendlingen-to-Ulm project, around 63 km will be in tunnel. Extensive drilling and exploration programmes have been performed throughout the route of the lines, in view of the ground conditions in Stuttgart and the Swabian Alps. The knowledge gained concerning mineral water, anhydrite deposits, squeezing rock formations and karst caverns have been taken into account in the planning documentation.

5.1 Stuttgart 21

The tunnels which are to be created in the various planning approval zones for Stuttgart 21 are shown in Figure 6. The most important of them are briefly examined individually below.

5.1.1 The Filder Tunnel

The Filder Tunnel in Planning Approval Zone 1.2 connects directly to the south, together with the tunnels to



6 Übersicht Tunnelbauwerke Stuttgart 21
Overview of tunnels for Stuttgart 21

4 Baulogistik in der Innenstadt

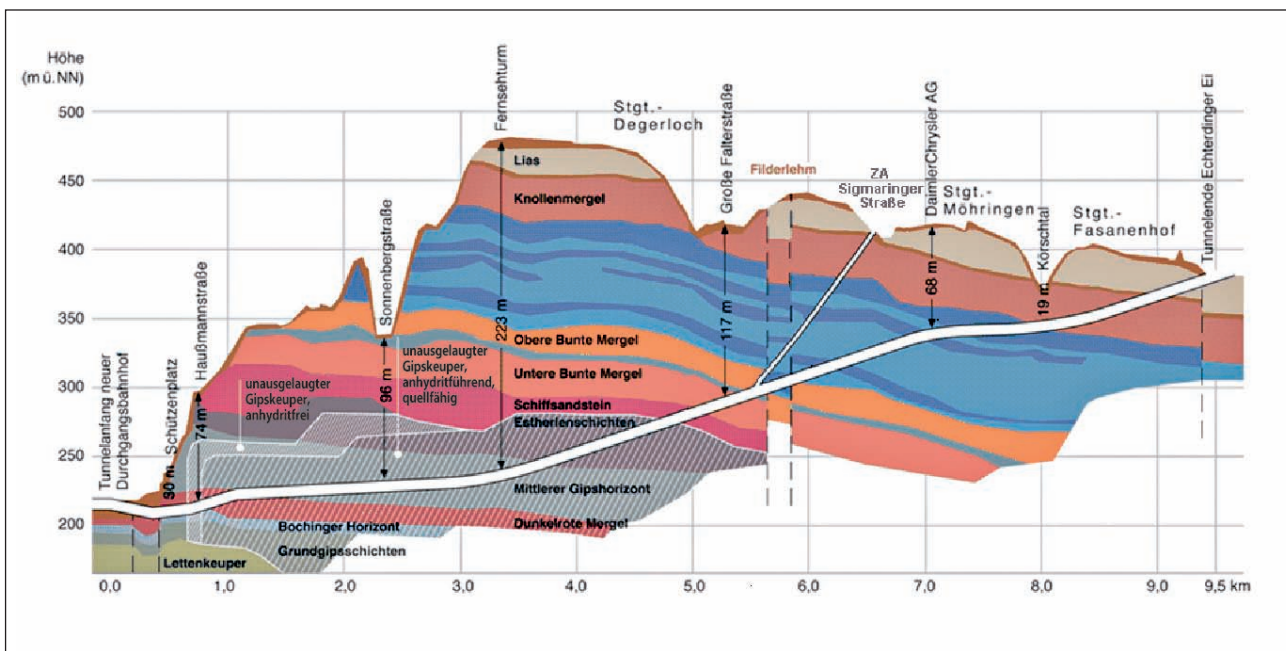
Für die Bauarbeiten im innerstädtischen Bereich wurde ein massgeschneidertes Baulogistiksystem entwickelt. Es ermöglicht, einen Grossteil der im Zentrum anfallenden Abraummassen und die erforderlichen Betonmassen für die Ausbildung der Tunnelinnenschalen, der Bahnhöfe und der Ingenieurbauwerke über eine separate Baustrasse zu transportieren. Auf diese Weise wird im Zentrum von Stuttgart ein optimaler und wirtschaftlicher Bauablauf sichergestellt und die Schmutz- und Lärmimmissionen sowie Verkehrsbeeinträchtigungen auf ein Minimum reduziert. Die Baustrasse führt vom Hauptbahnhof entlang der bestehenden Bahntrasse bis zum Nordbahnhof, an dem ein zentraler Umschlagpunkt eingerichtet wird. Hier werden die Ausbruchmassen zwischengelagert und können auf Züge verladen und abtransportiert werden.

5 Tunnelbauwerke

Von den 117 km neue Bahnstrecke, die für das Grossprojekt Stuttgart 21 und Wendlingen – Ulm bebaut werden, werden ca. 63 km unterirdisch verlaufen. Aufgrund der Bodenverhältnisse in Stuttgart und auf der schwäbischen Alb wurden im gesamten Streckenverlauf umfangreiche Bohr- und Erkundungsprogramme durchgeführt. Die Erkenntnisse zu den Mineralwasser- und Anhydritvorkommen sowie druck-

Obertürkheim und Untertürkheim, to the new through station. This tunnel, at 9.5 km, is the longest in the overall project. Starting from the station, the tracks will run in 2 double-track mouth-profiled bores. The tunnel branch to Obertürkheim and Untertürkheim is firstly followed by 2 single-track bores of circular section, which transform subsequently, in the upper zone of the Filder Tunnel, into 2 bores of mouth profile. A height difference of approximately 160 m up to the portal on the Filder plateau is thus overcome, with a maximum gradient of 2.5 %.

Maximum design speed in the lower tunnel sector is 160 km/h, and 250 km/h in the upper sector. Cover in the approach zone to the station is only 9 m, but increases rapidly, as can be seen in Figure 7, and is up to 220 m near Degerloch. The Filder Tunnel passes in its lower section through anhydrite-containing strata. The name “anhydrite” means “water-free”. Under prolonged exposure to moisture, anhydrite is converted to gypsum. This process is accompanied by an increase in volume; swelling pressure is generated if this expansion is obstructed. The ingress of water from other geologies along the axis of the tunnel is to be prevented by means of sealing systems and structures. The upper sections of the tunnel bores pass mainly through Stuben sandstone formations.



7 Geologischer Längsschnitt des Fildertunnels
Longitudinal geological section through the Filder Tunnel

haftem Gebirge und Karsthöhlen sind in den Planungsunterlagen berücksichtigt.

5.1 Stuttgart 21

In Bild 6 sind die Tunnelbauwerke dargestellt, die in den unterschiedlichen Planfeststellungsabschnitten von Stuttgart 21 erstellt werden. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz einzeln vorgestellt.

5.1.1 Fildertunnel

Der Fildertunnel im Planfeststellungsabschnitt 1.2 schliesst zusammen mit dem Tunnel nach Ober- und Untertürkheim unmittelbar südlich an den neuen Durchgangsbahnhof an. Das Bauwerk ist mit ca. 9.5 km der längste Tunnel im Rahmen des Grossprojektes. Die Gleise verlaufen vom Bahnhof aus gesehen in 2 zweigleisigen maulförmigen Tunnelröhren. Nach der Abzweigung des Tunnelbauwerks nach Ober- und Untertürkheim folgen zunächst 2 eingleisige Röhren mit einem Kreisprofil, die später im oberen Bereich des Fildertunnels in 2 Röhren mit Maulprofil übergehen. Mit einer maximalen Steigung von 2.5 % wird so bis zum Portal auf der Filder ebene ein Höhenunterschied von ca. 160 m überwunden.

Die Entwurfsgeschwindigkeit liegt im unteren Tunnelabschnitt bei 160 km/h, im oberen Tunnelabschnitt bei 250 km/h. Die Überdeckung im Anfahrbereich des Bahnhofs beträgt nur 9 m, nimmt aber – wie in Bild 7 zu sehen ist – schnell zu und liegt im Bereich Degerloch bei bis zu 220 m. Der Fildertunnel führt im unteren Bereich durch geologische Schichten mit Anhydrit. Anhydrit heisst wasserfrei. Bei andauernder Feuchtigkeitseinwirkung wandelt sich das Anhydrit in Gips um. Dieser Prozess ist mit einer Volumenzunahme verbunden; wird diese behindert, entstehen Quelldrücke.

5.1.2 Tunnels in Planning Approval Zone 1.5

Tunnels of various cross-sections are to be constructed as part of Planning Approval Zone 1.5. These include, on the one hand, the approximately 3.4 km long rapid-transit tunnel, which reshapes, in the area occupied by the present station throat, the link between the existing rapid-transit lines in Bad Cannstatt and the rapid-transit station at “Nordbahnhof”, to the main station. And, on the other hand, the Bad Cannstatt long-distance link, which will complete the northern ring between the main station and the rail yard by means of approximately 3.8 km long tunnels. Also required is the long-distance rail link from Feuerbach, providing a connection to the “Superline for Europe”. The Stuttgart-to-Feuerbach long-distance rail connection starts at Feuerbach in a cutting, followed by a cut-and-cover tunnel section, and then underground-mined tunnel. Total tunnel length is around 3.2 km. The tunnel bores enjoy cover ranging from less than 10 m to around 100 m.

The single-track tunnels to and from Feuerbach and Bad Cannstatt join in a branch structure shortly before entering the new through station. These double-track tunnels are then routed to the northern end of the new main Stuttgart station.

5.1.3 Tunnel to Obertürkheim and Untertürkheim

This sector of the line provides the southern link in the ring. The tunnel structure runs, from the junction in the Filder Tunnel, toward Obertürkheim and Untertürkheim, passing under the Neckar with a minimum cover of approximately 8 m. It then branches, running on the one hand to the Untertürkheim rail yard and, on the other hand, connecting to the existing line to Ulm. The prevailing spacing between the axes of the 2 single-track tunnels is approximately

Der Zulauf von Wasser aus anderen Gesteinsarten entlang der Tunnelachse wird durch Abdichtungsbauwerke verhindert. Im oberen Abschnitt verlaufen die Tunnelröhren zum grossen Teil in Formationen des Stubensandsteins.

5.1.2 Tunnel im Planfeststellungsabschnitt 1.5

In Planfeststellungsabschnitt 1.5 werden Tunnelbauwerke mit verschiedenen Querschnitten realisiert. Zum einen der ca. 3.4 km lange S-Bahn-Tunnel, der im Bereich des heutigen Gleisvorfeldes die Verbindung zwischen den bestehenden S-Bahn-Strecken in Bad Cannstatt und der S-Bahn-Station Nordbahnhof mit dem Hauptbahnhof neu ordnet. Zum anderen die Fernbahzuführung Bad Cannstatt, die mit ca. 3.8 km langen Tunneln den nördlichen Ringschluss zwischen Hauptbahnhof und Abstellbahnhof ermöglicht. Des Weiteren die Fernbahzuführung aus Feuerbach, die den Anschluss an die Magistrale für Europa herstellt. Die Fernbahzuführung Stuttgart – Feuerbach beginnt in Feuerbach mit einem Trogbauwerk in offener Bauweise, daran schliesst sich ein Tunnelabschnitt in offener Bauweise an, der in bergmännisch aufgefahrene Tunnel übergeht. Die Tunnelängen betragen ca. 3.2 km. Die Überdeckung der Tunnelröhren liegt zwischen weniger als 10 m bis 100 m.

Kurz vor der Einfahrt in den neuen Durchgangsbahnhof werden die jeweils eingleisigen Tunnel von und nach Feuerbach und Bad Cannstatt in einem Verzweigungsbauwerk zusammengeführt. Diese zweigleisigen Tunnel werden dann bis an den nördlichen Bahnhofskopf des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofs geführt.

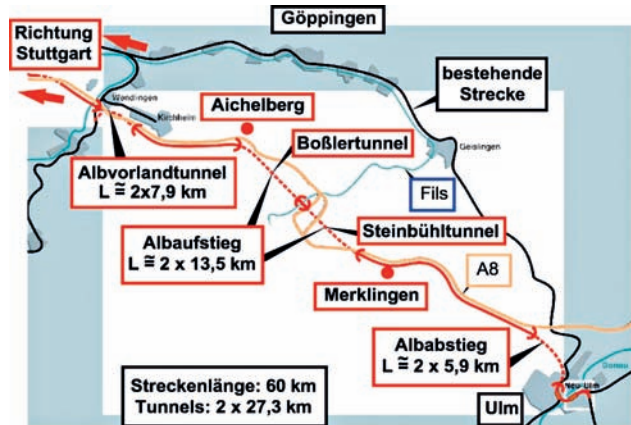
5.1.3 Tunnel nach Ober- und Untertürkheim

Dieser Streckenabschnitt sorgt für den südlichen Ringschluss. Das Tunnelbauwerk führt nach der Abzweigung vom Fildertunnel Richtung Ober- und Untertürkheim und unterquert mit einer minimalen Überdeckung von ca. 8 m den Neckar. Danach verzweigt sich der Tunnel und führt zum einen zum Abstellbahnhof Untertürkheim und schliesst zum anderen an die bestehende Strecke Richtung Ulm an. Der Regelabstand zwischen den Achsen der beiden eingleisigen Tunnel beträgt ca. 30 m. Bei einer maximalen Überdeckung von 125 m durchörteren die Tunnelröhren ausgelaugten, Gips/Anhydrit führenden Keuper und den ausgelaugten Gipskeuper sowie quartäre Ablagerungen und künstliche Auffüllungen.

5.2 Neubaustrecke Wendlingen – Ulm

Aufgrund der Topografie der Schwäbischen Alb verläuft die neue Hochgeschwindigkeitsstrecke von Wendlingen nach Ulm zu 50 % unterirdisch (Bild 8).

Bei der Bahnfahrt von Stuttgart aus kommend wird man zunächst den Albvorlandtunnel, danach den Bossler- und Steinbühlentunnel durchfahren. Der ca. 5.9 km lange Albabstiegstunnel endet im Bahnhof Ulm.



8 Übersicht Tunnelbauwerke auf der Neubaustrecke Wendlingen – Ulm
Overview of tunnels on the new Wendlingen-to-Ulm line

30 m. The tunnel bores pass with a maximum overburden of 125 m through the desiccated gypsum/anhydrite-bearing Lower (Keuper) Triassic, and the desiccated Gypsum Keuper, as well as through quaternary depositions and artificial fillings.

5.2 The new Wendlingen-to-Ulm line

Due to the topography of the Swabian Alps, the new high-speed line from Wendlingen to Ulm will be 50 % underground (Figure 8).

Travelling by rail from Stuttgart, the passenger will first pass through the Albvorland Tunnel, and then the Bossler and Steinbühl tunnels. The approximately 5.9 km long Albabstiegstunnel ends at Ulm station.

5.2.1 The Albvorland Tunnel

The Albvorland Tunnel, consisting of 2 single-track bores, has a length of around 8 km. Its construction will involve passage through Lower and Medium Jura (Lias) strata, which are unweathered to severely weathered, depending on their depth. The greatest cover is approximately 65 m.

5.2.2 The Bossler Tunnel

The Bossler Tunnel starts to the north-west at the Aichelberg portal. The 2 single-track tunnel bores then run to the south-east, passing under the Roter Wasen grounds and the Bossler, from which the tunnel takes its name. The greatest



9 Entwurf für die neue Neckarbrücke in Stuttgart
Design for the new bridge over the Neckar in Stuttgart

5.2.1 Albvordlandtunnel

Der Albvordlandtunnel mit 2 eingleisigen Röhren hat eine Länge von ca. 8 km. Beim Bau werden Gesteinsschichten des Unteren und Mittleren Schwarzjura durchquert, die je nach Tiefenlage unverwittert bis stark verwittert sind. Die grösste Überdeckung beträgt ca. 65 m.

5.2.2 Bosslertunnel

Der Bosslertunnel beginnt nordwestlich am Portal Aichelberg. Die 2 eingleisigen Tunnelröhren verlaufen anschliessend in südöstlicher Richtung und unterqueren den Roten Wasen und anschliessend den namensgebenden Bossler. In diesem Bereich tritt die grösste Überdeckung mit 280 m auf. Die parallelen Tunnelröhren enden mit dem Portal Buch unmittelbar an der nördlichen Hangflanke des Filstals. Mit diesen Bauwerken wird auf einer Länge von ca. 8.8 km ein Höhenunterschied von 213 m überwunden. Aufgrund der Überlagerungshöhen von bis zu 280 m ist bereichsweise mit druckhaften Gebirgsverhältnissen zu rechnen.

5.2.3 Steinbühlentunnel

Am Portal Todsburg auf der südlichen Seite des Filstals beginnt der Steinbühlentunnel. Bei einer Länge von ca. 4.8 km wird bis zum Portal Hohenstadt am südöstlichen Ende des Tunnels und dem Beginn der Albhochfläche ein Höhenunterschied von 105 m überwunden. Hierbei werden alle Formationen des Weissjura durchfahren. Die maximale Überdeckung beträgt 120 m. Auf grossen Teilen der Tunnelstrecke wie auch auf der anschliessenden offenen Strecke der Albhochfläche (PFA 2.3) ist mit Verkarstungserscheinungen zu rechnen.

5.2.4 Alababstiegstunnel

Die Röhren des ca. 5.9 km langen Alababstiegs durchdringen Gesteinsschichten aus Weissjura und der Unteren Süsswassermolasse. Die beiden eingleisigen Röhren werden als Korbbogenquerschnitt erstellt, dessen Grösse entsprechend den geplanten Geschwindigkeiten angepasst wird. In den Tunnelröhren werden abschnittsweise, als Schutzmassnahme gegen Erschütterungen, leichte und schwere Masse-Federsysteme eingebaut.

6 Brückenbauwerke

In den nächsten Jahren werden für das Grossprojekt Stuttgart 21 und Wendlingen – Ulm über 50 Brückenbauwerke mit unterschiedlichen Spannweiten realisiert. Hervorzuheben sind die Neckarbrücke in Stuttgart und die Filstalbrücke als Bestandteil der Neubaustrecke Wendlingen – Ulm.

6.1 Neckarbrücke in Stuttgart

Für das neue Ringsystem in Stuttgart wird eine Trasse für den Fern-, Regional- und S-Bahn-Verkehr vom neuen Stuttgarter Durchgangsbahnhof unter dem Rosensteinpark hindurch über den Neckar nach Bad Cannstatt führen. Die Überquerung des Neckars sowie der Strassen auf beiden Seiten des Flusses erfolgt durch eine 355 m lange und 24 m breite Verbundbrücke (Bild 9).



10 Entwurf für die Filstalbrücke
Design for the Fils Valley Bridge

cover occurs in this zone, at 280 m. These parallel bores terminate at the Buch portal, in direct proximity to the northern flank of the Fils Valley. These engineering works will overcome a height difference of 213 m across a length of around 8.8 km. Squeezing rock behaviour must be anticipated in some zones, due to the cover depths of up to 280 m.

5.2.3 The Steinbühl Tunnel

The Steinbühl Tunnel commences at the Todsburg portal on the southern side of the Fils Valley. A height difference of 105 m is overcome in a length of around 4.8 km up to the Hohenstadt portal at the southern end of the tunnel and the start of the Albhochfläche plateau. The tunnel will pass through all formations of the Upper Jura. Maximum cover is 120 m. Karstification must be anticipated for large sections of the tunnel length, and on the subsequent surface route on the Albhochfläche (PFA 2.3).

5.2.4 The Alababstiegstunnel

The bores of the approximately 5.9 km long Alababstiegstunnel pass through Upper Jura and Lower Fresh-Water Molasse strata. The 2 single-track bores will have an ellipsoid cross-section, the size of which will be selected appropriate to the planned train speeds. Both lightweight and heavy-duty mass-spring systems are to be installed as a precaution against vibration in sections of these tunnel bores.

6 Bridges

More than 50 bridges of various spans are to be constructed for the Stuttgart 21 and Wendlingen-to-Ulm project over the next few years. Particularly worthy of mention are the bridge over the Neckar in Stuttgart, and the Fils Valley Bridge, an element on the new Wendlingen-to-Ulm line.

6.1 The Neckar Bridge in Stuttgart

A route for long-distance, regional and rapid-transit traffic is to be created from the new through station in Stuttgart

Charakteristisch für die Brücke mit 8 Feldern sind die in 3 Reihen angeordneten Stahlsegel. Die Stahlsegel dienen neben ihrer statischen Funktion auch als Lärmschutz für die angrenzenden Wohngebiete. Unterhalb der neuen Eisenbahnbrücke bleibt genug Raum, um einen Rad- und Fussweg über den Neckar an die Brücke anzuhängen.

6.2 Filstalbrücke

Im Planfeststellungsabschnitt Alaufstieg ist zur Überquerung des Filstals, unmittelbar zwischen dem Bossler Tunnel im Westen und Steinbühl Tunnel im Osten, eine bis zu ca. 75 m hohe Brückenkonstruktion vorgesehen (Bild 10).

Hierbei handelt es sich um 2 parallele eingleisige semi-integrale Brückenbauwerke mit einer Länge von jeweils 485 m. Die Stützen der Betonkonstruktion mit einer maximalen Spannweite von ca. 150 m werden V-förmig ausgebildet.

7 Fazit

Mit dem Grossprojekt Stuttgart 21 und Wendlingen – Ulm erfolgt nicht nur der Ausbau für die Hochgeschwindigkeitsstrecke „Magistrale für Europa“, die eine Fahrzeitverkürzung von Stuttgart nach Ulm von 54 auf 28 Minuten ermöglicht. Mit dem Projekt wird im Südwesten Deutschlands auch eine optimale Schieneninfrastruktur für den Fern-, Regional- und Nahverkehr geschaffen, die zu einer nachhaltigen Sicherung des Wirtschaftsstandorts Baden-Württemberg beiträgt.

under the Rosenstein Park and across the Neckar to Bad Cannstatt for the new ring system. The Neckar and the roads on both sides of the river will be spanned by a 355 m long, 24 m wide multi-mode bridge (Figure 9).

The steel “sails” arranged in 3 rows are a characteristic of the bridge, with its 8 panels. The sails perform both a statics function and serve as noise barriers for the adjacent residential areas. There is sufficient space below the new rail bridge for the suspension of a cycle track and pedestrian walkway across the Neckar.

6.2 The Fils Valley Bridge

A bridge structure up to approximately 75 m in height and located directly between the Bossler Tunnel in the west and the Steinbühl Tunnel in the east is envisaged in the Alaufstieg planning approval zone for crossing of the Fils Valley (Figure 10).

This will take the form of 2 parallel single-track semi-integral bridges, each of a length of 485 m. The piers of this concrete structure, with a maximum span of approximately 150 m, will be of V configuration.

7 Conclusion

The major Stuttgart 21/Wendlingen-to-Ulm project involves not only the expansion of the “Superline for Europe” high-speed line, which will permit reduction of journey times from Stuttgart to Ulm from 54 to 28 minutes; it will also create an optimum rail infrastructure, for long-distance, regional and local traffic, in the south-west of Germany, which will contribute to the long-term and sustainable security of Baden-Württemberg as an industrial location.

SWISS TUNNEL COLLOQUIUM 2011

Logistik im Untertagbau • Logistics in Underground Construction

8. Juni 2011



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

Alberto Belloli, Dr. sc., Dipl. Masch.-Ing. ETH, Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ/CH

Nachläuferkonstruktionen

Konzeption in TBM- und konventionellen Vortrieben

Nachläuferkonstruktionen sind zugleich Infrastrukturträger, Logistikträger für die nachgeschalteten Arbeitsstellen und Übergabestellen für den Materialumschlag. Ausgeklügelte, projektspezifische Logistiklösungen im rückwärtigen Bereich von TBM- und Sprengvortrieben führen zu anhaltender Rationalisierung der Bauabläufe, bemerkenswerten Produktivitätssteigerungen sowie zur Humanisierung der Arbeitsplätze bei gleichzeitiger Erhöhung der Arbeitssicherheit.

Back-up Systems

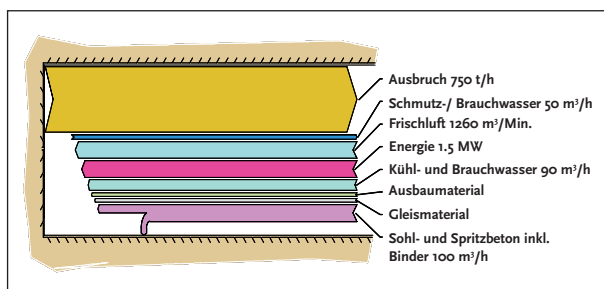
Conceptual designs in TBM and conventional headings

Back-up constructions are at the same time carriers of infrastructure, of logistics for the work areas behind the heading, as well as material handling exchange points. Sophisticated and project-specific logistics designs in the work areas behind TBM and drill and blast headings lead to a continuous rationalisation of construction sequences, to a remarkable increase in productivity, as well as to more humane work places with improved safety.

1 Einleitung

Nachläuferkonstruktionen erfüllen, ungeachtet der Tunnelvortriebsart, verschiedene logistische Aufgaben. Sie stellen die Versorgung des Vortriebes sicher, erlauben effiziente Fellsicherungen und Sohleneinbauten und dienen der Entsorgung des Ausbruchmaterials.

Früher wurden Nachläufersysteme vor allem bei TBM-Vortrieben und in einfacherer Ausführung eingesetzt. Mit der zunehmenden Mechanisierung, Automatisierung und Integration von gleichzeitig stattfindenden Arbeitsabläufen kommen heute umfangreichere Nachläufersysteme zum Einsatz, die mit der immer grösseren Vortriebsleistung der TBM



1 Typische anfallende Materialflüsse bei der Ver- und Entsorgung im Tunnelbau
 Regular material flows during supply and removal in tunnelling construction

1 Introduction

Back-up constructions provide various logistic solutions for all types of tunnel heading procedures. They guarantee supply of the heading, enable efficient rock support and invert construction, and also take care of muck removal.

In the past, basic designs of back-up systems were primarily used with TBM headings. As a result of increased mechanisation, automation and integration of simultaneous procedures, today's back-ups have become more expansive in order to keep up with the ever increasing heading performance of the TBM. Today, such systems are also increasingly used with drill and blast headings to improve construction-related performance, both in the heading area as well as in the area behind the heading face [1].

Regularly recurring procedures are to be mechanised or automated, resulting in not only a reduction of personnel but also of operating errors. In addition, this partial process automation is an important contribution to more humane workplaces. For the contractor, this also means shorter construction times and – in spite of higher investment costs – lower overall charges.

Except for a few considerations about the importance of logistics in the tunnelling industry, this presentation will not go into details of operational construction basics or current

Trains-suiveurs

Leur conception pour les avancements conventionnelles et aux tunneliers

Les trains-suiveurs sont à la fois support infrastructurel et logistique pour les postes de travail situés à l'arrière de la zone d'excavation et lieu de transbordement des matériaux de construction et du marin. Des solutions logistiques sophistiquées, spécifiquement adaptées aux installations dans la zone arrière du tunnelier et des excavations à l'explosif génèrent une rationalisation durable du processus de travail ainsi qu'une hausse remarquable de la productivité. Elles humanisent aussi les postes de travail et augmente la sécurité au travail.

Sistemi di back up

Progettazione con avanzamenti TBM e convenzionali

I back up sono contemporaneamente portatori di infrastruttura, portatori di logistica per le stazioni di lavoro successive e punto di consegna per il trasbordo di materiale. Queste soluzioni logistiche, appositamente studiate e specifiche del progetto, nella zona retrostante gli avanzamenti tramite TBM o esplosivo, garantiscono la durevole razionalizzazione dei processi di costruzione, notevoli incrementi della produttività nonché l'umanizzazione dei posti di lavoro, aumentando nel contempo la sicurezza sul lavoro.

Schritt halten. Vermehrt werden solche Systeme aber auch zur baubetrieblichen Leistungssteigerung beim Sprengvortrieb genutzt, sowohl im Vortriebsbereich als auch im rückwärtigen Bereich [1].

Immer wiederkehrende Abläufe sollen mechanisiert oder automatisiert werden. Neben der Reduktion des Personalaufwandes ergibt sich dadurch auch eine Reduktion von Bedienungsfehlern. Ausserdem wird durch eine Teilautomatisierung der Prozesse ein entscheidender Beitrag zur Humanisierung der Arbeitsplätze geleistet. Für den Unternehmer stehen ausserdem eine kürzere Bauzeit und – trotz höheren Investitionskosten – geringere Gesamtbaukosten im Vordergrund.

Abgesehen von einigen Ausführungen zur Bedeutung der Logistik im Tunnelbau wird im vorliegenden Beitrag weitgehend auf eine Beschreibung der baubetrieblichen Grundlagen und des Standes der Technik verzichtet. Der interessierte Leser findet ausführliche Informationen dazu in den umfassenden Publikationen von Prof. Dr. G. Girmscheid [1 bis 3].

Vielmehr wird über ausgewählte Projekte der vergangenen 10 Jahre berichtet, in denen Nachläufersysteme projektspezifisch konzipiert wurden, um ihre wirtschaftlichen Vorteile auszuschöpfen. Durch optimierte Arbeitsabläufe, durchdachte Arbeitsplatzgestaltung, Mechanisierung und Automatisierung konnten die logistischen Herausforderungen unter Berücksichtigung der vorgegebenen Vortriebsleistungen, Termine und Kosten sowie der Arbeitsbedingungen und -sicherheit beherrscht werden.

2 Bedeutung der Logistik im Tunnelbau

Übergeordnet gliedert sich der Tunnelbau in die Teilbereiche Vortrieb, Ausbruchsicherung und Ausbau.

Je länger das aufzufahrende Los, desto wichtiger ist die Logistik. Die zentralen Fragen sind, wo welche Materialien in

technical standards. The interested reader will find detailed information about the latter in the comprehensive publications by Professor Dr. G. Girmscheid [1 to 3].

On the contrary, there will be in-depth reporting about selected projects from the past 10 years, where back-up systems were designed to fit a project so as to make full use of their economic advantages. By designing optimised operating sequences, carefully thought through workplace concepts, by mechanisation and automation, the logistic challenges could be met, always taking into consideration the required heading performance, deadlines, costs, and working conditions and safety.

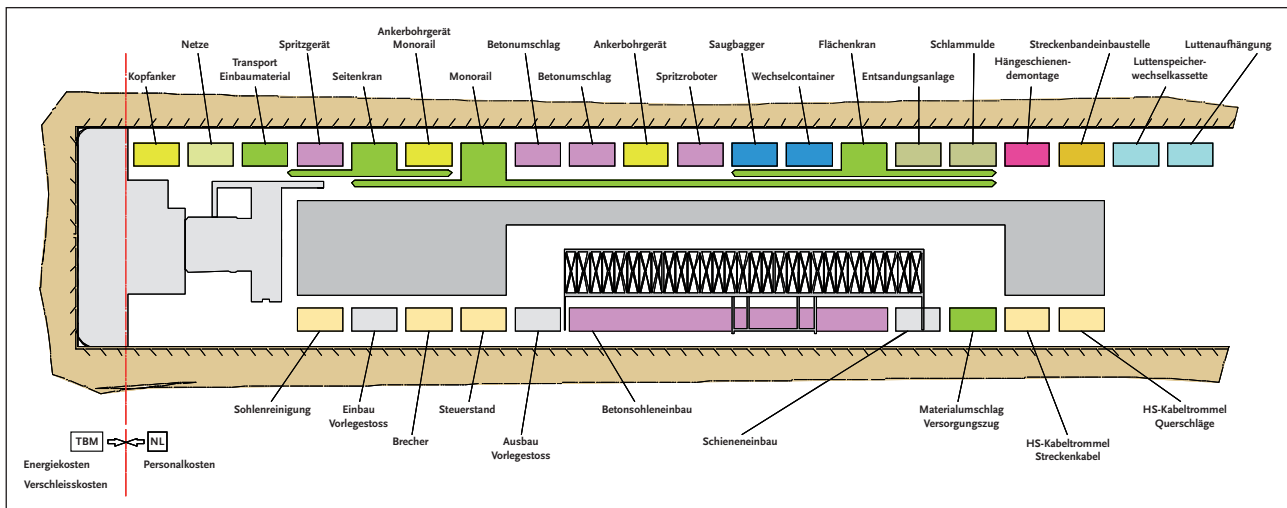
2 Importance of logistics in tunnelling construction

Tunnelling construction can be subdivided into 3 main portions: heading, rock support and lining.

The importance of logistics increases with the length of the sections. The main issues are: where and when should what material be available in which quantities, where and how much material must be stored intermediately, how frequently and at what cost should the material be transferred until it reaches its final destination.

All materials which must be transported into or out from the tunnel should be brought to the right place in the right amount "just in time" with the least possible effort and cost. Interim storages and multiple transfers should be minimised and only be used to the extent of securing a certain resilience against smaller irregularities with long supply chains. This will only be possible if supply is constantly secured (Figure 1).

Tunnelling construction sites are inevitably linear construction sites; a great flow of material passes the individual work areas which must be supplied. The major part of the work



2 Zahlreiche Arbeitsstellen in engstem Raum – Sicherstellung einer effizienten Versorgung dank durchdachtem Logistiksystems
 Numerous work areas in extremely confined space – securing efficient supply thanks to well-designed logistics system

welcher Menge wann vorhanden sein müssen, wie viel wo zwischengelagert werden muss und wie häufig und mit welchem Aufwand das Material umgeschlagen werden muss, bis es am Verwendungsort ankommt.

Sämtliches Material, welches in oder aus dem Tunnel transportiert werden muss, sollte mit möglichst geringem Aufwand „just in time“ in der richtigen Menge an den richtigen Ort gebracht werden. Zwischenlagerungen und mehrfaches Umlagern sind zu minimieren und nur soweit vorzusehen, um eine notwendige relative Unempfindlichkeit gegen kleinere Unregelmässigkeiten bei langen Versorgungsketten zu erlangen. Dies ist nur möglich, wenn die Versorgung stetig sichergestellt ist (Bild 1).

Tunnelbaustellen sind zwangsläufig Linienbaustellen; die einzelnen Arbeitsstellen werden von grossen Materialflüssen passiert und müssen versorgt werden. Ungeachtet der Vortriebsmethode konzentriert sich ein grosser Teil der auszuführenden Arbeitsschritte auf einen engen Raum im vordersten Vortriebsbereich (Bild 2). Gleichzeitig müssen rückwärtige Arbeitsstellen betrieben werden, ohne dass diese den Vortrieb behindern. Die anfallenden Arbeiten müssen, ähnlich wie in einer industriellen Fertigung, in geplanten Abläufen ausgeführt werden.

Die Tunnellogistik soll dabei so organisiert und optimiert werden, dass folgende Prozesse möglichst wirtschaftlich und mit minimaler gegenseitiger Einschränkung sichergestellt werden können:

- Entsorgung des Ausbruchmaterials, evtl. des Bergwassers,
- Versorgung mit Baumaterial für Sicherung und Ausbau,
- Infrastruktur (Frischluf, Energie, Wasser, evtl. Kühlung),
- Wartung und Unterhalt sowie
- Zugang und Evakuierung von Personen.

sequences to be executed takes place within a confined space in the foremost heading area, regardless of the heading method (Figure 2). Simultaneously, work areas situated at the rear must be operated without interfering with the heading operation. Incoming work steps must be executed in predetermined cycles, as in industrial production.

Tunnelling logistics should be organised and optimised to the extent that the following processes may be achieved in an economical way with minimal reciprocal restrictions:

- removal of muck, possibly mountain water,
- supply with construction material for rock support and lining,
- infrastructure (fresh air, energy, water, possibly cooling installation),
- repair and maintenance,
- access and evacuation of personnel.

Without suitable back-up systems, such operation methods would be unthinkable.

3 Back-up constructions for TBM headings

With the TBM heading, the synchronous and continuous course of rock excavation, muck removal and rock support represent an advantage over the conventional headings, where these procedures mostly take place one after another [4]. With the TBM heading, the back-up construction simultaneously carries the infrastructure for the TBM, the logistics for work areas behind the heading, and the supply terminal for material transfer. It must be capable of removing all muck broken out by the TBM, and of bringing all construction material to the correct work site and processing it. The back-up installation must guarantee maximum availability as well as maximum use of performance capacity. High availability together with high-capacity utilisation leads to high top and average performances.

Ohne geeignete Nachläufersysteme ist eine solche Arbeitsweise nicht denkbar.

3 Nachläuferkonstruktionen für TBM-Vortriebe

Beim TBM-Vortrieb stellt der synchrone und kontinuierliche Ablauf von Felsabbau, Schutterung und Sicherungsarbeiten einen Vorteil gegenüber den konventionellen Vortrieben dar, bei denen die Vorgänge weitgehend hintereinander ablaufen [4]. Beim TBM-Vortrieb ist die Nachläuferkonstruktion gleichzeitig Infrastrukturträger für die TBM, Logistikträger für die rückwärtigen Arbeitsstellen und Übergabestelle für den Materialumschlag. Sie muss in der Lage sein, die von der TBM aufgetriebenen Mengen abzuführen und sämtliche Baumaterialien an die richtige Arbeitsstelle zu bringen und zu verarbeiten. Die Nachläuferinstallation muss die maximale zeitliche Einsatzfähigkeit (maximale Verfügbarkeit) sowie die maximale Ausnutzung der Leistungsfähigkeit der TBM (maximale Leistungsauslastung) sicherstellen. Eine hohe Verfügbarkeit bei hoher Leistungsauslastung führt zu hohen Spitzen- und Durchschnittsleistungen.

3.1 Konstruktive Besonderheiten durch riesigen Durchmesser, schwierige Geologie und Tunnelführung

Das parallel geschichtete, quellfähige Gestein im Niagara Tunnel Facility Project erforderte eine neue Definition der Schnittstelle zwischen Gripper-TBM und Nachläuferkonstruktion. Die sofortige Felssicherung im horizontal geschichteten Gebirge musste unmittelbar hinter dem Fingerschild und somit im Bereich der TBM mit einem leistungsstarken Spritzbetonmanipulator erfolgen. Anstatt der üblichen Kufen oder Fahrwerke verfügte der erste von insgesamt 4 Wagen (NL1) über ein Schreitwerk, weil er direkt hinter dem Bohrkopf lag und dort noch kein geeignetes Trasse für das Verfahren zur Verfügung stand. Die restlichen Wagen wurden auf Fahrwerken nachgezogen.

Beim riesigen Durchmesser von 14.40 m konnten durch verschiebbare Arbeitspodeste über 4 Ebenen sicherere und humanere Arbeitsbedingungen beim Versetzen der Anker, Netze und Bögen erreicht werden. Der riesige Durchmesser stellte darüber hinaus grosse Anforderungen an Logistik und Konsolidierung. An der Tunneldecke wurde ein zweigleisiger Hängekran aufgehängt. Mit diesem vom Nachläufer unabhängigen Hängekran erfolgte die direkte Versorgung ab dem Transportfahrzeug bis zur Einbaustelle direkt hinter dem Bohrkopf. Der Hängekran bestand aus einem Fahrchassis und einem integrierten, schwenkbaren Teleskoparm, der eine Lieferung an jeden beliebigen Punkt von der Tunnelrinne bis in die Sohle und eine beachtliche Leistungssteigerung ermöglichte. Zur Verbesserung des Verhältnisses Vortriebs- zu Konsolidierungszeit, d.h. keine Einschränkung der Vortriebsleistung durch die grosse Einbaumenge an Spritzbeton, kamen 2 voneinander unabhängige, längs verfahrbare Spritzbetonmanipulatoren mit einem Einsatzbereich von 360° zum Einsatz.

3.1 Enormous diameter, difficult geology and tunnel alignment require structural characteristics

The parallel stratified rock with potential of swelling, in the Niagara Tunnel Facility Project, required a new definition of interface between gripper TBM and back-up construction. Immediate rock support in the horizontally stratified geology had to take place with a high-performance shotcrete manipulator, immediately behind the trailing finger shield and, therefore, in the area of the TBM. Instead of the usual skids or carriages, the first of a total of 4 gantries (NL1) was equipped with a stepper, because it was placed immediately behind the cutterhead, and there was no suitable line in place yet for this procedure. The remaining gantries were pulled behind on carriages.

With the enormous diameter of 14.40 m, adjustable work platforms over 4 levels allowed for safer and more humane working conditions when setting rock bolts, meshes and steel sections. In addition, the enormous diameter posed great challenges to logistics and consolidation. A 2-track overhead travelling crane was suspended from the roof of the tunnel. This crane, which did not depend on the back-up, ensured direct supply from the transport vehicle past the TBM to the installation site behind the cutterhead. The overhead travelling crane consisted of a travelling chassis and an integrated swivelling telescopic arm, to supply any point, from the roof heads to the floor, and it enabled a considerable performance improvement. To improve the ratio of heading time to shotcreting time, i.e. to ensure that the rate of advance was not restricted by the large amounts of shotcrete required, 2 independently functioning, longitudinally mobile shotcrete manipulators with a spraying range of 360° were used.

Additional challenges with this project were the varying gradients. Initially, the TBM bored into the subsoil at a descending gradient of 7.8 %, then continued almost horizontally for approximately 7.4 km, surfacing again at an ascending gradient of 7.3 %. This called for numerous special design features for the back-up construction. In particular, all machines had to be specially adapted for descending and ascending heading.

3.2 Disentanglement between supply and removal lines, consequent mechanisation and partial automation led to maximum performances

For the single-shield hard rock tunnel boring machines of the Wienerwald Tunnel, logistics for maximum performances of 54 m/d with invert lining integrated into the heading had to be designed. After detailed analysis of the required work cycles, an innovative logistics concept for back-up installations was created.

Supply of the heading installation was secured via double rail track. Lining segments, peagravel, sand and bonding agents for the annular gap back filling were transported to the back-up with only 1 train. The latter 2 components and water were mixed together in the heading and used as mortar back fill-



3 *Automatisierter Umschlag der Tübbinge vom Bahnhofsbereich bis zum Tübbingmagazin bei gleichzeitigem Betonumschlag für den Sohleinbau (Wienerwald-Tunnel)
Automated lining segment transfer from supply train to lining segment storage, with simultaneous concrete transfer for invert construction (Wienerwald Tunnel)*

Eine weitere Herausforderung im Projekt waren die wechselnden Neigungen. Zunächst tauchte die TBM mit 7.8 % in den Untergrund, fuhr dann rund 7.4 km beinahe horizontal, um dann mit 7.3 % Steigung wieder aufzutauchen. Dies bedingte bei der Konzeption der Nachläuferkonstruktion viele Besonderheiten. Insbesondere mussten sämtliche Geräte für fallenden und steigenden Vortrieb ausgelegt werden.

3.2 Höchstleistungen durch Entflechtung der Versorgungs-/Entsorgungswege, konsequente Mechanisierung und Teilautomation

Für die Einzelschild-Hartgesteinstunnelbohrmaschinen des Wienerwald-Tunnels galt es, eine Logistik für Spitzenleistungen von 54 m/Tag mit im Vortrieb integriertem Sohlausbau zu konzipieren. Nach genauer Analyse der erforderlichen Arbeitsabläufe entstand ein innovatives Logistikkonzept für die Nachläuferinstallation.

Die Versorgung der Vortriebe erfolgte über ein Doppelgleis. Mit einem Zug wurden Tübbinge für die Auskleidung und Perlkies, Sand und Bindemittel für die Ringspalthinterfüllung in den NL transportiert. Letztere beide Komponenten wurden im Vortrieb mit Wasser aufgemischt und als Mörtelhinterfüllung der Tübbinge im Sohlbereich verwendet. Parallel dazu wurde der Sohlgewölbebeton mit Kübelwagen antransportiert. Zusätzliche Versorgungsfahrten erfolgten mit Streckenbandelementen, Rohrleitungen, Betriebs- und Verschleissmaterial. Für die Entsorgung des Ausbruchmaterials sorgte ein Streckenförderband. Durch den Einsatz von 2.25 m langen Tübbingungen wurde das Verhältnis der Vortriebs- zur Ringbauzeit verbessert und somit die Vortriebsleistung erhöht.

Auf dem hintersten Wagen (NL3) befand sich die Infrastruktur für die Versorgung mit elektrischer Energie, Kühl- und Brauchwasser sowie Frischluft. Zusätzlich fanden dort eine

ing of the lining segments in the invert area. At the same time, the invert concrete was carried over with bucket cars. Additional deliveries of conveyor elements, pipelines and wear and tear material were executed. A continuous conveyor ensured the removal of the muck material. The implementation of 2.25 m long lining segments improved the relation between heading time and ring construction time and, therefore, increased the heading performance.

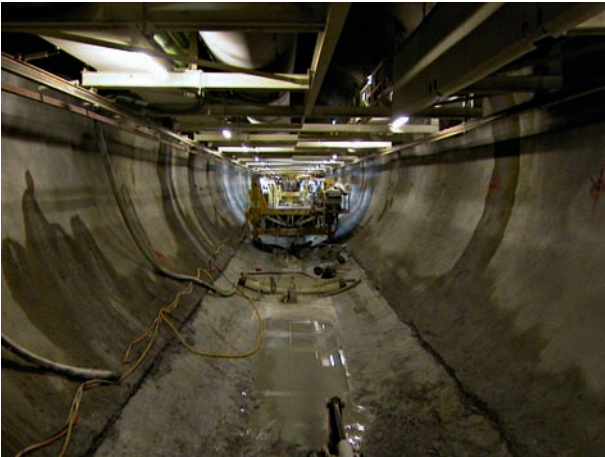
The last gantry (NL3) carried the infrastructure for the supply of electrical energy, cooling and industrial water and fresh air. In addition, a generous installation for additional injections and the installation platform for conveyor elements were placed there. Gantry 2 (NL2) consisted of the transloading train station with double rail track for unloading supply trains (Figure 3) and the invert lining construction site with a concrete extruding machine. The transport route for supply of the heading was spatially separated in the upper deck. Finally, the interim storage and the installation area for the lining segments, the annular gap back filling and the track installation with special consoles for the back-up, were placed in gantry 1 (NL1). The infrastructure of the shield machine was placed on the middle deck.

A total of 3 processes had been automated in the back-up installations. The lining segment transport from NL 2 to NL 1 over a stretch of 180 m had been automated. The rail- and console-transport from NL 3 to NL 1 over a stretch of 225 m had also been automated. The production of wet mortar from the 3 separate components: sand earth-moist, adhesive cement oven-dry and water, had been automated.

Besides the reduction in operating personnel as a direct result of automation, additional advantages could be gained. The potential of human errors when operating machines was markedly reduced. Consequently, breakdown of equipment due to operating mistakes was equally minimised. Therefore, a higher availability of the entire operation and increased working safety were achieved.

At the Amsteg section of the Gotthard Base Tunnel, the tunnel invert in the L 3 area was built at the same time as the heading progressed, similarly to the Wienerwald Tunnel project. A suspended platform, with an optimised length for the planned activities, bridged the invert construction area (Figure 4). Thanks to the working area being clear, operations could take place in an efficient and flexible way, independent of the heading. The supply train could pass through to the invert construction site, which resulted in short concrete transport routes.

Furthermore, a monorail suspended from the tunnel crown moved independently from the rest of the back-up system (Figure 5). This allowed for rock support material, shotcrete in mixing containers, wear and tear and maintenance material, to be transported from the train station area L3 without additional transloading or intertank transfer to the respec-



4 Gleichzeitiges Arbeiten dank einer Hängebühne über die Sohlbetonbaustelle (Gotthard-Basistunnel – Los Amsteg)
Simultaneous work execution enabled by suspension platform across invert construction site (Gotthard Base Tunnel – Amsteg section)

grosszügige Einrichtung für Nachinjektionen und das Einbaupodest für die Streckenbandelemente Platz. Der NL2 bestand aus dem Umschlagbahnhof mit Doppelgleis für die Entladung der Versorgungszüge (Bild 3) und dem Sohleinbaubereich mit einem Gleitfertiger. Im oberen Bereich war der Transportweg für die Vortriebsversorgung räumlich getrennt angeordnet. Im NL1 schliesslich befanden sich das Zwischenlager und der Einbaubereich für die Tübbinge, die Ringspalthinterfüllung und die Schienenanlage mit den Spezialkonsolen für den Nachläufer. Auf dem Mitteldeck war die Infrastruktur der Schildmaschine untergebracht.

Insgesamt wurden in den Nachläuferinstallationen 3 Prozesse automatisiert. Automatisch erfolgte der Tübbingtransport vom NL2 zum NL1 über eine Strecke von 180 m. Ebenso automatisch erfolgte der Schienen- und Konsolentransport vom NL3 zum NL1 über eine Strecke von 225 m. Automatisch wurde Nassmörtel aus den 3 getrennten Komponenten Sand erdfucht, Bindemittel ofentrocken und Wasser hergestellt.

Mit dem Automatikbetrieb fallen nebst der Reduktion der Personalaufwendungen weitere Vorteile an. Die Möglichkeit von Bedienungsfehlern wird deutlich reduziert. In der Folge werden dadurch bedingte Ausfälle von Geräten minimiert. Dies führt zu einer höheren Verfügbarkeit der Gesamtanlage und einer höheren Arbeitssicherheit.

Ähnlich dem Projekt Wienerwald-Tunnel, wurde im Los Amsteg des Gotthard-Basistunnels die Tunnelsohle im L3-Bereich laufend mit dem Vortrieb erstellt. Eine Hängebühne, deren Länge für die vorgesehenen Leistungen und Abläufe optimiert wurde, überbrückte die Sohlbaustelle (Bild 4). Dank der abstützfreien Arbeitsfläche konnten die Arbeiten unabhängig vom Vortrieb effizient und flexibel ausgeführt werden. Der Versorgungszug hatte Durchfahrt bis zur Sohleinbaustelle, dadurch ergaben sich kurze Betontransportwege.



5 Einschienehängebahn zur direkten Versorgung der Arbeitsstellen (Gotthard-Basistunnel – Los Amsteg)
Monorail for direct supply of work areas (Gotthard Base Tunnel – Amsteg section)

tive workplaces in the L2 area, from where a side crane supplied the TBM with rock support material. This enabled minimal obstruction of the various workplaces by the transports, and bulk supplies such as shotcrete and invert concrete were transloaded only once.

3.3 Increase of availability via design details and use of a rock crusher

At the Amsteg section of the Gotthard Base Tunnel, we expected to find geological formations with large blocks of excavation material; the risk of damage to the conveyor belts was therefore considerable. To increase availability of muck removal, i.e. to guarantee uninterrupted removal of excavated material via conveyor, a rock crusher was placed immediately behind the gripper-TBM. In spite of additional investment and wear and tear cost, this measure had proven to be very effective in view of the clearly increased availability. Also the shotcrete manipulator with a working range of 360° was designed in a way to prevent shotcrete rebound on machinery parts as far as possible, in order to guarantee the highest possible degree of availability (Figure 6).

3.4 Particular challenges with inclined shafts

When designing a back-up installation for steep inclined shaft heading, the highest attention has to be paid to developing forces and static loads. Therefore, static design must consider downhill forces and the increased trailing forces. For the entire back-up construction, redundant elements must be designed and dimensioned. In case of malfunctioning of a connecting rod, a connecting butt strap or a trailing cylinder, a second and independent element must be able to take up the whole load.

According to standard EN 815 [5], heading installations used in shafts with inclines of 25 % and above must be equipped with an anti slip-back system which prevents slipping during gripper movement. The anti slip-back system is placed



6 Spritzbetonmanipulator im Konsolidierungsbereich
(Gotthard-Basistunnel – Los Amsteg)
Shotcrete manipulator in consolidation area
(Gotthard Base Tunnel – Amsteg section)

Zudem lief eine Einschienenhängebahn unabhängig von der übrigen Nachläuferinstallation am Tunnelfirst (Bild 5). Auf diese Weise konnten Sicherungsmaterialien, Spritzbeton in Mischcontainern, Betriebs- und Verschleissmaterialien vom Bahnhofsbereich L3 ohne zusätzlichen Umschlag oder Umpumpen an die entsprechenden Arbeitsstellen bis in den L2-Bereich transportiert werden. Von dort sorgte ein Seitenkran für die Versorgung der TBM mit Sicherungsmitteln. Somit konnte die Behinderung der verschiedenen Arbeitsstellen durch die Transporte minimiert und die grossen Massen, d.h. Spritzbeton und Sohlbeton, mussten nur einmal umgeschlagen werden.

3.3 Erhöhung der Verfügbarkeit durch Detailkonstruktion und Einsatz eines Brechers

Im Los Amsteg des Gotthard-Basistunnels wurden geologische Formationen mit grobblockig anfallendem Ausbruchmaterial erwartet; das Schadensrisiko an Transportband oder Streckenband war entsprechend gross. Zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Entsorgung, d.h. zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Materialabförderung auf dem Streckenband, wurde ein Gesteinsbrecher unmittelbar hinter der Gripper-TBM geschaltet. Trotz der zusätzlichen Investitions- und Verschleisskosten hat sich diese Massnahme dank der deutlich gesteigerten Verfügbarkeit klar ausgezahlt. Auch der Spritzbetonmanipulator mit 360° Arbeitsbereich wurde zur höchstmöglichen Verfügbarkeit so konstruiert, dass ein Rückprall des Spritzbetons auf Antriebs- und Verschleisssteile möglichst verhindert werden konnte (Bild 6).

3.4 Besondere Herausforderungen bei Schrägschächten

Bei der Konzeption einer Nachläuferinstallation, welche in grosser Neigung zum Einsatz kommt, ist den einwirkenden Kräften höchste Aufmerksamkeit zu schenken. Somit wird das statische Konzept den Hangabtrieb und die erhöhten Nachschleppkräfte berücksichtigen müssen. Für die gesamte

between the back-up installation and the TBM. After each boring stroke, 2 trailing cylinders drag the anti slip-back system and the back-up installation. During the design phase of such a system, safety issues and reliability must always be in the foreground. With thorough risk analysis, measures and strategies are developed to avoid risks and dangers during normal operation as well as in case of disturbance.

Both the anti slip-back system for the project Pumping Power Station Limberg II (incline of 100 %; Figure 7) and the one for the access tunnel I of the project Linthal 2015 (incline of 24 %) were designed in a way that its nitrogen-filled pressure cylinders would brace, independent of external energy sources. The anti slip-back system wedged itself tightly through its mechanical lever system, as soon as the holding friction between press plate and tunnel walls was achieved.

Supply via tire operation is only possible up to 15 % incline; beyond that the heading must be supplied with a track-bound cable car. The drive can be designed as a stationary or a mobile system. The hoist system with 2000 kW installed capacity to supply the heading in access tunnel I with 24 % incline for the power plant project Linthal 2015, for example, was integrated in the back-up construction [6]. With different modules, the supply train with up to 48 t load capacity and maximum 4 m/s is able to supply the heading with shotcrete, rock support material, invert segments, wear and tear and maintenance material, or else transport up to 20 persons. The shotcrete rebound is also removed via the supply train.

The tunnel gradient also deserves special attention during removal. With very steep incline, metal chutes or pocket conveyors are employed. If conveyors are used, they must be slowed down by using electric motors with regenerative feedback units which are connected to the power net [6].

4 Back-up installations for conventional headings

Also with conventional headings, there is always the problem of simultaneous operations and confined space conditions. Back-up systems have, therefore, become an important element for performance improvement and increase of work safety.

In order to provide an additional working level, suspension platforms are increasingly used. Not only are the entire installations placed on these platforms, but also transport conveyors and hoisting systems for material handling.

The high rate of mechanisation of conventional heading initially calls for higher investments from the contractor, and their profitability must be attained by improved heading performances.

Nachläuferkonstruktion müssen alle Elemente der Nachschleppung redundant konstruiert und dimensioniert sein. Bei Versagen einer Zugstange, einer Verbindungsflasche oder eines Nachschleppzylinders muss ein zweites, unabhängiges Element die gesamte Last aufnehmen können.

Gemäss der Norm EN 815 [5] muss die Vortriebsinstallation ab 25 % Steigung zudem mit einer Rückfallsicherung ausgerüstet sein, welche während des Umsetzvorganges ein Abrutschen ausschliesst. Die Rückfallsicherung ist zwischen der Nachläuferkonstruktion und der TBM geschaltet. Nach jedem Bohrhub wird die Rückfallsicherung mit der Nachläuferkonstruktion über 2 Nachschleppzylinder nachgezogen. Während des Bohrvortriebes und insbesondere beim Umsetzen der TBM-Gripper ist die Rückfallsicherung verspannt und sichert die Nachläuferkonstruktion. Bei der Entwicklung einer solchen Anlage stehen Sicherheitsdenken und Zuverlässigkeit im Vordergrund. Mit gründlichen Risikoanalysen werden die Gefährdungen und Risikominderungsmaßnahmen für den Regel- und Störfall ausgearbeitet. Sowohl die Rückfallsicherung für das Projekt Pumpspeicherwerk Limberg II (Steigung 100 %; Bild 7) als auch jene für den Zugangsstollen I des Projektes Linthal 2015 (Steigung 24 %) wurden so konzipiert, dass deren mit Stickstoff beaufschlagte Anpresszylinder unabhängig von fremden Energiequellen verspannen. Die Rückfallsicherung verkeilt sich über ihr mechanisches Spreizhebelsystem, sobald die Haftreibung zwischen Anpressplatten und Tunnelwand erreicht ist.

Die Versorgung durch Pneubetrieb ist nur bis ca. 15 % Steigung möglich, darüber muss der Vortrieb mit einer schienegeführten Standseilbahn versorgt werden. Dessen Antrieb kann entweder stationär oder mobil ausgelegt werden. Die 2000 kW leistungsstarke Windenanlage für die Versorgung des 24 % steilen Vortriebes des Zugangsstollens I für das Kraftwerk-Projekt Linthal 2015 ist beispielsweise in der Nachläuferkonstruktion integriert [6]. Mit verschiedenen Modulen kann die Versorgungsbahn den Vortrieb mit Spritzbeton, Felssicherungsmaterial, Sohlübungen, Verschleissmaterial und Betriebsmitteln bis zu 48 t Nutzlast bei maximal 4 m/s versorgen, oder aber bis zu 20 Personen transportieren. Auch die Entsorgung des Spritzbeton-Rückpralls erfolgt über die Versorgungsbahn.

Die Stollenneigung ist auch bei der Entsorgung zu beachten. Bei sehr grosser Neigung kommen Blechrutschen oder Taschenförderbänder zum Einsatz. Werden Förderbänder eingesetzt, sind diese zu bremsen, indem die Elektromotoren mit Rückspeiseeinheiten ausgerüstet werden, welche sich auf dem Stromnetz abstützen [6].

4 Nachläuferkonstruktionen für konventionelle Vortriebe

Auch beim konventionellen Vortrieb stellt sich das Problem der gleichzeitigen Arbeiten und der engen Platzverhältnisse. Nachläufersysteme sind deshalb ein wichtiges Element zur



7 Rückfallsicherung mit Nachschleppzylinder in einem 45°-Schrägschacht (Pumpspeicherwerk Limberg II)
Anti slip-back system with trailing cylinder in 45° inclined shaft (PSP Limberg II)

4.1 Remarkable productivity increase with drill and blast heading

The construction site Mitholz of the Lötschberg Base Tunnel shows how performances could be considerably increased, thanks to sophisticated logistic and transport systems. In view of the existing basic conditions, performances of 7 to 8 m/d with conventional logistics could be expected. The aim to increase productivity was consistently pursued and also achieved through high mechanisation of the drill and blast heading.

The 3 heading installations contained each a 120 m long suspension platform for the infrastructure installations and for the ventilation fans. Below the suspension platform, there was a 180 m long parking area for mobile construction equipment. In the rear part of the heading installation, the invert lining was accomplished – staggered lengthwise – by applying blinding concrete. A travelling crane below the suspension platform could be used for transloading and maintenance work. The conveyor installations for removal of the excavated material consisted each of a rock crusher and conveyor installations, whereby the belt conveyor was suspended below the suspension platform (Figure 8). Cross conveyors were installed in the cross passages which transported the excavated muck from the parallel heading of the Eastern tunnel to the main continuous conveyor in the Western tunnel.

Thanks to the logistics system allowing for control of material transport from rock face to dumpsite at the touch of a button, performances of up to 10–11 m/day could be achieved. With this performance increase of 30–40 %, the required investments could be amortised and the total construction costs could be lowered considerably.

Also with the Southern headings of the Sedrun section at the Gotthard Base Tunnel, the combination of heading and

Leistungssteigerung und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit geworden.

Um eine zweite Arbeitsebene zu bilden, kommen vermehrt Hängebühnen zum Einsatz. Auf diesen Bühnen sind die gesamten Installationen platziert, häufig aber auch Verladebandanlagen und Hebeeinrichtungen für den Materialumschlag.

Die hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes bedeutet zunächst eine grössere Investition für den Unternehmer, deren Rentabilität ist nur über höhere Vortriebsleistungen zu erzielen.

4.1 Grosse Produktivitätssteigerung im Sprengvortrieb

Ein Beispiel dafür, wie mittels eines ausgeklügelten Logistik- und Transportsystems die Leistungen markant gesteigert werden konnten, ist die Baustelle Mitholz des Lötschberg-Basistunnels. Angesichts der gegebenen Randbedingung konnte mit einer herkömmlichen Logistik mit Leistungen von 7 bis 8 m/Tag gerechnet werden. Mit einer hohen Mechanisierung des Sprengvortriebes wurde das Ziel der Produktivitätssteigerung konsequent verfolgt und erreicht.

Die 3 Vortriebsinstallationen beinhalteten je eine 120 m lange Hängebühne für die Infrastruktur-Aufbauten und die Ventilatoren für die Bewetterung. Unter der Hängebühne bot eine Parklänge von 180 m Platz für die mobilen Geräte. Im hinteren Bereich der Vortriebsinstallation wurde die Sohle – je zur Hälfte in Längsrichtung versetzt – mit einem Ausgleichsbeton ausgebildet. Unter der Bühne wurde ein Flächenkran für die Umschlags- und Wartungsarbeiten eingesetzt. Die Förderinstallationen für die Entsorgung des Ausbruchmaterials bestanden aus je einer Gesteinsbrechanlage und Bandanlagen, wobei das Schleppband unter der Hängebühne aufgehängt war (Bild 8). Durch die Querschläge wurden Querbänder geführt, welche das Ausbruchmaterial vom parallelen Vortrieb der Oströhre zum Hauptstreckenband in der Weströhre transportierten.

Dank des Logistiksystems, mittels welchem der Materialtransport per Knopfdruck von der Brust bis zur Deponie gesteuert werden konnte, wurden Leistungen von 10 bis 11 m/Tag erreicht. Mit dieser Leistungssteigerung von 30 bis 40 % konnten die erforderlichen Investitionen amortisiert und darüber hinaus die Gesamtbaukosten bedeutend gesenkt werden.

Auch in den Süd-Vortrieben des Bauloses Sedrun am Gotthard-Basistunnel hatte die Kombination von Vortrieb und gleichzeitigem Nachziehen des Sohlgewölbes, der hohe Mechanisierungsgrad und das Aufteilen der Materialflüsse auf Streckenband und Gleisanlagen produktivitätssteigernde Auswirkungen und brachte deutliche Verbesserungen bezüglich Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz. Das Ausbruchmaterial wurde mittels Schlagwalzenbrecher im Vortrieb gebrochen und auf das unter der Hängebühne hängende



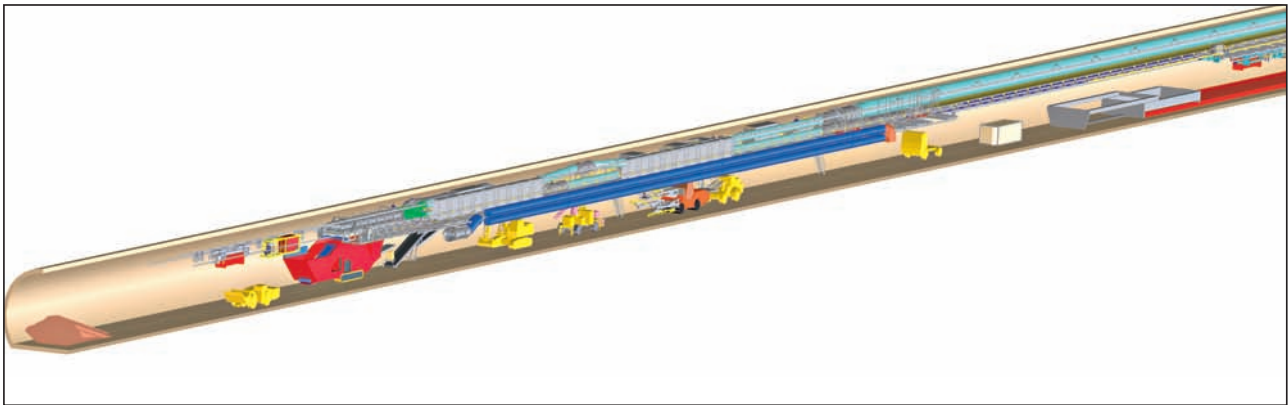
8 Hoch mechanisierter Sprengvortrieb – Brecher, Hängebühne mit den Infrastruktur-Aufbauten, Schleppband und Streckenband (Lötschberg-Basistunnel – Los Mitholz)
Highly mechanized drill and blast heading – crusher, suspension platform with infrastructure installations, towing conveyor and continuous conveyor (Lötschberg Base Tunnel – Mitholz section)

simultaneous trailing of the invert, the high mechanisation rate and the partitioning of material flows on conveyor and track installations increased productivity and brought clear improvements with regard to work safety and health protection. The excavated muck was crushed in the heading with an impact roll crusher and loaded onto the towing conveyor suspended below the suspension platform. The latter bridged the base invert construction site and transferred the material onto the conveyor belt.

The provision of shotcrete, rock support and construction material took place by rail operation from the multifunction station to the heading installation. From the rail track, a heavy duty crane, with 20 t bearing capacity, supplied the invert construction site and the heading. With a telescopic suction ventilation, blast fumes could be extracted immediately and dust and heat could be removed. Cooling machines could be placed in a flexible manner, thanks to fresh air supply in the free cross-section.

The latest generation of back-up installations for drill and blast heading is used with the main headings at the Ceneri Base Tunnel. Each installation basically consists of ventilation platform, heading platform, invert platform, crusher, conveyor belts and monorail (Figure 9).

The ventilation platform carries the airducts for blowing ventilation and can be telescoped 40 m, up to approx. 30 m behind the rock face (Figure 10). This enables optimisation of fresh air supply and efficient flushing of the blast fumes. The latter are vacuumed off in the heading platform area and do not pass through the rear invert construction site. Before blasting, the ventilation platform is retracted next to the crusher and is then outside of the danger area.



9 Nachläufersystem für die Hauptvortriebe (SPV) des Ceneri-Basistunnels
Back-up system for main headings (drill and blast) of Ceneri Base Tunnel

Schleppband aufgegeben. Dieses überbrückte die Sohlgewölbebaustelle und übergab das Material auf das Streckenband.

Die Versorgung mit Spritzbeton, Felssicherungsmaterial und Baumaterial erfolgte von der Multifunktionsstelle bis zur Vortriebsinstallation im Gleisbetrieb. Ab dem Gleis versorgte ein Schwerlastkran mit 20 t Tragkraft die Sohlgewölbebaustelle und den Vortrieb. Mit einer teleskopierbaren saugenden Bewetterung konnten die Sprengschwaden rasch abgesaugt sowie Staub und Wärme abgeführt werden. Dank der Frischluftzufuhr im freien Querschnitt konnten Kühlmaschinen flexibel aufgestellt werden.

Die jüngste Generation von Nachläuferkonstruktionen für den Sprengvortrieb ist bei den Hauptvortrieben des Ceneri-Basistunnels im Einsatz. Jede Anlage besteht im Wesentlichen aus Ventilationsbühne, Vortriebsbühne, Sohlbetonbühne, Brecher, Förderbändern und Einschienenhängebahn (Bild 9).

Die Ventilationsbühne ist Träger für die Lutten der blasenden Bewetterung und kann 40 m teleskopiert werden, bis ca. 30 m hinter der Ortsbrust (Bild 10). Damit lässt sich die Zufuhr von Frischluft optimieren und die Sprengschwade effizient spülen. Letztere wird vorne an der Vortriebsbühne abgesaugt und wandert nicht durch die rückwärtige Sohlbaustelle. Für den Sprengvorgang wird die Ventilationsbühne bis zum Brecher eingefahren und ist dadurch ausserhalb des Gefahrenbereiches.

Auf der 135 m langen Vortriebsbühne finden alle Infrastruktur-Aufbauten, die Entstaubung sowie die Ventilatoren Platz. Darunter hängt das 630 m lange Schleppband, welches für die Entsorgung des vom Backenbrecher zerkleinerten Ausbruchmaterials verantwortlich ist. Das Schleppband wirft das Ausbruchmaterial auf ein Transferband ab, welches alle 330 m gleichzeitig zur Verlängerung des Streckenbandes nachgezogen wird. Querbänder transportieren das Ausbruchmaterial der Oströhren durch die Querschläge zu den Streckenbändern in den Weströhren.

All infrastructure installations, dust removal equipment as well as ventilators are located on the 135 m long heading platform. Suspended below is the 630 m long towing conveyor, which is responsible for removal of the excavation muck crushed by the jaw crusher. The towing conveyor drops the excavation muck onto a transfer conveyor which is towed every 330 m, simultaneously with the extension of the conveyor belt. Cross conveyors transport the excavation muck of the Eastern pipes through cross passages to the main continuous conveyors in the Western pipes.

Simultaneously with the heading operation, a self-moving formwork is fitting the entire width of the invert. The in-situ concrete is supplied with a truck and transported by a 15 t heavy-duty crane to the installation site. Heavy replacement parts for the construction machines can also be transported across the invert construction site with the travelling crane. The 66 m long invert platform has a relative traverse path to the heading platform of approximately 50 m; this contributes to a considerable reduction of interdependencies between the 2 construction sites.

Supply of the heading with rock support material, shotcrete in mixing containers, maintenance and wear and tear material as well as explosives is secured by a monorail, which bridges over the invert construction site and the heading installations.

4.2 Increase of work safety and deadline advantages when mastering squeezing rocks

The geotechnically most demanding sections of the Gotthard Base Tunnel to be excavated conventionally, with squeezing rocks in the Northern headings of the Sedrun section, could be traversed with a special rock support system [7]. Radial and heading rockbolts, massive steel rings reinforcement and shotcrete were used for excavation. The chosen system with deformable sliding steel rings has never been used in these dimensions before. With a custom-made heading installation consisting of a special machine for rock support, suspension platform and supply train, the interlock-



10 *Teleskopierbare Ventilationsbühne für die optimale Frischluftzufuhr bis zur Ortsbrust und zur effizienten Spülung der Sprengschwaden (Ceneri-Basistunnel – Los Sigrino)*
Telescopic ventilation platform for optimal fresh air supply up to the heading face and for efficient suction ventilation of blasting fumes (Ceneri Base Tunnel – Sigrino section)

Die Sohle wird auf der ganzen Breite gleichzeitig zum Vortrieb mit einer selbstschreitenden Schalung nachgezogen. Der Ortsbeton wird per Lkw angeliefert und mit einem 15-t-Schwerlastkran bis zur Einbaustelle transportiert. Schwere Ersatzteile für die Baugeräte können ebenfalls mit dem fahrbaren Kran über die Sohlbaustelle transportiert werden. Die 66 m lange Sohlbetonbühne hat einen relativen Verfahrweg von ca. 50 m zur Vortriebsbühne; dadurch werden die Abhängigkeiten bei der Baustellen wesentlich reduziert.

Die Versorgung des Vortriebes mit Sicherungsmaterialien, Spritzbeton in Mischcontainern, Betriebs- und Verschleissmaterialien sowie Sprengstoff wird durch eine Einschienenhängebahn sichergestellt, welche die Sohlbaustelle und die Vortriebsinstallation überbrückt.

4.2 Erhöhung der Arbeitssicherheit und Terminvorteil bei der Meisterung von druckhaftem Gebirge

Mit einem speziellen System der Ausbruchsicherung konnte der geotechnisch anspruchsvollste konventionell auszubrechende Abschnitt des Gotthard-Basistunnels mit druckhaften Zonen in den Nord-Vortrieben des Loses Sedrun durchfahren werden [7]. Der Ausbruch erfolgte unter Einsatz von Brust- und Radialankern, massivem Stahleinbau und Spritzbeton. Das gewählte Konzept des deformierbaren Stahleinbaus wurde in diesen Dimensionen zuvor noch nirgends eingesetzt. Mit einer massgeschneiderten Vortriebsinstallation bestehend aus Streckenausbaumaschine, Hängebühne und Versorgungszug konnte ein rascher Ringschluss unter effizienten, flexiblen und sicheren Arbeitsbedingungen erreicht werden.

Zuvorderst stand eine Streckenausbaumaschine mit Arbeitskörben, Versetzarman und Spritzbetonmanipulator. Einbaubögen wurden paket- und segmentweise montiert (Bild 11). Der aufgebaute Spritzbetonmanipulator versiegelte das Profil. Mit 2 Ablängscheren konnten die voraus-

ing rings could be joined under efficient, flexible and safe working conditions.

The special machine for rock support with working baskets, displacing arms and a shotcrete manipulator was positioned right at the front. Ring beams were placed by bundle and by segment (Figure 11). The installed shotcrete applicator sealed the profile. With 2 cutting pincers, the previously placed heading rockbolts could be trimmed efficiently and safely. Thanks to the suspended construction for ventilation, cooling and rail removal as well as the special machine for rock support, the tunnel constructors had a second working level and free floor space for working, manoeuvring and parking at their disposal. A 20 t heavy-duty crane was used to supply rock face and workplaces. Infrastructure and supply trains made sure that infrastructure and material arrived at the right time at the right place. The special machine for rock support, the heavy-duty crane and the suspension platform moved on the same suspension rail lines.

Thanks to the chosen installation plan, the challenges of this project could be successfully met and the average heading performance could be increased to 1.34 m/d [8]. Breakthrough took place 9 months before the contractual deadline. Total construction costs were also slightly lower than budgeted [7].

5 Summary

As could be illustrated with various projects, optimal logistics in the back-up area will increase productivity and heading performances, and lower total costs. Key factors for success are:

- continuous material flow for supply and removal,
- minimisation of interdependencies,
- separation of working processes via different working levels,
- highest possible amount of mechanisation,
- more humane workplaces (for example, no heavy labour),
- increased work safety,
- robust, suitable tunnel installations with high availability,
- mental acceptance of industrialised processes by workers and supervisors,
- competency of operators and maintenance personnel, education.

In order to save construction time and costs, the level of mechanisation will continue to increase in the future. Additional work areas will move closer to the tunnel face, both with regard to time and location. Additional potential for performance increase with drill and blast headings in larger cross-sections could be found with simultaneous execution of working procedures in the heading area. Future logistics systems will include additional workplaces – including sealing and lining – or even rail, or end use technics.

eilenden Brustanker rationell und sicher entfernt werden. Mit der Hängekonstruktion für Bewetterung, Kühlung und Schienendemontage und der Streckenausbaumaschine stand den Tunnelbauern eine zweite Arbeitsfläche und ein abstützungsfreier Arbeits-, Manövrier- und Parkraum auf der Sohle zur Verfügung. Mit dem 20-t-Schwerlastkran wurde die Versorgung der Ortsbrust und der Arbeitsstellen effizient bewerkstelligt. Die Infrastruktur- und Versorgungszüge sorgten dafür, dass Infrastruktur und Material zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort waren. Streckenausbaumaschine, Schwerlastkran und Hängebühne verfuhrten im gleichen Hängeschienenstrang.

Dank des gewählten Anlagenkonzeptes konnte die Aufgabe erfolgreich gemeistert sowie die durchschnittliche Vortriebsleistung auf 1.34 m/Tag erhöht werden [8]. Der Durchschlag erfolgte 9 Monate vor dem vertraglichen Termin. Auch die Gesamtbaukosten fielen leicht niedriger als budgetiert aus [7].

5 Schlusswort

Wie anhand mehrerer Projekte beispielhaft dargestellt, steigert eine optimale Logistik im Nachläuferbereich die Produktivität und die Vortriebsleistungen und senkt die Gesamtkosten. Erfolgsfaktoren dabei sind

- kontinuierlicher Materialfluss für die Ver- und Entsorgung,
- Minimierung der Abhängigkeiten,
- Entflechtung von Arbeitsgängen durch verschiedene Ebenen,
- möglichst weitreichende Mechanisierung,
- Humanisierung der Arbeitsplätze (z.B. keine Schwerarbeit),
- höhere Arbeitssicherheit,
- robuste, tunneltaugliche Anlagen mit hoher Verfügbarkeit,
- mentale Akzeptanz der industrialisierten Prozesse durch Mitarbeiter und Führungskräfte sowie
- Beherrschbarkeit durch das Bedienungs- und Unterhaltspersonal, Ausbildung.

Um Bauzeit und Baukosten einzusparen, wird der Mechanisierungsgrad in Zukunft weiter steigen. Die nachgeschalteten Arbeitsstellen werden örtlich und zeitlich näher zur Tunnelbrust verschoben. Weiteres Potenzial zur Leistungssteigerung bei Sprengvortrieben in grösseren Querschnitten liegt bei der parallelen Ausführung von Arbeitsvorgängen in der Vortriebszone. Das Logistiksystem wird in Zukunft weitere Arbeitsstellen – inklusive Abdichtung und Innenausbau – oder sogar Bahn- respektive Endnutzungstechnik einbeziehen.



11 Streckenausbaumaschine mit Arbeitskörben, Versetzarml und Spritzbetonmanipulator (Gotthard-Basistunnel – Los Sedrun) Machine for rock support with working baskets, setting arm and shotcrete manipulator (Gotthard Base Tunnel – Sedrun section)

Literatur/References

- [1] Girmscheid, G.: Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb. Bauingenieur 77 (Juni 2002), S. 266–276
- [2] Girmscheid, G.: Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – TBM-Logistiksysteme. Bauingenieur 77 (Mai 2002), S. 222–227
- [3] Girmscheid, G.: Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – TBM-Systeme. Bauingenieur 77 (April 2002), S. 173–183
- [4] Maidl, B.: Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus. Essen: Verlag Glückauf GmbH (1984)
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN 815 – Sicherheit von Tunnelbohrmaschinen ohne Schild und gestängelosen Schachtbohrmaschinen zum Einsatz in Fels – Sicherheitsanforderungen; Deutsche Fassung EN 815:1996+A2:2008. Berlin: Beuth Verlag GmbH (2008)
- [6] Jenni, H.; Mayer, C. M.: Kraftwerk-Projekt Linthal 2015. Tunnel 8 (August 2010), S. 37–42
- [7] Ehrbar, H.: Gotthard Base Tunnel, Switzerland. Experiences with different tunnelling methods. 2 Congresso Brasileiro de Tunéis e Estruturas Subterrâneas. Seminário Internacional „South American Tunnelling“ 2008
- [8] AlpTransit Gotthard AG (Hrsg.): Das Jahrhundertbauwerk entsteht. Gotthard-Basistunnel – der längste Tunnel der Welt. 1. Auflage. Bern: Stämpfli Verlag AG (2010)

Peter Rufer, Dipl. Masch. Ing. HTL, Marti Technik AG, Moosseedorf/CH

Materialtransport mit Förderbändern

Welche Grenzen gibt es?

Förderbänder ermöglichen bei längeren Transportwegen die wirtschaftliche und emissionsarme Förderung von Schüttgütern. Auf Baustellen sind sie meistens ein temporäres Hilfsmittel. Hinsichtlich Linienführung müssen sich die Förderbänder den Gegebenheiten und Bedürfnissen der Baustelle anpassen. Vieles ist möglich. Es gibt jedoch auch Grenzen. Förderanlagen sollten deshalb rechtzeitig im Baustellenkonzept berücksichtigt werden.

Belt Conveyors

What are the limits?

Belt conveyors permit the cost-efficient, low-emission conveyance of bulk materials across long distances. On construction sites, they serve mostly as a temporary aid. Belt conveyors are generally obliged to adapt to site circumstances and needs. Much is possible, but there are limits. Conveyor systems should therefore be planned into the site concept at the right stage.

1 Einleitung

Förderbänder gehören zur Familie der Stetigförderer und werden auch Bandförderer, Gurtbandförderer oder Gurtförderer genannt. Sie sind zuverlässige Transportsysteme, welche eine hohe Betriebssicherheit aufweisen und sich auf vielen Einsatzgebieten bewährt haben. Förderbänder werden deshalb seit Jahrzehnten auch im Untertagebau und in der Industrie für den Transport von Schüttgütern eingesetzt.

2 Wann ist der Einsatz von Förderanlagen sinnvoll?

Im Vergleich zu anderen Transportsystemen zeichnen sich Förderbänder durch einen geringen Energie- und Personalbedarf und eine hohe Verfügbarkeit aus. Die Bandantriebe arbeiten emissionsfrei, was insbesondere im Untertagebereich ein grosser Vorteil ist. Dadurch können die Lüftungssysteme kleiner dimensioniert werden. Ebenfalls ein Vorteil sind die hohen Förderleistungen bei relativ geringem Platzbedarf. Üblich sind im Untertagebau Förderleistungen bis zu 2500 t/h. Möglich wäre jedoch auch wesentlich mehr.

Ein Nachteil ist die eingeschränkte Förderfähigkeit von stark klebrigem oder verflüssigtem Material. Ebenfalls sind die Investitionskosten eher hoch.

Bei grösseren Transportmengen sind Förderanlagen trotz der hohen Investitionskosten oft die wirtschaftlichste Trans-

1 Introduction

Belt conveyors are part of the family of continuous conveyors, and are also referred to as "belt conveyors". They are dependable handling and conveying systems with high levels of operational safety and reliability, and have proven their capabilities in innumerable applications. For this reason, belt conveyors have also been in use for many decades in underground engineering, and in industry in general, for conveyance of bulk materials.

2 When are conveyor systems rational?

Belt conveyors are notable for low energy and manning needs and high availability compared to other transport and handling systems. Belt drives operate with no emissions, a factor of particularly great benefit in underground work, permitting the installation of smaller ventilation systems. High conveying rates, for a relatively small footprint, are another advantage. Rates of up to 2500 t/h are customary in underground applications, although significantly more would be possible.

One drawback is a restricted capability for conveyance of very sticky and liquefied material. Investment costs, too, are also on the high side.

Conveyor systems, despite their high initial costs, are nonetheless often the most cost-efficient handling solution for large volumes. They are therefore particularly suitable for

Transport de matériel par convoyeurs à bande

Quelles sont les limites ?

Sur les trajets assez longs, les convoyeurs à bande permettent un transport rentable et faible en émissions de produits en vrac. Sur les chantiers, ils sont généralement des instruments de travail temporaires. Pour ce qui concerne le tracé, les convoyeurs à bande doivent s'adapter aux conditions in situ et aux besoins du chantier. De nombreuses solutions sont possibles, mais il y a cependant des limites. C'est la raison pour laquelle il convient de tenir compte à temps des installations de manutention dans le concept du chantier.

Nastri trasportatori per materiali sfusi

Quali sono i limiti?

Quando i percorsi sono lunghi, i nastri trasportatori permettono di spostare i materiali sfusi in modo economico, riducendo le emissioni. Nei cantieri solitamente sono uno strumento ausiliario temporaneo. Per quanto riguarda la disposizione, i nastri trasportatori devono adattarsi alle condizioni ed alle esigenze del cantiere. Sono molte le soluzioni possibili. Ma ci sono anche dei limiti. Per questo motivo, gli impianti di trasporto su nastro devono essere inseriti nelle prime fasi della progettazione del cantiere.

portlösung. Sie eignen sich deshalb vor allem bei einer kontinuierlichen Förderung von Schüttgütern über eine längere Distanz oder wenn grosse Förderleistungen gefordert sind. Achsabstände von 2 bis 10 km und mehrere 100 m Höhendifferenz sind keine Seltenheit mehr. Aber auch bei kürzeren Transportdistanzen kommen oft Förderbänder zum Einsatz. Zum Beispiel wenn grosse Höhendifferenzen oder einzelne Hindernisse überwunden werden müssen. Seien

continuous conveyance of bulk materials across long distances, and where high conveying rates are needed. Distances of 2 to 10 km and height differences of several 100 m are no longer a rarity. Belt conveyors are also frequently used for shorter haulage distances, however, where great height differences and/or isolated obstructions need to be overcome, for example. These may take the form of chasms, rivers, roads and/or railway lines, as shown in Figure 1.



1 Deponieband Caviencia (CH)
The Caviencia landfill belt (CH)

dies Schluchten, Flüsse, Strassen oder Eisenbahnlinien wie auf Bild 1 ersichtlich.

3 Konstruktionsarten

Selbst bei grossen Förderleistungen weisen Förderbandanlagen aufgrund der kontinuierlichen Förderung eine relativ geringe Streckenlast auf. Dies ermöglicht eine weitgehende Anpassung der Streckenführung an die örtlichen Gegebenheiten. Die Bänder können entsprechend aufgehängt oder abgestützt werden, oder sie werden sogar schwimmend ausgeführt.

Die Vielfalt der Förderbänder ist dementsprechend gross. Konstruktiv unterscheidet man im Anwendungsgebiet Tunnelbau grundsätzlich zwischen folgenden Arten:

- Stationäre Anlagen mit fixem Achsabstand. Dazu gehören Streckenbänder im Übertage- und Untertagebereich. Dabei sind Achsabstände bis zu mehreren Kilometern möglich.
- Verlängerbare Förderbänder, welche bei mechanisierten wie auch bei konventionellen Vortrieben eingesetzt werden. Dazu gehören Tunnelbänder mit Bandspeicher, welche kontinuierlich mit dem TBM-Vortrieb verlängert werden können (Bild 2). Eine Verlängerung kann auch schrittweise erfolgen, wenn zum Beispiel bei einem Sprengvortrieb die Umlenkstation und der Brecher etappenweise nachgezogen werden.
- Bewegliche Förderbänder wie Schwenkabsetzer und Verschiebebänder, welche vorwiegend in Deponien und bei Verladeanlagen zum Einsatz kommen.

Je nach Anforderungen werden unterschiedliche Gurttypen eingesetzt. Bei Baustellenanlagen sind für die Gurtauswahl vor allem die folgenden Kriterien massgebend: maximale




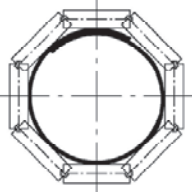
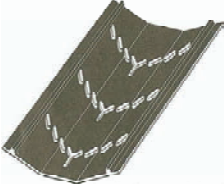
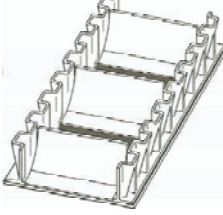
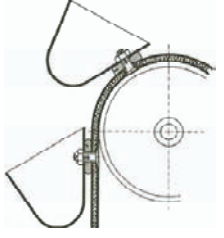
2 Tunnelbandanlage Hallandsås (S) mit Bandspeicher
The Hallandsås (S) tunnel-belt installation, showing belt take-up and storage unit

3 Belt conveyor types

Thanks to their continuous mode of conveyance, belt-conveyor systems have a relatively distributed load, even at high rates of conveyance. This permits extensive adaptation of routing to local circumstances. Belts can be correspondingly suspended, elevated, or even positioned on floating pontoons.

Belt-conveyor diversity is correspondingly great. Tunnel-engineering applications differentiate in principle between 3 design types:

- Stationary systems with a fixed distance: these include horizontal conveyors for both surface and underground use. Distances of up to several kilometres are possible.

					
	Flachgurt	Rohrgurtförderer	Schrägnockenband	Wellenkantengurt	Becherwerk
Steigung ¹⁾	0° - 16°	0° - 25°	16° - 35°	20° - 90°	87° - 90°
Kurven-gängigkeit	mittel	sehr gut	mittel	—	—

¹⁾ Werte sind als Richtwerte zu verstehen. Effektive Werte sind abhängig vom Schüttgut.

3 Gurttypen Belt types

Steigung, horizontale Kurvenradien, maximale Korngrösse, Konsistenz und Art des Fördergutes. Eine Entscheidungshilfe für den Praktiker bietet Bild 3.

Solange bei einem Förderband die maximale Steigung nicht grösser als 16° (ca. 28 %) ist, werden im Tunnelbau vorwiegend Gurte ohne Oberflächenprofilierung verwendet. Gurte mit Oberflächenprofilierung werden bei der Schutterung von Ausbruchmaterial selten eingesetzt, da die Gurtreinigung mittels Abstreifer nicht möglich ist. Ein Anwendungsbeispiel für solche Gurte ist gewaschener Kies. Für die vertikale Förderung von Ausbruchmaterial werden Wellenkantengurte oder Doppeltgurtförderer eingesetzt.

4 Anlagenlayouts

Die Herausforderung bei den Anlagenlayouts liegt darin, dass eine möglichst einfache Bandanordnung gefunden wird, welche den Bedürfnissen der Baustelle entspricht. Diese sind von Baustelle zu Baustelle jedoch sehr unterschiedlich.

Bei gewissen Baustellen besteht die Anforderung, das Material mittels Förderbändern direkt von der Tunnelbrust zu mehreren Enddeponien zu transportieren. Die Feinverteilung des Materials in den Deponien soll ebenfalls mit Bändern erfolgen. Wenn aus Redundanzgründen zusätzlich mehrere Förderbandlinien gefordert werden, bedingt dies oft ein aufwendiges Netzwerk von Bändern und Materialweichen. Solche Anlagen beanspruchen dementsprechend Platz. Oft wird dieser Platzbedarf für Materialübergaben und -weichen insbesondere im Untertagebereich von den Baufachleuten und Planern unterschätzt.

Im Gegensatz dazu gibt es Anlagen, welche relativ einfach aufgebaut sind. Die Förderbänder werden für den untertägigen Streckentransport von Schüttgütern verwendet und sind mit einem Deponieband im Aussenbereich ergänzt. Die Feinverteilung des Materials auf der Deponie erfolgt mittels Baumaschinen.

Welches das richtige Förderbandkonzept ist, hängt jeweils auch von den Gesamtfördermengen, den örtlichen Gegebenheiten und den Umweltschutzauflagen ab. Schlussendlich ist es aber auch eine Wirtschaftlichkeitsfrage, wie umfangreich der Automatisierungsgrad und somit der Ausbaustandard einer Anlage sein soll.

Bei Tunnelbaustellen mit komplexen und umfangreichen Aussenbandanlagen empfiehlt es sich jedoch, möglichst mit einem Zwischendepot zu arbeiten, damit die Verfügbarkeit der Aussenanlage nicht den Vortrieb beeinträchtigt.

5 Dimensionierung von Bandanlagen

Für die Dimensionierung der Anlagen sind einerseits die Parameter Förderleistung, Förderdistanz und Förderhöhe

- Extensible belt conveyors, used in both mechanised and conventional tunnelling. These include tunnel belts featuring a belt storage unit; these belts can be continuously lengthened as the TBM advances (Figure 2). Extension can also be intermittent, as when the tail unit and crusher are brought forward pull-by-pull in the case of drilling-and-blasting (D&B) tunnelling.
- Mobile belt conveyors, such as rotary stackers and reversible conveyors, which are used primarily at storage sites and loading/unloading terminals.

Various types of belt are used, depending on the specific requirements. The following criteria are definitive in the selection of belts for construction-site conveyors: maximum gradient, horizontal radii to be negotiated, maximum material grading, and the consistency and nature of the conveyed material. Figure 3 provides an aid to decision-making for practitioners.

Belts with no surface profile are used in tunnel construction, provided the maximum gradient for the belt conveyor is not greater than 16° (approximately 28 %). Belts with surface profiles are rarely used for removal of excavated material, since scraper-based belt cleaning would then not be possible. One application for such belts is washed gravel. Corrugated side-wall belts, or twin-belt conveyors, are used for vertical conveyance of excavated material.

4 System layouts

The challenge in designing a conveyor system is that of achieving the simplest possible belt configuration capable of meeting the site's needs. These needs differ greatly from site to site, however.

The requirement on some sites is that of conveying the material on belt conveyors directly from the tunnel face to a number of storages. Fine distribution of the material at these repositories using belts is also a requirement. The need, in addition, for multiple belt-conveyor lines, for reasons of redundancy, often results in a complicated network of belts and material switches. Such systems naturally take up the corresponding space – a factor which is frequently underestimated by engineers and planners on underground projects.

There are also, by contrast, systems of relatively simple structure. These belt conveyors are used for horizontal underground haulage of bulk materials, and are followed by a stacker on the surface. Fine distribution of the material at the storage site is performed by earthmoving machines.

The correct belt-conveyor concept also depends in each individual case on total conveyed volumes, local circumstances and local environmental regulations. Ultimately, however, it is also a question of cost-effectiveness as to how extensive the degree of automation, and thus the technological complexity, of a system should be.

wesentlich. Diese Parameter sind durch den Kunden meistens vorgegeben. Andererseits sind die Fördergeschwindigkeit und das Antriebskonzept massgebend, welche durch den Anlagenbauer optimiert werden sollten.

Bei der Förderleistung ist zu beachten, dass man definiert, von welcher Förderleistung man spricht. Für die Festlegung der erforderlichen Gurtbreite und der Fördergeschwindigkeit ist immer die maximale Förderleistung massgebend. Bei einem TBM-Vortrieb hängt diese vom maximalen Vorschub der TBM ab und nicht von der durchschnittlichen Tagesvortriebsleistung.

Berücksichtigt man einige Grundregeln, ist die Dimensionierung von kurzen Bändern relativ einfach. Bei längeren und kurvenreichen Bandanlagen ist die optimale Dimensionierung anspruchsvoller, da relativ grosse Kräfte entstehen.

Ein horizontales Band mit einem Achsabstand von 10 km und einer Förderleistung von 1200 t/h hat zum Beispiel eine Beladung von rund 115 kg/m. Dies erscheint auf den ersten Blick wenig. Summiert man diese Beladung über die Gesamtstrecke auf, resultiert eine Gesamtbeladung von rund 1150 t. Je nach Antriebsanordnung ergeben sich bei einem solchen

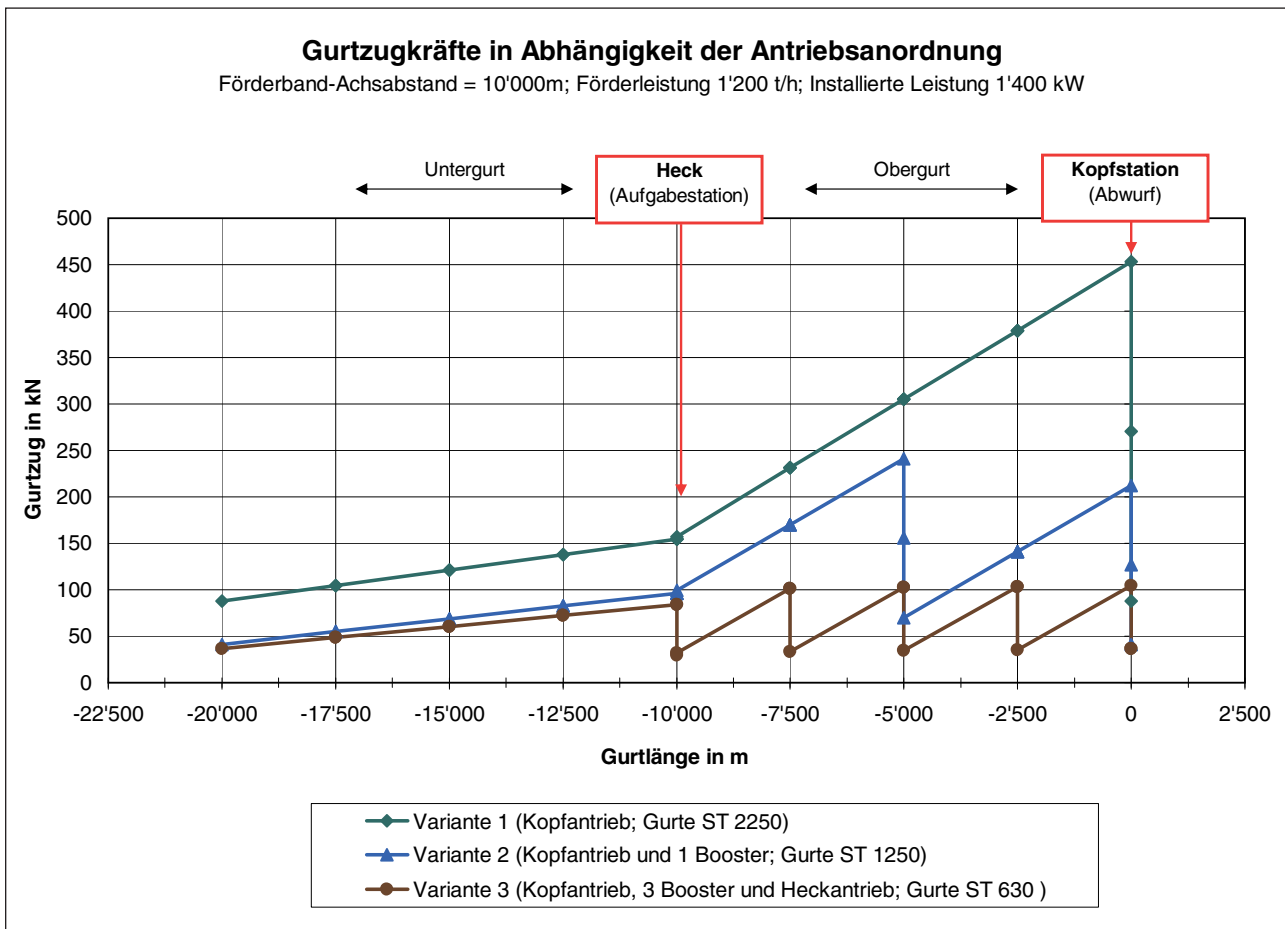
In the case of tunnel sites featuring complicated and extensive surface belt installations, it is recommendable to use an "intermediate depot", however, in order that tunnelling work is not held up by the availability of the surface system.

5 Dimensioning of belt systems

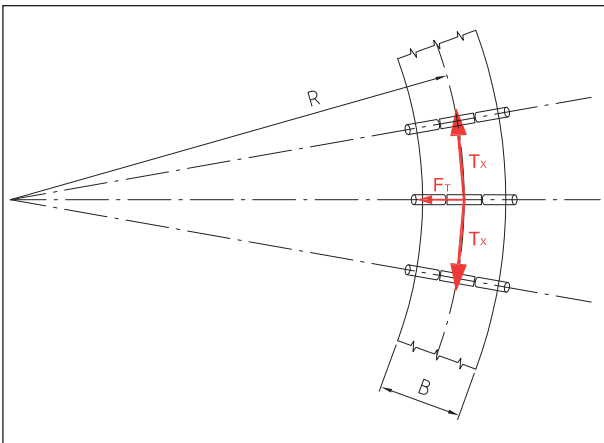
The parameters of conveying rate, conveying distance and conveying elevation are of essential importance, on the one hand, for the dimensioning of conveyor installations. These parameters are generally stated by the customer. Conveying speed and the drive concept, on the other hand, are also important influencing factors which should be optimised by the system engineer.

In the case of "conveying rate", it is important to state which conveying rate is meant. Maximum conveying rate is critical in deciding the necessary belt width and conveying speed. In TBM tunnelling, this depends on maximum TBM advance, and not on average daily rate of advance.

The dimensioning of short belts is relatively simple, provided a number of basic rules are taken into account. Optimum dimensioning in the case of longer and more meandering belt



4 Gurtzugkräfte in Abhängigkeit der Antriebsanordnung
Tensile forces as a function of drive arrangement



5 *Querkräft in Kurven*
Lateral forces in curves

Band maximale Gurtzugkräfte von 100 bis 450 kN. Die erforderliche Antriebsleistung bewegt sich in der Größenordnung von 1400 kW. Die Beladung von 1150 t entspricht dem Ladegewicht eines Güterzuges mit 20 Wagen (Typ Fans-U), welcher eine Länge von rund 250 m hat.

Bei solchen Beladungen muss das Anfahren und Bremsen der Bandanlage seriös untersucht werden. Das Stillsetzen der Bandanlage ist nicht mehr in einigen Sekunden möglich. Die Bandanlagen haben mit ca. 3m/s (entspricht 11 km/h) zwar eine wesentlich geringere Nenngeschwindigkeit als ein Güterzug, trotzdem würde das Abbremsen der Anlage innerhalb von wenigen Sekunden zu mindestens 4-fachen Gurtzugkräften auf der Anlage führen, was unweigerlich Schäden an den Bandkomponenten zur Folge hätte. Die minimalen Bremszeiten müssen bei langen Bandanlagen deshalb anlagenspezifisch definiert werden und betragen bei der geschilderten Anlage ca. 20 Sekunden.

Wie eingangs erwähnt, wird die Dimensionierung der Anlage wesentlich durch das gewählte Antriebskonzept des Förderbandherstellers beeinflusst. Bei kürzeren Bandanlagen werden die Antriebseinheiten meistens beim Förderbandabwurf angeordnet. Bei längeren Bändern werden je nach Bedarf zusätzlich Heckantriebe oder Zwischenantriebe (Booster) eingebaut, um die Gurtzugkräfte zu reduzieren.

Bild 4 zeigt sehr schön, dass die maximalen Gurtzugkräfte durch die Antriebsanordnung beeinflusst werden. Je mehr Booster eingesetzt werden, umso geringer sind die maximalen Gurtzugkräfte. Werden die Booster richtig positioniert, können die Gurtzugkräfte vor einer Kurve so stark reduziert werden, dass kleinere Kurvenradien möglich sind.

Geringere Gurtzugkräfte ermöglichen auch den Einsatz von schwächeren Gurten, was sich positiv auf die Anlagenkosten auswirkt. Bis zu einer gewissen Anzahl Booster ergeben sich deshalb auch geringere Anschaffungskosten für den Betreiber. Booster haben jedoch auch gewichtige Nachteile. Es

installations is more demanding, since relatively high forces then occur.

A horizontal belt with a distance of 10 km and a conveying rate of 1200 t/h has, for example, a load of some 115 kg/m. This, at first glance, appears relatively little. The total, for the line as a whole, adds up to some 1150 t. Maximum tensile forces ("effective pulls") of 100 to 450 kN result for such a belt, depending on the drive arrangement. The necessary drive rating will be of an order of magnitude of 1400 kW. These 1150 t equate to the load carried by a freight train of 20 wagons (Fans-U type), with a length of around 250 m.

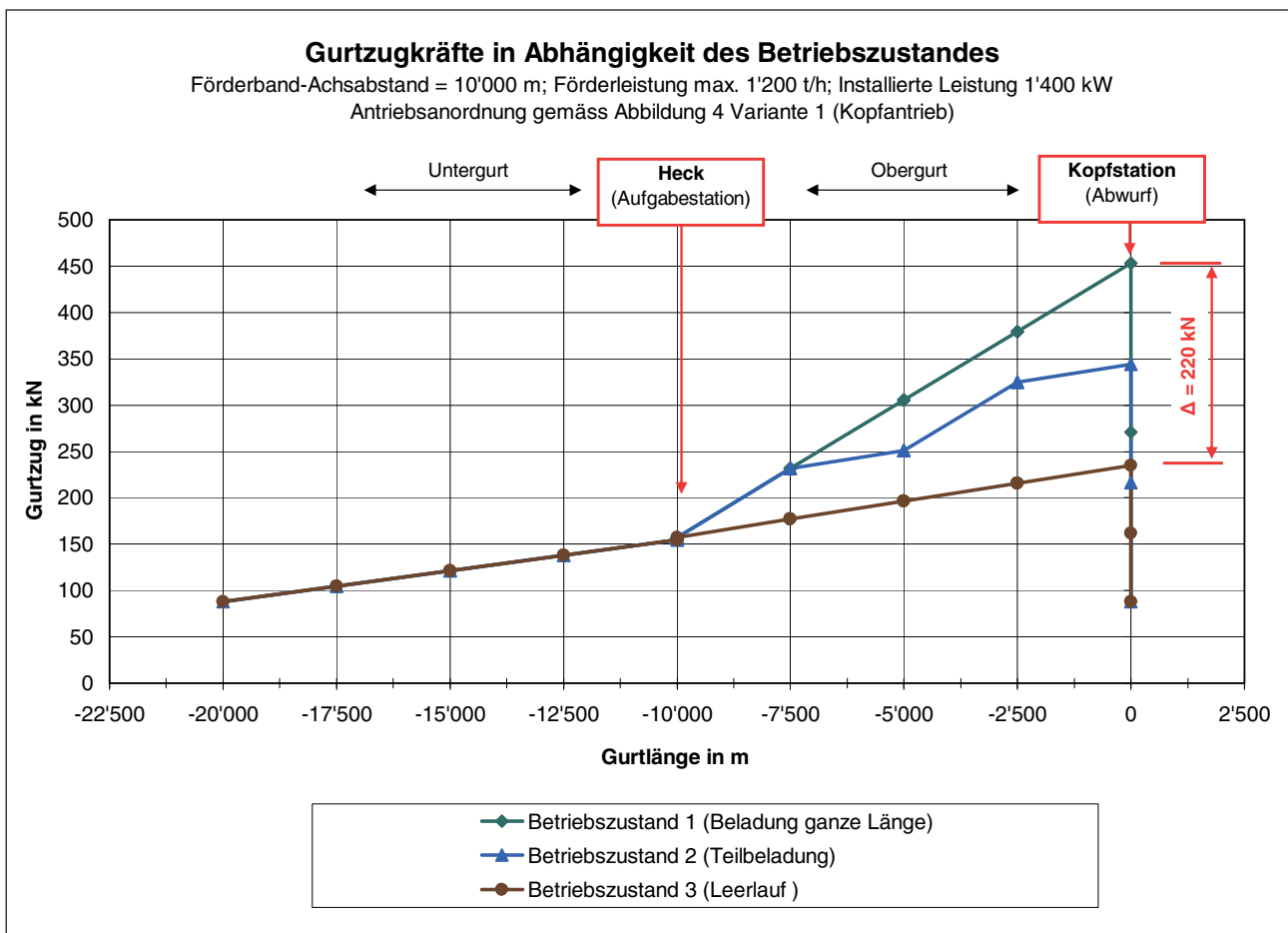
At such loadings, serious attention must be devoted to the acceleration and retardation of the belt system. It is no longer possible to stop this belt in just a few seconds; at approximately 3 m/s (equivalent to 11 km/h), these belt systems have a significantly lower nominal speed than a freight train, but braking to a standstill within a few seconds would exert at least a four-fold tensile force on the system, with inevitable damage to the conveyor components as the result. Minimum stopping times must therefore be defined on a system-specific basis for longer belt-conveyor installations, and would, in the case of the system mentioned in this example, amount to around 20 seconds.

As initially mentioned, dimensioning of the installation is significantly influenced by the drive concept selected by the belt-conveyor manufacturer. In shorter belt installations, the drive units are usually located at the belt discharge end. On longer belts, additional tail or intermediate drives (boosters) are installed where necessary, in order to reduce tensile forces.

Figure 4 shows extremely well that the maximum tensile forces are influenced by the drive arrangement. The more boosters are installed, the lower are the maximum tensile forces. Given correct positioning of the boosters, the tensile forces upstream a bend can be reduced sufficiently to permit tighter radii.

Reduced tensile forces also permit the use of belts of lower tensile ratings, with beneficial effects on system costs. Up to a certain number of boosters, lower procurement costs thus also result for the operator. Boosters also have significant disadvantages, however. Each requires its own electrical supply. An additional transformer for each booster may be necessary, depending on electrical rating and supply-line length. Every booster results in a belt transfer point, with higher servicing and maintenance costs as the consequence; these transfer points also cause additional dust and noise emissions. And, in the case of extensible tunnel belts, it also has to be borne in mind that every booster to be installed causes an interruption to tunnelling, and may thus have a delaying effect on the completion schedule.

It is therefore important that the operator consider the pros and cons of the various drive concepts before ordering a belt



6 Gurtzugkräfte in Abhängigkeit des Betriebszustandes
 Tensile forces as a function of operating state

muss zu jedem eine elektrische Zuleitung gebaut werden. Je nach elektrischer Leistung und Leitungslänge ist pro Booster ein zusätzlicher Trafo erforderlich. Bei jedem Booster entsteht eine Materialübergabe, was einen grösseren Unterhalts- und Wartungsaufwand zur Folge hat. Die Materialübergaben führen auch zu zusätzlichen Staub- und Lärmemissionen. Bei verlängerbaren Tunnelbändern muss man auch berücksichtigen, dass jeder Boostereinbau einen Betriebsunterbruch bedingt und somit das Bauprogramm negativ beeinflussen kann.

Es ist deshalb wichtig, dass der Betreiber vor der Anschaffung einer Bandanlage die Vor- und Nachteile der verschiedenen Antriebskonzepte abwägt, damit am Schluss die optimale Anlage installiert wird. Denn wenn man eine Gesamtbilanz aller Kosten macht, ist nicht immer die kostengünstigste Bandanlage die wirtschaftlichste Lösung für die Baustelle, da auch die Zusatz- und Folgekosten berücksichtigt werden müssen.

6 Kurvengängigkeit von Bandanlagen

Um einen Zugträger wie die Gurte durch eine Kurve zu führen, erfordert es Querkräfte, die den Gurt auf Kurs halten. Die

installation, in order to ensure that the most suitable system is selected. When the overall balance of all costs involved is drawn, the lowest-cost belt system is not always the most cost-efficient solution for the site, since extra and consequential costs must also be taken into account.

6 The curve capabilities of belt systems

Lateral forces which keep the belt "on course" are required to route a body in tension, such as a conveyor belt, through a curve. As is apparent from Figure 5, the lateral force needed is a function of belt tension and belt deflection, i.e. curve radius.

If no additional provisions are installed for operation, the belt will be driven at the idler unit toward the centre point of the curve until equilibrium is established between the lateral force and gravity. The minimum negotiable curve radius is therefore a function of local belt tension in the radius and the belt's dead weight.

As is shown in Figure 4, the tensile forces in a belt system do not remain constant across distance. They are, instead, a function of belt length and gradient. Tensile forces also vary significantly in the various operating states. This is true, in



7 Auslenkung der Gurte in einer Kurve bei verschiedenen Betriebszuständen
Deflection of belts in a curve in various operating states

erforderliche Querkraft ergibt sich aus der Gurtzugkraft und der Gurtablenkung, sprich dem Kurvenradius, wie man auf Bild 5 sieht.

Werden im Betrieb keine Zusatzmassnahmen installiert, treibt es den Gurt in der Tragstation so lange gegen den Kurvenmittelpunkt, bis das Gleichgewicht zwischen Querkraft und der Schwerkraft hergestellt ist. Der minimale Kurvenradius ist dementsprechend von der örtlichen Gurtzugkraft im Radius und dem Eigengewicht des Gurtes abhängig.

Wie aus Bild 4 ersichtlich, sind die Gurtzugkräfte bei einer Bandanlage auf der Strecke nicht konstant. Sie hängen von der Bandlänge und der Steigung ab. Zusätzlich variieren die Gurtzugkräfte bei den verschiedenen Betriebszuständen erheblich, insbesondere bei Bandanlagen mit schwankenden Beladungszuständen und kontinuierlicher Verlängerung des Achsabstandes. In Bild 6 sieht man anhand der bereits erwähnten Musteranlage mit einem Achsabstand von 10'000 m (Antriebsanordnung Variante 1) die unterschiedlichen Gurtzugkräfte pro Betriebszustand. Im Leerlauf (Betriebszustand 3) ergibt sich eine maximale Gurtzugkraft von 230 kN. Ist die Anlage voll beladen (Betriebszustand 1), steigt die maximale Gurtzugkraft auf 450 kN an. Die Gurtzugkraft im Bereich der Kopfstation variiert demzufolge um 220 kN.

Wäre unmittelbar vor der Antriebsstation eine Kurve mit einem Radius von 1000 m, würde der Gurt je nach Betriebszustand bis zu 25° auslenken. Kritisch ist nicht der beladene Fall, sondern der Übergang zwischen leerem und beladenem Gurt, wie in Bild 7 erkennbar ist. Ersichtlich ist auch, dass sich bei solchen Auslenkungen der maximale Füllungsgrad des Bandes erheblich reduziert. Die Gurtbrei-

particular, of belt installations which are subject to fluctuating loadings and to continuous lengthening of their distance. The various tensile forces for each operating state are shown in Figure 6 on the basis of the specimen system mentioned above, with a distance of 10,000 m (Drive Arrangement Variant 1). A maximum belt tension of 230 kN acts in idling state (Operating State 3). This force rises to 450 kN when the system is fully loaded (Operating State 1). The belt tension at the head unit correspondingly fluctuates around 220 kN.

The belt would deflect by up to 25°, depending on operating state, if a curve of 1000 m radius were located immediately upstream the drive unit. As is apparent in Figure 7, it is not the load case, but instead the transition between an empty and loaded belt that is critical. It is also apparent that the maximum filling level of the belt drops significantly when such deflections occur. Belt widths on curved systems thus tend to be greater than on straight belts.

It is therefore always necessary in the dimensioning of curved belt installations to find compromises which will assure safe and reliable operation in all operating states and thus at all possible tensile forces.

Belt guidance can be improved by means of additional provisions in the case of critical, i.e. tight, curve radii. These provisions may take the form of larger belt troughs, inclination of the rollers, additional idler rollers, special curve units (shuttle stations), an inclined chassis, etc. Each of these has corresponding advantages and disadvantages.

Two years ago, Marti Technik AG started for this reason a research project in order, on the one hand, to validate the

ten sind bei Kurvenbändern deshalb tendenziell breiter als bei geraden Bändern.

Bei der Dimensionierung von Kurvenbandanlagen müssen deshalb immer Kompromisseinstellungen gefunden werden, die bei allen Betriebszuständen und somit bei allen möglichen Gurtzugkräften einen sicheren Betrieb gewährleisten.

Bei kritischen, sprich kleinen Kurvenradien kann die Gurtführung mittels Zusatzmassnahmen verbessert werden. Sei es durch grössere Muldungen, Sturzstellung der Rollen, zusätzliche Tragrollen, spezielle Kurvenstationen (Pendelstationen), geneigte Chassis etc. Jede Massnahme hat entsprechende Vor- und Nachteile.

Die Marti Technik AG hat deshalb vor 2 Jahren ein Forschungsprojekt gestartet, um einerseits die theoretischen Kalkulationsergebnisse in der Praxis zu überprüfen und andererseits die Wirksamkeit der erwähnten Zusatzmassnahmen zu testen. Zu diesem Zweck wurde eine Testanlage mit Kurvenbändern aufgebaut. Die Tests wurden unterdessen beendet und ausgewertet. Es hat sich bestätigt, dass mit Zusatzmassnahmen, wie zum Beispiel mit speziellen Kurvenstationen, eine bessere Kurvenführung möglich ist. Es bedingt jedoch eine korrekte Einstellung der jeweiligen Produkte, was eine gewisse Erfahrung des Montage- und Wartungspersonals erfordert. Bei grösseren Veränderungen der Betriebszustände – z. B. einer Verlängerung der Bandanlage oder bei witterungsbedingten Einflüssen wie Feuchtigkeit, Schnee, Kälte, Wärme etc. – ist jedoch eine nachträgliche Korrektur der Einstellungen erforderlich. Dies bedeutet für den Betreiber einen erhöhten Wartungsaufwand. Wird dies unterlassen, kann es in Extremfällen zu Material- oder Personenschäden kommen, wenn zum Beispiel Material vom Band fällt. Soweit muss es jedoch nicht kommen. Wenn die Anlage korrekt dimensioniert wurde und ordnungsgemäss betrieben wird, sind auch Kurvenbänder zuverlässige Transportmittel.

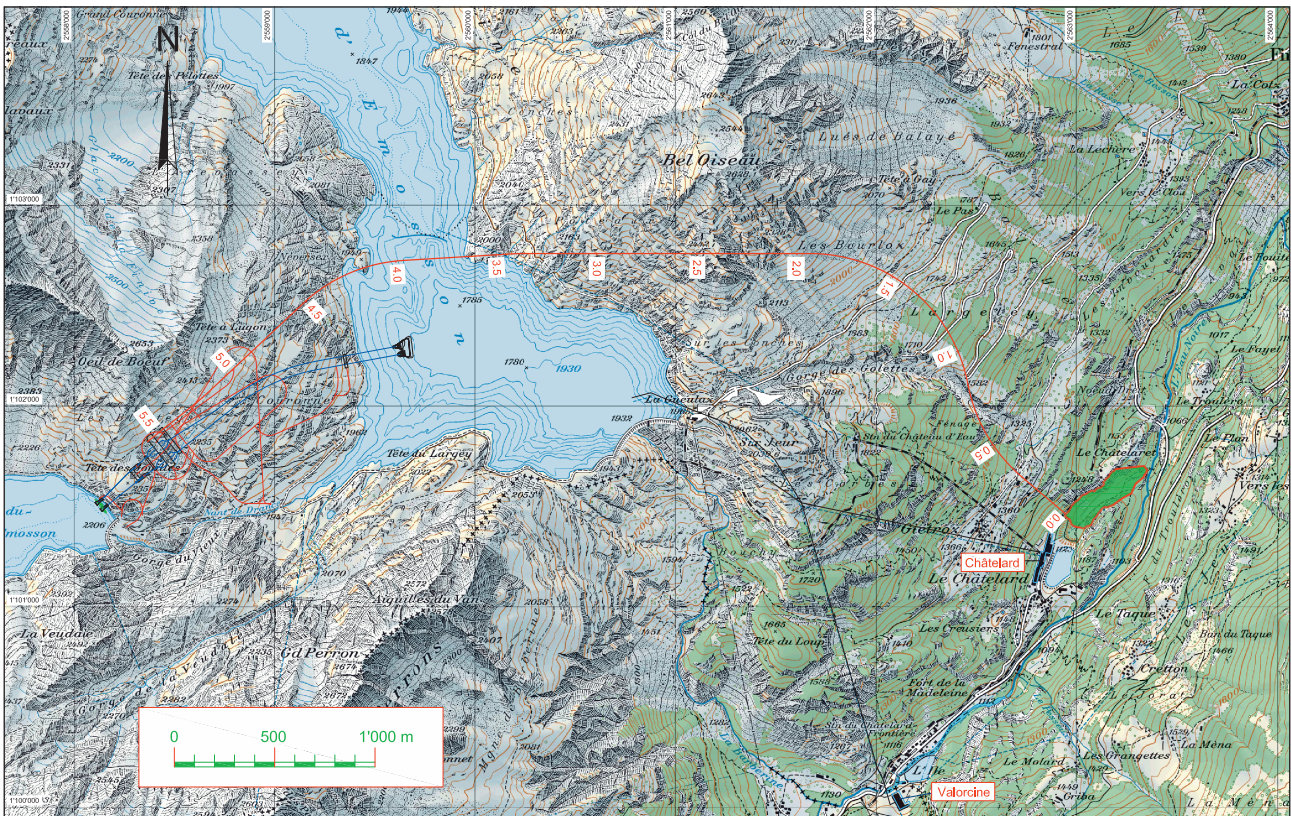
Was ist die Schlussfolgerung aus der ganzen Kurvendiskussion? Man kann keinen generell gültigen Minimalradius für Förderbänder festlegen. Der minimale Radius hängt von den jeweiligen Gurtzugkräften ab. Grundsätzlich gilt, je grösser die örtlichen Gurtzugkräfte, desto grösser sind die minimalen Kurvenradien. Deshalb bedingt es eine Untersuchung der jeweiligen Linienführung und der möglichen Betriebszustände. Da äussere Einflüsse wie Feuchtigkeit, Kälte etc. schwer in mathematischen Formeln berücksichtigt werden können, sind Aussagen zu möglichen Kurvenradien auch mit den Erfahrungen des Anlagenbauers verbunden. Wird die Dimensionierung von Kurvenanlagen seriös gemacht, können auch anspruchsvolle Anlagen gebaut werden, wie dies die zwei folgenden Beispiele zeigen.



8 Schwenkabsetzer Nant de Drance (CH)
Rotary stacker at Nant de Drance (CH)

theoretical calculations in practice and, on the other hand, to evaluate the effectiveness of the additional provisions mentioned above. A test installation featuring curved belts was set up for this purpose. The tests have now been completed and evaluated. They confirmed that additional provisions, such as special curve units, permit improved negotiation of curves. Correct setting of the respective products is, however, of importance, necessitating a certain amount of experience on the part of the installation and servicing personnel. Retrospective correction of these settings is also necessary in case of significant changes in operating states, such as lengthening of the belt system, for example, and in case of environmental effects, such as moisture, snow, cold, heat, etc. For the operator, this signifies a higher level of maintenance input. Harm to property and/or persons can result – due to spillage of product from the belt, for example – if this maintenance is neglected. Such incidents need not occur, however – curved belts, too, are safe and reliable handling systems, provided they have been correctly dimensioned and are correctly operated.

What conclusion should we draw from the overall discussion of curved belts? It is not possible to specify any universally applicable minimum radius for belt conveyors – this depends on the tensile forces in the particular application. A general rule is that the larger local tensile forces are, the larger the minimum possible curve radii. Analysis of the particular routing and the possible operating states is therefore necessary. Since it is difficult to incorporate atmospheric factors such as moisture, temperature, etc. into mathematical formulae, statements on possible curve radii also require input of the system engineer's experience. Serious attention to the dimensioning of curved systems makes construction of even highly sophisticated installations possible, as is illustrated by the two examples below.



9 Linienführung Tunnelbandanlage Nant de Drance (CH)
Routing of the Nant de Drance tunnel belt system (CH)

7 Tunnelbandanlage Nant de Drance

Für das neue Pumpspeicherkraftwerk der Nant de Drance SA im Wallis (CH) werden ein Zugangsstollen und verschiedene Kavernen gebaut. Der 5.6 km lange Stollen hat einen Durchmesser von 9.40 m und wird mit einer TBM aufgeföhren. Die Maschinen- und Trafokavernen werden in einem zweiten Schritt konventionell ausgebrochen. Das Ausbruchmaterial des maschinellen und des konventionellen Vortriebes wird mit einer Tunnelbandanlage abtransportiert und im Portalbereich mittels Schwenkabsetzer (Bild 8) auf einer Zwischen-deponie verteilt.

Die Tunnelbandanlage Nant de Drance ist ein typisches Beispiel einer anspruchsvollen Kurvenbandanlage. Einerseits beinhaltet die Linienführung mehrere, zum Teil enge Radien (Bild 9). Der minimale Horizontalradius beträgt 800 m. Andererseits wird die Bandanlage in einer ersten Phase mit dem Vortrieb der TBM kontinuierlich verlängert, wodurch die maximalen Gurtzugkräfte laufend zunehmen.

Die Bandanlage wurde für eine Förderleistung von 1000 t/h dimensioniert und hat einen maximalen Achsabstand von 5540 m. Der Tunnel hat eine Steigung von durchschnittlich 10.5 %. Daraus ergibt sich für das Förderband eine fallende Förderung von 580 m. Die installierte Antriebsleistung beträgt 2170 kW. Wird die Anlage bei maximalem Achsabstand

7 The Nant de Drance tunnel belt system

An access adit and various caverns are currently under construction for the new Nant de Drance SA pumped storage hydroelectric power plant in Wallis (CH). The 5.6 km long adit has a diameter of 9.40 m and is being created using a TBM. The machine and transformer caverns are to be conventionally excavated in a second phase. The material excavated in mechanised and conventional tunnelling is removed on a tunnel belt system and distributed by means of rotary stackers (Figure 8) at an intermediate dump near the portal.

The Nant de Drance tunnel belt system is a typical example of a sophisticated curved-belt installation. The routing, on the one hand, includes several, in some cases tight, radii (Figure 9). Minimum horizontal radius is 800 m. And, on the other hand, during the initial phase involving TBM tunnelling, this belt installation is subject to continuous lengthening, and thus to continuous increases in maximum tensile forces.

This belt system was dimensioned for a conveying rate of 1000 t/h, and has a maximum pulley spacing of 5540 m. The average gradient in the tunnel is 10.5 %. Descending conveyance of 580 m thus results for this belt. Installed drive power is 2170 kW. The system requires a braking energy of approximately 1500 kW if operated at maximum distance and the planned rate of conveyance. The regenerative brak-

mit der vorgesehenen Förderleistung betrieben, muss die Anlage mit einer Leistung von ca. 1500 kW gebremst werden. Dank der eingebauten Netzurückspeisung kann die Bremsenergie ins Netz zurückgeführt werden. Damit die Bandanlage auch bei einem Stromausfall abgebremst werden kann, ist die Anlage zusätzlich mit mechanischen Bremsen ausgerüstet.

Damit die Kurvengängigkeit gewährleistet werden kann, sind ein Heckantrieb, 3 Booster sowie ein Kopfantrieb erforderlich. Zusätzlich wurden Gurtragstationen mit einer Muldung von 50° eingesetzt. Im Untergurt wurden zweiteilige Tragstationen mit einer Muldung von 30° eingesetzt. Dies auch, weil in einer 2. Phase auf dem Untergurt Kies vom Portalbereich zur Betonanlage in der Kaverne gefördert werden soll.

8 Bandanlage Jinping

Spektakulär ist die Linienführung der Aussenbandanlage Jinping. Im Südwesten der Provinz Sichuan in China entsteht ein neues Wasserkraftwerk mit einer Gesamtleistung von 4800 MW. Die Schutterung der 4 Druckstollen erfolgt über Förderbänder. Die Aussenbandanlage führt vom Portalbereich zur Enddeponie und hat eine Länge von 6000 m. Der Bauherr hat die Auflage gemacht, dass auf dieser Strecke keine Förderbandübergaben zugelassen sind. Die totale Förderleistung wurde auf 5600 t/h festgelegt. Zusätzlich muss die Rückförderung von Betonzuschlagstoffen mit einer Förderleistung von 600 t/h möglich sein. Die Herausforderung bei dieser Anlage war das unwegsame Gelände, verbunden mit der hohen Förderleistung und der Auflage, ohne Zwischenantriebe zu arbeiten (Bild 10).

Es wurden schlussendlich zwei übereinanderliegende Streckenbänder mit einer Förderleistung von je 2800 t/h gebaut, wodurch eine Redundanz gewährleistet werden kann. Die Kiesrückförderung erfolgt auf dem Untergurt des unteren Streckenbandes. Das obere Band hat eine Antriebsleistung von 1600 kW, das untere Band eine Antriebsleistung von 2400 kW. Um die maximalen Gurtzugkräfte zu reduzieren, wurden sowohl Kopf- wie Heckantriebe eingebaut. Auf Grund der Berechnungen wurde der minimale horizontale Kurvenradius auf 1200 m festgelegt.

Um im steilen und gebirgigen Gelände eine bandverträgliche Linienführung zu realisieren, wurde die Bandanlage grundsätzlich aufgeständert. Mehrheitlich wurden Bandbrücken mit einer Spannweite von 48 m eingesetzt. Zusätzlich mussten vier Brücken mit Spannweiten zwischen 62 und 172 m und ein kurzer Förderbandtunnel erstellt werden. Zwei der Brücken wurden aufgrund der grossen Spannweiten als Hängebrücken (Bild 11) realisiert.

Eine Anlage in dieser Dimension kombiniert mit einer solchen Linienführung ist für europäische Verhältnisse eher ungewöhnlich. Marti Technik hat die Herausforderung trotz-



10 Kurvenband Jinping (CN)
The curved belt at Jinping (CN)

ing system installed means that this energy can be returned to the grid. The installation is also equipped with mechanical brakes, to permit stopping of the belt system even in case of a power failure.

A tail drive unit, 3 boosters and a head drive unit are necessary to assure curve capability. Belt support units with a trough of 50° are used additionally. Two-section support units with a trough of 30° are installed in the return strand of the belt, the reason also being that aggregate is to be conveyed on this lower belt run from the portal zone to the concrete-making facility in the cavern in a second project phase.

8 The Jinping belt installation

Spectacular is the only word to describe the routing of the Jinping surface belt system. Here, in the south-west of China's Sichuan Province, a new hydroelectric power plant with a total output of 4800 MW is under construction. Muck removal from the 4 headrace tunnels is via belt conveyors. The outdoor belt system runs from the portals to the final dumpsite, a distance of 6000 m. The condition that no belt-conveyor transfer points may be installed on this route was imposed by the client. Total conveying rate was specified at 5600 t/h. Return haulage of concrete aggregate at a rate of 600 t/h must also be possible. The challenge involved in this system was the virtually impassable terrain, combined with this high rate of conveyance and the effective prohibition of booster drives (Figure 10).

Two stacked horizontal conveyors, each for conveyance of 2800 t/h, were ultimately installed, assuring redundancy. Conveyance of gravel in the "opposite" direction is effected on the return strand of the lower horizontal conveyor. The upper belt has a drive rating of 1600 kW, the lower belt of 2400 kW. Both head and tail drives have been installed, in order to reduce maximum tensile forces. Minimum horizontal curve radius was calculated to 1200 m.



11 Hängebrücke Jinping (CN)
Suspension bridge at Jinping (CN)

dem angenommen und die Planung, Lieferung und Montage mitsamt den erforderlichen Bauarbeiten erfolgreich umgesetzt. Unterdessen wurde auch die Beratung und fachliche Unterstützung des Anlagenbetreibers übernommen. Die Anlage ist seit 2009 in Betrieb und wird noch bis ca. Ende 2013 betrieben.

9 Schlussfolgerungen

Die beiden Projektbeispiele zeigen, dass vieles möglich ist. Es können anspruchsvolle Kurvenbandanlagen gebaut werden und Hindernisse mittels Kunstbauten überwunden werden. Aber sind solche Linienführungen überall erforderlich? Die Bandanlage muss ja nicht immer mitten durch das Baustellencamp und somit um die Wohnblocks geführt werden, wie aus Bild 12 ersichtlich. Dies ist für den Anlagenbauer zwar eine interessante Herausforderung, aber nicht unbedingt die wirtschaftlichste Lösung.

Bei einer rechtzeitigen Einplanung der Förderanlagen im Baustellenkonzept können aufwendige Konstruktionen oftmals vermieden werden. Einerseits fallen so geringere Anschaffungskosten an. Andererseits ist bei einer einfachen Linienführung auch der Betrieb und Unterhalt einer Anlage weniger aufwendig.

Für Planer und Betreiber von Förderbandanlagen lohnt es sich deshalb, die Anlagen rechtzeitig zu definieren und einzuplanen. So kann die Baustelle von einem zuverlässigen und wirtschaftlichen Transportsystem profitieren.

Literatur/References

- [1] DIN 22 101: Gurtförderer für Schüttgüter. Grundlagen für die Berechnung und Auslegung



12 Bandverlauf durch Baustellencamp Jinping (CN)
Routing of the belt through the site camp at Jinping (CN)

The belt system had to be elevated throughout its length, in order to permit a routing suitable for belt conveyance in this mountainous and steeply graded terrain. Several conveyor bridges with a span of 48 m were installed. Four bridges of spans of between 62 and 172 m, and a short belt tunnel, were also needed. Due to their large spans, two of the bridges took the form of suspension bridges (Figure 11).

An installation of these dimensions combined with such a routing is relatively unusual under European circumstances. Marti Technik nonetheless accepted this challenge and successfully completed the planning, supply and installation work, including the necessary civil engineering. The company was also responsible for consulting services and technical support for the operator. Operation of this system started in 2009, and is to continue until around the end of 2013.

9 Conclusions

These two projects illustrate that much is possible. Sophisticated curved-belt systems can be constructed, and obstructions overcome by means of engineering works. But are routings like these necessary everywhere? As can be seen from Figure 12, the belt installation does not always have to be routed through the middle of the site camp, "dodging" around residential buildings. This may be an interesting challenge for a system engineer, but is not necessarily the most cost-efficient solution.

Complex designs can frequently be avoided if the conveyor systems are integrated into the site concept at an early planning stage. This, on the one hand, achieves lower procurement costs; in addition, the simpler the routing, the less complex and costly the operation and maintenance of a belt-conveyor installation.

The planners and operators of belt-conveyor systems will therefore benefit from specifying and integrating them into their planning at an early stage. And the site will have the advantage of a safe, reliable and cost-efficient conveying system.

Hanspeter Stadelmann, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Implenia Bau AG, Aarau/CH
Thomas Gäl, Dipl. Maschineningenieur FH, Implenia Bau AG, Aarau/CH

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut

Weinbergtunnel der Durchmesserlinie:

Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen

Der Weinbergtunnel als bergmännisch erstellter Abschnitt der Durchmesserlinie mitten in der Stadt Zürich bietet sich an, die verschiedenen Konzepte zur Anlieferung von Kies und die Entsorgung von Ausbruchmaterial zu betrachten und in Folge der engen Platzverhältnisse, Randbedingungen und Auflagen die Bedeutung der Logistik für den reibungslosen Tunnelbau herauszuheben.

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials

The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail:

An inner-city site with space at a premium

The Weinberg Tunnel, an underground-excavated section of the “Zurich Cross Rail” through the centre of the city of Zurich, is a highly suitable example for the analysis of the various concepts for delivery of gravel and disposal of muck and – due to its constricted space, boundary conditions and restrictions – for illustration of the significance of logistics for trouble-free tunnel construction.

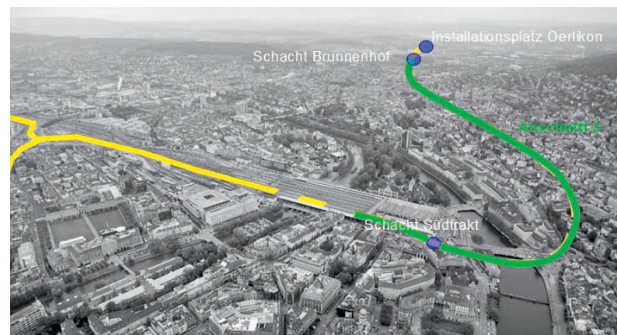
1 Weinbergtunnel – ein Tunnel mitten in der Stadt

Die Durchmesserlinie ist eine neue Eisenbahnverbindung zwischen Altstetten und Oerlikon mit einem Durchgangsbahnhof unter dem Hauptbahnhof Zürich. Der Hauptbahnhof Zürich, ein Kopfbahnhof, hat mit täglich etwa einer halben Million Passanten und Reisenden seine Kapazitätsgrenze erreicht. Die neue Eisenbahnverbindung soll die Kapazität des Bahnhofs erhöhen. Das Projekt ist in 4 Abschnitte aufgeteilt. Abschnitt 3 ist die Unterfahrung des Südtraktes des Hauptbahnhofs und der doppelspurige Weinbergtunnel (Bild 1).

Der Weinbergtunnel beginnt im Bahneinschnitt beim Bahnhof Oerlikon, verläuft durch die Felsdepression Buchegg und führt in einer s-förmigen Kurve zum Central, unterquert die Limmat und mündet in die Unterfahrung des denkmalgeschützten Südtraktes des Hauptbahnhofs. Das Bauwerk unterquert – zum Teil in geringem Abstand – Liegenschaften mit sensibler Nutzung wie das Radiostudio DRS, die ETH Zürich, das Universitätsspital und verschiedene bestehende Tunnelbauwerke. Unmittelbar vor dem Südtrakt wurde ein Schacht erstellt, der sowohl als Startschacht für die Unterfahrung des Gebäudeflügels dient als auch als Zielschacht für die TBM des Weinbergtunnels.

1 The Weinberg Tunnel – an inner-city tunnel

The Zurich Cross Rail is a new rail link between Altstetten and Oerlikon, featuring a through station beneath Zurich’s “Hauptbahnhof”, or “main station”. At around 500,000 visitors and passengers daily, the main station, a terminus, has reached its limits. The new rail link is intended to restore this station’s capacity. The project is subdivided into 4 sectors, Sector 3 comprising tunnelling under the southern part of the main station and the double-track Weinberg Tunnel (Figure 1).



1 Innerstädtische Baustelle Durchmesserlinie – Abschnitt 3 Weinbergtunnel
The Zurich Cross Rail inner-city site – Sector 3, the Weinberg Tunnel

Concepts d'approvisionnement et d'évacuation des matériaux

Le tunnel du Weinberg de la ligne diamétrale de Zurich: un chantier urbain réalisé dans des espaces disponibles très limités

Le tunnel du Weinberg fait partie de la ligne diamétrale de Zurich et est réalisé en travaux souterrain. Les points d'attaque se trouvent tous en pleine ville. Ceci est l'occasion idéale d'étudier différents concepts d'approvisionnement de graviers pour béton et de l'évacuation des matériaux d'excavation. Les comparaisons et finalement les méthodes choisies doivent tenir compte des contraintes dues aux espaces très limités, des conditions périphériques et à la logistique performante pour l'exécution des travaux en souterrain.

Strategie di approvvigionamento e smaltimento di materiali sfusi

La galleria del "Weinberg" del nuovo asse di transito di Zurigo: cantiere urbano in spazi esigui

La galleria del "Weinberg", opera sotterranea della nuova direttrice viaria attraverso la città di Zurigo, si offre in maniera ideale all'analisi delle considerazioni di concetto legate sia all'approvvigionamento di inerti che allo smaltimento del materiale di risulta in ambito fortemente costruito e, implicitamente a vincoli spaziali, obblighi urbanistici e condizionamenti di vario ordine, della rilevanza di una pianificazione logistica esemplare, presupposto imprescindibile per il buon esito dei lavori di costruzione.

Der Schacht Südtrakt liegt im Bereich öffentlicher Verkehrsflächen und Bestandteilen des unterirdischen Einkaufszentrums „ShopVille“. Durch diese Lage ergaben sich umfangreiche Einschränkungen bei den Bauarbeiten, Verkehrsumlegungen auf Hilfskonstruktionen und eine Vielzahl von Abstimmungen mit den betroffenen Anliegern, Eigentümern und Behörden.

Startpunkt des TBM-Vortriebes war der Schacht Brunnenhof an der Kreuzung Wehntaler-/Hofwiesenstrasse. Da die Arbeiten zur Erstellung der Einbindung der neuen Eisenbahnverbindung in das Gleisfeld am Bahnhof Oerlikon und der Tunnelvortrieb parallel laufen, konnte der Vortrieb nicht in Oerlikon beginnen. Von diesem Schacht aus wurden zwei Vortriebe aufgeföhren. Zuerst der Vortunnel in Spritzbetonbauweise in Richtung Bahnhof Oerlikon und anschliessend der Hauptvortrieb mit Mix-Schild-TBM Richtung Hauptbahnhof Zürich. Die ersten 4138 m waren Felsvortrieb. Für die letzten 279 m zum Unterqueren der Limmat wurde die TBM für den Hydroschildvortrieb umgebaut. Parallel zum Haupttunnel verläuft ein befahrbarer Flucht- und Rettungstollen, der über 8 Notausgänge mit dem Haupttunnel verbunden ist.

Ein Schwerpunkt des ausgeschriebenen Projektes war aufgrund von Umweltauflagen die Bahnlogistik. Gemäss Werkvertrag wird der Umfang der Arbeiten als Tunnel-Rohbauarbeiten und Bahnlogistik beschrieben.

Aufgrund der innerstädtischen Lage und damit geringen Lagerflächen und eingeschränkter Liefer- und Abtransportmöglichkeiten stellte sich die Frage, wie diese Baustellen sinnvoll ver- und entsorgt werden können.

The Weinberg Tunnel starts in the cutting at Oerlikon station, passes through the Buchegg rock depression, then running in an S-shaped curve to Central and burrowing under the Limmat to emerge into the tunnel below the listed southern portion of the main station. It passes – at relatively short distances, in some cases – under properties with sensitive utilisations, such as the DRS radio studio, the ETH Zurich technical university, the University Hospital and various existing tunnels. A new shaft, which serves both as the starting shaft for tunnelling under the wing of the station building and as the reception shaft for the Weinberg Tunnel TBM, has been sunk immediately in front of the south facade of the station.

The south station shaft is located in a zone of pedestrian and road traffic, and of elements of the "ShopVille" underground shopping mall. This location resulted in extensive restrictions on construction work, rerouting of traffic on to temporary structures and the necessity for a large number of agreements with local interest groups, owners and the authorities.

TBM tunnelling started from the Brunnenhof shaft at the intersection of the "Wehntalerstrasse" and "Hofwiesenstrasse" streets. Oerlikon could not be used as the starting point, since tunnelling and work for integration of the new rail link into the track system at Oerlikon station are taking place simultaneously. Two tunnels have been driven from this shaft, namely the shotcrete-method tunnel toward Oerlikon station, followed by the main tunnel toward Zurich main station, using mixshield TBM tunnelling. The first 4138 m of tunnel were driven in rock. The TBM was then converted to hydroshield tunnelling for the final 279 m passing under the Limmat. An escape and rescue tunnel suitable for passage of vehicles and linked to the main tunnel via 8 emergency exits runs parallel to the main tunnel.

2 Transportsysteme allgemein

2.1 Welche Transportsysteme gibt es prinzipiell?

Bei der Ver- und Entsorgung von Baustellen spricht man im Wesentlichen vom Abtransport des Ausbruchmaterials, Schlamm, Abfall und Wasser und der Anlieferung von Zuschlagstoffen, Kies, Beton, Sicherungselementen, Rohren und weiteren Einbauteilen. In diesem Beitrag wird auf die Entsorgung von Ausbruchmaterial und die Versorgung mit Kiesmaterial eingegangen.

Die gebräuchlichsten Transportsysteme im Tunnelbau sind:

- Förderbandbetrieb
- Gleisbetrieb
- Pneubetrieb

2.1.1 Förderbandbetrieb

Prinzipiell wird unterschieden zwischen Streckenbändern, zur waagerechten Förderung, und Senkrechtförderern, sogenannten Elevatoren.

Streckenbänder gibt es zum einen mit fixer Länge, stationär oder fahrbar. Im Tunnelbau werden sie zum Beispiel als Maschinenband der TBM, Übergabebänder oder als Schleppband zur Beladung von Zügen im Nachläuferbereich von TBM eingesetzt. Zum anderen gibt es verlängerbare Streckenbänder mit Verlängerung über Bandspeicher. Diese dienen der kontinuierlichen Schutterung zwischen Vortrieb und Portal bzw. Deponie.

In Kurvenbereichen kommen spezielle Bandtragkonstruktionen zur Gurtführung zum Einsatz. Elevatoren werden beispielsweise in Schächten installiert, um das Schüttgut an die Oberfläche zu transportieren. Elevatoren sind Bänder mit Bechern quer zur Bandrichtung. Seitlich sind diese Bänder mit Wellenkanten begrenzt (Bild 2).

2.1.2 Gleisbetrieb

Die gebräuchlichsten Zugarten für den Transport auf Schienen sind Förderwagenzüge und Bunkerzüge.

Ein Förderwagenzug besteht aus mehreren Förderwagen, die von einer Lokomotive gezogen werden. Bei langen Zügen wird eine zweite Lokomotive angehängt, um ohne Umhängen der Lokomotive sicher in beide Richtungen fahren zu können. Die Förderwagen sind mit einer Selbstkippvorrichtung ausgestattet oder werden mit Klemmbacken in einer Rotationskippeinrichtung eingehängt, gedreht und so entleert. Wagen mit Selbstkippvorrichtung entleeren sich durch seitliches Kippen und Öffnen oder durch Öffnen von Klappen am Boden des Wagens. Förderwagenzüge werden sowohl bei kleinen als auch bei grossen Querschnitten eingesetzt. Grösse und Anzahl der Wagen bestimmen sich über die zu transportierende Menge.

Der Zweck der Bunkerzüge ist, einen vollständigen Abschlag oder Hub ohne Wagenwechseinrichtungen aufzunehmen.

Due to environmental restrictions, rail logistics were a central focus of the invitation to tender. The contract for the works defines the scope as "tunnelling work and rail logistics".

The inner-city location, and the concomitant scarcity of storage space, plus restricted access facilities, raised the question of the most rational methods for supply and disposal to and from this site.

2 Haulage systems in general

2.1 What haulage systems exist in principle?

When examining supply to and disposal from construction sites, we essentially mean the outward transportation of excavated material ("muck"), sludge, waste and water, and the inward transportation of additives, gravel, concrete, support elements, pipes and other so-called "internals". This paper focuses on the disposal of muck and the supply of gravel.

The most widely used haulage systems in tunnelling are:

- belt conveyors
- rail systems
- wheeled vehicles

2.1.1 Belt conveyors

It is necessary to differentiate in principle between horizontal conveyors, for horizontal conveyance, and vertical conveyors, so-called "elevators".

Horizontal conveyors are available, on the one hand, in fixed lengths, either stationary or mobile. They are used in tunnelling as the TBM belt, for example, as transfer belts and as trailing conveyors for loading of trains in the TBM's rear area. There are, on the other hand, also extensible horizontal conveyors which can be lengthened by means of belt storage and take-up units. These types are used for continuous muck removal between the area to the rear of the face and the portal or landfill.

Special belt support structures for belt guidance are used at curves. Elevators can, for example, be installed in shafts, in order to raise this bulk material to the surface. Elevators are belts with buckets perpendicular to the direction of conveyance. These belts are bounded by so-called corrugated sidewalls (Figure 2).

2.1.2 Rail systems

The types of train most commonly used for rail haulage are skip and bunker trains.

A skip train consists of a number of skips hauled by a locomotive. Longer trains feature a locomotive at each end, in order to permit safe travel in both directions without uncoupling and running round of the locomotive. The skips are equipped with a self-unloading system, or are positioned using clamping arms in a wagon tippler, then rotated and thus emptied. Wagons featuring a self-unloading system are discharged by

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium



2 Förderbänder – Streckenbänder und Elevator – Baustelle Weinbergtunnel
Belt conveyors – horizontal conveyors and elevator – the Weinberg Tunnel site

Ein Bunkerzug besteht aus drehbar miteinander verbundenen Wagen, die keine Zwischentrennwände haben. Das Ausbruchmaterial wird auf das Aufgabeband des Bunkerzugs gegeben, in den hintersten Wagen entladen und von dort über eine am Boden der Wagen verlaufende Fördereinrichtung über den ganzen Zug verteilt. Die Ladehöhe ist durch die Leistung der Fördereinrichtung begrenzt. Der Entladevorgang erfolgt ebenfalls über die Fördereinrichtung am Boden des Zugs. Der Aufwand für den Unterhalt dieser Züge ist relativ hoch. Die Wagen sind selbstfahrend oder werden von einer Lokomotive gezogen (Bild 3).

Bei kleinen Tunnelquerschnitten erfolgt der Transport in der Regel eingleisig, bei grösseren eingleisig mit Ausweichstellen oder zweigleisig. Wie viele Ausweichstellen notwendig sind, hängt von der Grösse des Querschnitts, der zu schuttenden Menge, dem Ladevolumen des Zugs und der Länge des Tunnels ab.

2.1.3 Pneubetrieb

Voraussetzung für den Pneubetrieb ist eine befahrbare Sohle. Bei kleinen Tunnellängen wird meist dasselbe Gerät zum Aufnehmen und Transportieren eingesetzt. Man spricht vom Fahrladerbetrieb. Das Transportvolumen ist relativ klein (bis ca. 10 m³). Bei grösseren Tunnellängen gibt es in der Regel ein Aufnahmegerät (z. B. Bagger) oder eine Verladeanlage und ein Transportgerät (Muldenkipper/Dumper).

means of side tipping and opening, or by opening doors in the floor of the wagon. Skip trains are used for both large and small cross-sections. The size and number of wagons is determined by the volume of material to be transported.

The principle of bunker trains is that of loading a complete round or pull with no shunting. A bunker train consists of wagons rotably coupled to one another, with no intermediate dividing panels. The muck is deposited on the bunker train's feed belt, loaded into the rearmost wagon and then distributed across the length of the train by a conveying system running along the floors of the wagons. Loading height is limited by the conveying system's rate of conveyance. Unloading is also accomplished using the conveying system in the floor of the trains. Such trains require a relatively high maintenance input; the wagons are either themselves powered or are hauled by a locomotive (Figure 3).

Rail systems are generally single-track in small tunnel cross-sections, single-track with passing loops or two-track, in larger cross-sections. The number of passing loops necessary depends on the cross-section, the quantities to be hauled, the train's capacity and the length of the tunnel.

2.1.3 Wheeled vehicles

A stable tunnel floor is the precondition for the use of wheeled vehicles. In short tunnels, the same equipment is

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut • Weinbergtunnel der Durchmesserlinie: Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen



3 Schutterzug mit Förderwagen – Rotationskippanlage – Gotthard-Basistunnel Bodio – Zug im FLRS Weinbergtunnel
Muck removal train, showing skips – Wagon tippler – Gotthard Base Tunnel, Bodio – Train in the Weinberg Tunnel FLRS

Bei Abbau mit Teilschnittmaschine wird auch direkt auf den Dumper gefördert (Bild 4).

2.2 Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme

Die Wahl des Systems ist – sofern nicht vorgegeben – von Länge, Durchmesser und Steigung des Tunnels abhängig. In der Regel beeinflussen ökologische Randbedingungen und betriebswirtschaftliche Überlegungen die Wahl. Die Abförderkapazität sollte mindestens so hoch wie die Vortriebsgeschwindigkeit sein, damit nicht das Schüttern leistungsbestimmend wird.

Vor- und Nachteile der einzelnen Transportsysteme sind stark abhängig vom jeweiligen Projekt. Verallgemeinern kann man die Systeme nach folgenden Kriterien beurteilen:

- Förderleistung
Durch die kontinuierliche Förderung beim Bandbetrieb ist die höchste Förderleistung gegeben. Beim Gleisbetrieb sind mit Förderwagen auch sehr grosse Mengen transportierbar.
- Platzbedarf
Bei kleinen Querschnitten kommt in der Regel Gleisbetrieb oder Förderbandbetrieb zum Einsatz, da der Platz

generally used for both loading and transportation; the term “load haul dumper” operation is used here. The volume transported is relatively small (up to approximately 10 m³). A loader (e.g. a excavator) or a loading system and a haulage machine (dumper) are generally used in longer tunnels. Conveyance directly into the dumper is customary when boom-type road headers are used (Figure 4).

2.2 The advantages and disadvantages of the various systems

The system selected – where not otherwise specified – depends on the length, diameter and gradient of the tunnel. Ecological boundary conditions and economic considerations generally determine the decision. Outward conveying capacity should be at least equal to the rate of tunnelling, in order that muck removal does not become a limiting factor.

The advantages and disadvantages of the individual haulage systems greatly depend on the particular project. It is possible, in general, to assess these systems on the following criteria:

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium

nicht ausreichend für das sichere Aneinandervorbeifahren zweier Fahrzeuge ist.

- **Investitionskosten**
Die geringsten Investitionskosten fallen beim Pneubetrieb an, sehr hohe beim Förderbandbetrieb. Was jedoch im Einzelfall am wirtschaftlichsten ist, hängt von der Tunnelgeometrie und der Einsatzdauer ab.
- **Energiebedarf**
Beim Gleisbetrieb ist der Energiebedarf bezogen auf die Fördermenge relativ gering. Pneubetrieb hat im Vergleich dazu einen hohen Energiebedarf. Beim Vergleich des Energiebedarfs müssen die Investitionskosten berücksichtigt werden.
- **Personalbedarf**
Pneubetrieb ist sehr personalintensiv. Im Vergleich dazu ist der Personalbedarf beim Förderbandbetrieb gering.
- **Flexibilität**
Durch die Ortsungebundenheit ist der Pneubetrieb das flexibelste System. Die grössten Steigungen überwindet allerdings das Förderbandsystem. Der Gleisbetrieb ist ein sehr unflexibles System, das nur geringe Steigungen überwinden kann. Die fest installierten Gleise können zu Behinderungen führen. Beim Transport mit Förderbändern ist die Stückgutgrösse begrenzt, sodass bei Bedarf zusätzlich ein Brecher notwendig ist.
- **Wartung/Unterhalt**
Förderbandsysteme sind wartungsarm; fällt jedoch eine Komponente aus, kann das ganze Fördersystem zum Stillstand kommen. Bei der Wahl des Transportsystems sind auch gegebenenfalls Sanierungen zu berücksichtigen, die durch die Nutzung des Transportsystems notwendig werden.
- **Emissionen**
Betreffend Emissionen (Abgase, Staub, Geräusche etc.) ist der Förderbandbetrieb die beste Variante. Lässt man die Geräuschemissionen unberücksichtigt, ist der Gleisbetrieb emissionsärmer als der Pneubetrieb.
- **Arbeitssicherheit**
Bei Förderbandsystemen ist der Arbeitssicherheit grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Sind Sicherheitsgitter und sonstiger Personenschutz bei der Konstruktion berücksichtigt worden, ist der Förderbandbetrieb ein relativ sicheres

- **Rate of conveyance**
Thanks to their continuous mode of conveyance, belts achieve the highest conveying rates. Rail-mounted skips are also capable of conveying extremely large volumes.
- **Space requirements**
Rail or belt-conveyor systems are generally used in small cross-sections, since there is not sufficient space for two vehicles to pass safely.
- **Investment costs**
Wheeled vehicles incur the lowest investment costs, while these costs are extremely high for belt conveyors. Tunnel geometry and the deployment time ultimately decide which is the most cost-efficient solution for each individual case, however.
- **Energy consumption**
The energy consumption of rail systems is relatively low, referred to conveyed volume. Wheeled vehicles have a high energy consumption by comparison. Investment costs must also be taken into account when comparing energy consumption.
- **Manning**
The use of wheeled vehicles is extremely labour intensive; the necessary manning level for belt conveyors is low by comparison.
- **Flexibility**
Wheeled vehicles, thanks to their mobility, are the most flexible system. Belt-conveyor systems can master greater gradients, however. Rail is an extremely inflexible system, and can overcome only slight gradients. Fixed tracks can also cause obstructions. Maximum item size is limited in belt-conveyor haulage, with the result that a crusher may also be necessary.
- **Servicing and maintenance**
Belt-conveyor systems require comparatively little maintenance; the entire conveying system may be paralysed, however, if just one component fails. Refurbishing necessary due to the use of the haulage system may also have to be taken into account in selecting a haulage system.
- **Emissions**
In terms of emissions (exhaust, dust, noise, etc.), belt conveyors are the best variant. Rail has lower emissions than wheeled vehicles, if noise emissions are ignored.



4 *Pneubetrieb: Verlad TSM auf Lkw, Baustelle Tunnel de Serrière – Radlader-Dumper-Verlad Aeschertunnel
Wheeled-vehicle operation: loading from road header to lorry, Tunnel de Serrière site; wheel loader-to-dumper loading, Aescher Tunnel*

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut • Weinbergtunnel der Durchmesserlinie: Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen

Fördersystem. Der Gleisbetrieb braucht ein gutes Sicherheits- und Warnkonzept. Die Sicherheit im Bahnbetrieb beeinflusst die Konstruktion und das Betreiben sämtlicher Installationen, die vom gleisgebundenen Verkehr tangiert sind. Die Sicherheit beim Pneubetrieb ist in hohem Mass abhängig vom Geräteführer.

3 Weinbergtunnel – wenig Spielraum durch enge Vorgaben

Die Baustelle liegt mitten in Zürich. Für die An- und Abtransporte sind die öffentlichen Strassen zu nutzen, ohne öffentlichen, privaten oder Fussgängerverkehr zu behindern. Hinzu kommt, dass der Installationsplatz am Schacht Südtrakt für Schwertransporte nicht befahrbar ist, da er auf der Decke der zentralen Anlieferung des ShopVille liegt. Lagerplätze waren nicht vorhanden. Die wenigen Flächen, die genutzt werden konnten, mussten erst geschaffen werden und unterlagen strengen Auflagen hinsichtlich Gestaltung, Schutz der Passanten und Beeinträchtigung der Anlieger.

Für das Projekt gab es eine Vielzahl an Auflagen, Anforderungen, Abhängigkeiten und betrieblichen Einflüssen. Aufgrund der Umweltschutzverordnung müssen 85 % aller Schüttguttransporte des Projektes Durchmesserlinie per Bahn erfolgen. So schreibt die Bauherrschaft vor, das Ausbruchmaterial von Schacht Brunnenhof, Tunnel und Fluchtstollen nach Oerlikon zu fördern und von dort per Bahn zur Deponie zu transportieren. Weiter ist der Antransport von Kieskomponenten und Tübbingem per Bahn und teilweisem Umschlag auf Lkw vorgesehen. Das Ausbruchmaterial am Schacht Südtrakt wird per Lkw entsorgt, in der ersten Phase direkt in eine Deponie, in der zweiten Phase teilweise zur Bahnverladeanlage des Nachbarloses hinter dem Bahnhof.

Die Transporte sind auch zeitlich beschränkt. So sollen Lkw-Transporte in den Hauptverkehrszeiten zwischen 16 und 20 Uhr vermieden werden. Der Abtransport des Ausbruchmaterials ab der Verladeanlage per Bahn wird durch die Trassenbelegung im Bahnhof Oerlikon bestimmt.

Der Installationsplatz am Bahnhof Oerlikon spielt für die Logistik des Weinbergtunnels eine zentrale Rolle. Der Materialantransport und -abtransport per Bahn erfolgte über diesen Installationsplatz. Die SBB AG stellte dem Unternehmer 2 schmale Geländestreifen zwischen Parkplatz Bahnhof Oerlikon und Regensbergbrücke östlich und westlich des Gleisfeldes zur Verfügung. Der Unternehmer musste diese Streifen durch Abfangmauern und Erdarbeiten als Installationsplatz nutzbar machen.

Die Ausschreibung sah eine Verladeanlage zum Verladen des Ausbruchmaterials auf Züge auf dem Installationsplatz Oerlikon vor. Das Ausbruchmaterial sollte vom Tunnelportal bis zur Verladeanlage mit Förderbändern transportiert werden. Die per Bahn antransportierten Kiesmaterialien sollten eben-

• Workforce safety

Great attention must be devoted to the working safety of belt-conveyor systems. Belt conveyors are a relatively safe method of conveyance, provided safety rails and other workforce-safety precautions are included in the design. Rail operation necessitates a good safety and warning concept. Rail safety will influence the design and operation of all installations adjacent to and affected by rail traffic. Wheeled-vehicle safety is very greatly dependent on the operator/driver of the machine.

3 The Weinberg Tunnel – tight rules limit flexibility

The site is in the centre of Zurich. Public roads must be used for all movements, without obstructing public, private or pedestrian traffic. There is, in addition, no vehicle access for heavy loads at the work yard near the south station shaft, since this is located on the roof of the central ShopVille delivery ramps. There were no storage areas. The few areas which could be used had first to be created, and were subject to strict conditions concerning their arrangement, the safety of passers-by and nuisance to residents and businesses.

There were a large number of legal conditions, restrictions, interdependencies and operational factors influencing the project. It was necessary, due to the environmental regulations, to accomplish 85 % of all bulk-materials movements for the Zurich Cross Rail project by rail. The client requires, for example, that excavated material from the Brunnenhof shaft, the tunnel and the escape tunnel be conveyed to Oerlikon, and then taken to the landfill by rail. Delivery of gravel components and lining segments by rail is also planned, with transfer to lorries in some cases. The material excavated at the south station shaft is taken away by road, directly to a landfill in the first phase and, in some cases, to the neighbouring lot's rail-loading terminal behind the station during the second phase.

There are also time restrictions on movements. Road haulage, for example, is to be avoided during rush hours (between 16 and 20 h). Outward transportation of the excavated material from the loading terminal by rail is dictated by route occupation at Oerlikon station.

The work yard at Oerlikon station plays a central role in the logistics of the Weinberg Tunnel. Incoming and outgoing materials movements by rail were accomplished via this work yard. SBB AG (Swiss Federal Railways) provided the contractor with 2 narrow strips of land between the car-park at Oerlikon station and the Regensberg Bridge, to the east and west of the tracks. The contractor was obliged to prepare these strips for use as a work yard by means of retaining walls and excavation work.

The invitation-to-tender provided a loading terminal for transfer of the muck to trains at the Oerlikon work yard. The

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium

falls per Bandförderanlage gefördert werden. Sie sollten auf der Westseite des Installationsplatzes Oerlikon entladen und ohne Pufferung zum Installationsplatz am Schacht Brunnenhof gefördert werden. Kies wurde für die Sohlschüttung, Betonherstellung und für die Ringspaltverfüllung benötigt. Zwischen den beiden Seiten des Installationsplatzes verlief eine Bandbrücke über die Gleise (Bild 5).

Die projektierten Transportmengen sind 1.7 Mio. t Ausbruchmaterial und 275'000 t Kies. Standorte und Aufbau der Bandanlage und der Ver- und Entladeanlagen sind vom Projektverfasser relativ detailliert vorgegeben. Der Werkvertrag beinhaltet eine Auflistung des Projektverfassers der in den einzelnen Logistikphasen vorzuhaltenden Anlagen. Bei der Umsetzung muss der Unternehmer die vom Projektverfasser vorgegebenen Gestaltungsprinzipien berücksichtigen (Farbe, Aussehen, Höhe, Werbung etc.).

Zwischen Installationsplatz Oerlikon und dem Vortunnel verläuft die Bandanlage durch den Abschnitt 4 der Durchmesserlinie. Zum Zeitpunkt der Montage haben die Aushubarbeiten dort erst begonnen. Um die geplanten Arbeiten im Gleisfeld vor dem Bahnhof Oerlikon ausführen zu können, muss der Rückbau der Bandanlage zu einem genau definierten Zeitpunkt erfolgen.

Aus den vielfältigen Abhängigkeiten der Arbeiten der verschiedenen Abschnitte untereinander ergeben sich für fast alle Arbeiten enge Zeitfenster und für den Unternehmer Koordinationsaufgaben der Schnittstellen. Aufgrund dieser Abhängigkeiten gibt der Projektverfasser vier Bahnlogistikphasen vor:

Logistikphase 1:

- vor dem Start des TBM-Vortriebs; Bau der Förderanlagen und Aushub Abschnitt 4,
- Verlad auf der Ostseite mit Pneulader direkt auf Bahnwagen,
- Aushub aus Schacht, konventionellem Tunnel und Los 4,
- noch keine Kieslieferung;

Logistikphase 2:

- während des TBM-Felsvortriebs,
- Ausbruch aus Tunnel und Fluchtstollen wird über die Verladeanlage auf der Ostseite verladen,
- Anlieferung Tübbinge auf der Ostseite, Anlieferung Kies auf der Westseite;

Logistikphase 3:

- während Hydroschildvortrieb,
- Kiestransport und Ausbruchabtransport nur noch über die Anlage auf der Westseite des Installationsplatzes;

Logistikphase 4:

- Option Verlängerung der Logistikphase 3 bis Ende Innengewölbeausbau.

muck was to be conveyed on belt conveyors from the tunnel portal to this installation. The gravel delivered by rail was also to be conveyed on belt conveyors. It was to be unloaded on the west side of the Oerlikon work yard, and conveyed, with no buffering, to the work yard at the Brunnenhof shaft. Gravel was required for the floor aggregate, for concrete-making and for filling-in of the annular gap. A conveyor bridge was constructed over the tracks to link the 2 sectors of the work yard (Figure 5).

The volumes envisaged for conveyance consist of 1.7 million t of muck and 275,000 t of gravel. The locations and structure of the belt installation and the loading/unloading systems were specified in relatively great detail by the project planner. The services contract includes the project planner's schedule of the equipment to be provided during the individual logistics phases. The contractor is obliged to conform with the design principles specified by the project planner (colour, appearance, height, advertising, etc.).

The belt installation passes through Sector 4 of the Zurich Cross Rail between the Oerlikon work yard and the pilot tunnel. The excavation work there had only just begun at the time of installation. The belt system must be removed at a precisely defined time, in order to permit performance of the planned works on the approach tracks to Oerlikon station.

The many and diverse interdependencies in these works for the various sectors resulted in tight time windows for practically all activities, and interface-coordination tasks for the contractor. The project planner specifies four rail-logistics phases, due to these interdependencies:

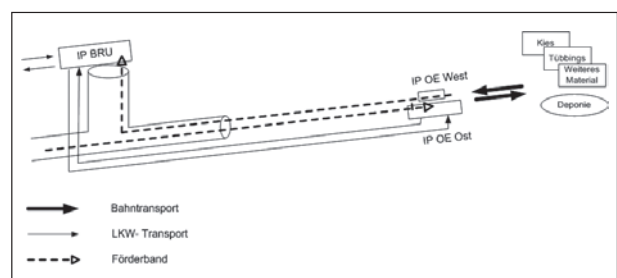
Logistics Phase 1:

- prior to the start of TBM tunnelling; installation of the conveyor systems and excavation of Sector 4,
- loading directly on to rail vehicles on the east side, using wheel loaders,
- excavation from the shaft, conventional tunnel and Lot 4
- no gravel deliveries as yet;

Logistics Phase 2:

During TBM tunnelling in rock:

- muck from the tunnel and the escape tunnel to be loaded via the loading terminal on the east side,



5 Logistik Weinbergtunnel
Logistics for the Weinberg Tunnel

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut • Weinbergtunnel der Durchmesserlinie: Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen

Nach dem Werkvertragsabschluss liegt die Ausführungsplanung der Logistikeinrichtungen beim Unternehmer und ist auf dem zeitkritischen Weg. Der Unternehmer erbringt die Planungsleistungen. Die Anlagen sind funktional im NPK 113 ausgeschrieben, wobei die Vorgaben so eng und detailliert sind, dass der Unternehmer nicht mehr viel Spielraum hat.

Eigentümer der Bahnanlagen ist die SBB AG. Im Gleisbelegungsplan für den Bahnhof Oerlikon werden in Minutenabständen die Belegungen der Gleise (Trassen) grafisch dargestellt. Die Trassen für den Personenverkehr werden jährlich festgelegt, die für den Güterverkehr werden vierteljährlich dem Markt angepasst. So muss die Bahnlogistik des Loses 3.2 der SBB AG ein halbes Jahr im Voraus die voraussichtliche Gleisbelastung in Bruttotonnen pro Quartal melden. Für den Bahntransport sind keine Trassen reserviert. Der Unternehmer muss sich selber um die Reservation und einen Transportanbieter kümmern. Die Wahl der Deponie ist dem Unternehmer überlassen.

4 Umsetzung – Herausforderungen

Es war von Beginn weg klar, dass die Kiesver- und Ausbruchentsorgungsanlage beim Bahnhof Oerlikon die zentrale Drehscheibe für alle Schüttguttransporte darstellt. Leistungsbestimmend für die ganze Logistikkette waren die vorgegebenen Zeitfenster für die Beladung der Züge aus dem Betrieb im Bahnhof Oerlikon. Alle anderen Logistikteile wie Tunnelvortriebsanlage, Förderbänder, Bunker, Verladeanlage, Bahntransport und Deponie mussten auf diese Vorgaben ausgelegt und abgestimmt werden.

Aufgrund der Marktsituation konnte mit potenziellen Gesamtleistungsanbietern, mit einer Schnittstelle am Portal Oerlikon, keine Lösung gefunden werden. Die Arge Tunnel Weinberg hat erst nach Erhalt des Auftrags eine unabhängige Deponie gefunden und sich entschieden, den Umschlag und die Ver- und Entsorgung als Eigenleistung abzuwickeln.

4.1 Ver- und Entsorgungsanlagen Oerlikon

Die Planung und Erstellung der funktional ausgeschrieben Ver- und Entsorgungsanlagen Oerlikon wurde nach intensiven Variantenstudien an Rowa vergeben. In einer Nutzungsvereinbarung wurden die vertraglichen Randbedingungen und die Bedürfnisse des Bestellers der schlüsselfertig zu erstellenden Anlage festgehalten. In enger Zusammenarbeit mit der Arge Tunnel Weinberg wurde die Anlage in extrem kurzer Zeit entwickelt, hergestellt, geliefert, montiert und in Betrieb genommen (Bild 6).

Das Ausbruchmaterial wurde im Vortunnel vom Streckenband auf ein kurzes Querband und von dort mit dem Transportband entlang der Stützmauer im Abschnitt 4 über 800 m zur Bunkeranlage gefördert. Diese diente als Pufferspeicher für das Ausbruchmaterial des Haupttunnels und des Flucht- und Rettungsstollens. Die Füllkapazität entsprach etwa einer

- delivery of lining segments on the east side, gravel on the west side;

Logistics Phase 3:

- during hydroshield tunnelling,
- delivery of gravel and outward movement of muck only via the installation on the west side of the work yard;

Logistics Phase 4:

- Option of extension of Logistics Phase 3 until completion of the roof lining.

Under the contract, the contractor is responsible for planning installation of the logistical equipment, this planning being on the time-critical path. The contractor must furnish the planning services. The functioning of the equipment and systems are specified in NPK 113, the specifications being so precise and detailed that there is little room for the contractor's own initiative.

The rail facilities are owned by SBB AG. Occupation of the tracks (paths) is shown graphically, at intervals of 1 minute, on the track-occupation diagram for Oerlikon station. Paths for passenger traffic are defined at annual intervals, those for freight traffic adjusted to market demand every quarter. The rail-logistics planners for Lot 3.2 are therefore required to state planned track usage in tonnes gross per quarter to SBB AG 6 months in advance. No paths are reserved for rail haulage from the sites; the contractor is therefore required to arrange reservation and a transport service-provider himself. Selection of the landfill is left to the contractor.

4 Implementation – challenges

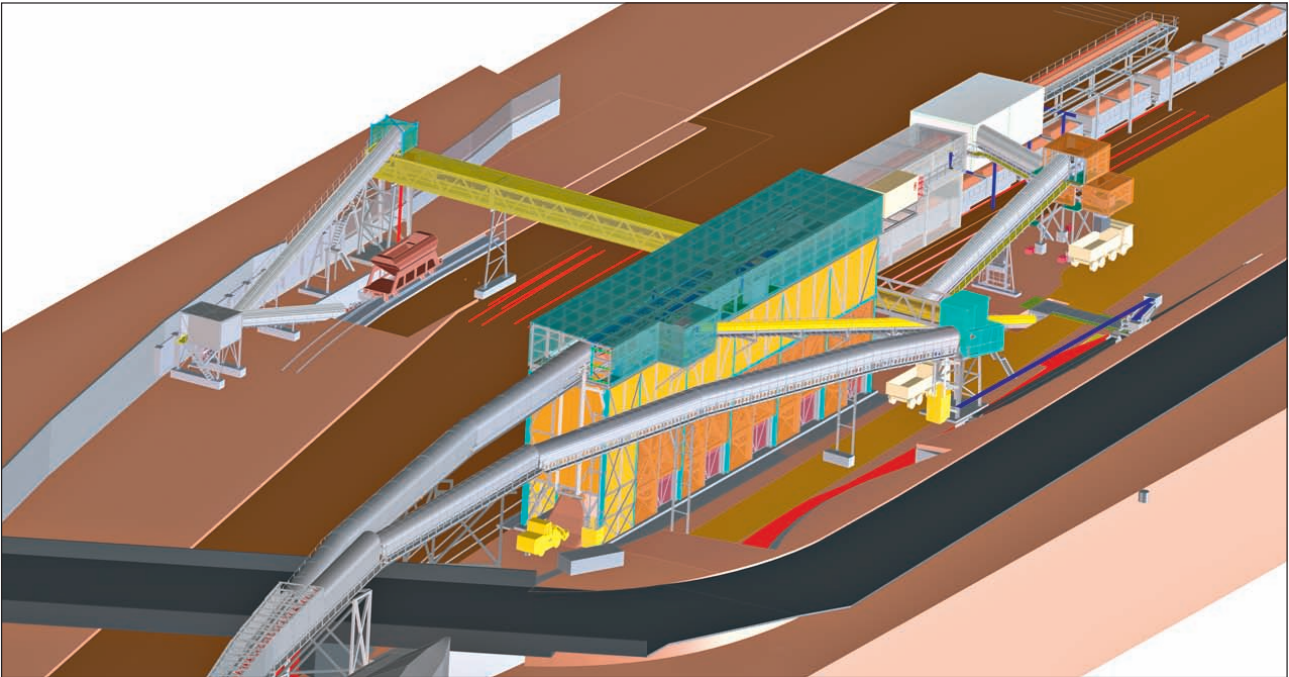
It was clear from the inception that the gravel delivery and muck loading terminal at Oerlikon station would be the central hub for all bulk-material movements. The time-windows specified for loading of trains from the workings at Oerlikon station were determinant for the productivity of the entire logistics system. All other logistical elements, such as tunnelling equipment, belt conveyors, bunkers, loading terminal, rail haulage and landfill had to be designed for and co-ordinated with these requirements.

It was not possible, due to the prevailing market situation, to find a solution with potential "single-source" service-providers, with an interface at the Oerlikon portal. The Weinberg Tunnel consortium located an independent landfill only after the award of contract, and decided to undertake transshipment, loading and unloading itself.

4.1 Haulage facilities at Oerlikon

The planning and creation of the Oerlikon supply/disposal facilities specified in functional terms in the invitation-to-tender were awarded, after intensive studies of possible variants, to Rowa. The contractual boundary conditions and

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium



6 Ausgeführte Ver- und Entladeanlagen auf dem Installationsplatz Oerlikon (Ost- und Westseite)
Completed loading/unloading facilities at the Oerlikon work yard (east and west side)

Tagesleistung (ca. 5000 t). Der Abtransport des Materials erfolgte mit Zügen à 16 Wagen mit einer Nutzlast von je 60 t. Pro Zug wurden somit ca. 960 t abtransportiert. Die vollständige Ladung eines Zuges wurde innerhalb von 30 Minuten mittels einer automatischen Bahnverladeanlage erreicht. Aufgrund der hohen Frequentierung des Bahnhofes Oerlikon waren nur 7 Ein- bzw. Ausfahrtzeitfenster pro Tag möglich. Das heißt, der vortriebslimitierende Faktor war nicht die Leistung der TBM, sondern die Entsorgungskapazität per Bahn (Bild 7).

Die Anlieferung des Kieses erfolgte per Bahn nach Oerlikon. Über die Entladegasse Oerlikon West gelangte der Kies mittels Förderbänder über die Gleisquerung und dann entlang der Stützmauer zum Vortunnel. Von dort wurde er entweder in Silos zur Versorgung des TBM-Vortriebes entladen oder gelangte über einen Elevator im Schacht Brunnenhof zur überirdischen Betonanlage.

Die sehr engen Platzverhältnisse und die Bedürfnisse des Vortriebes machten einen stufenweisen Aufbau der Anlage erforderlich. Zeitweise waren Montagearbeiten nur während der Nacht möglich, da dafür Gleissperrungen nötig waren. Eine besondere Herausforderung stellten die Schnittstellen zur SBB, zum Strassenverkehr wie auch zu Nachbarlosen auf der Strecke vom Installationsplatz bis zum Schacht Brunnenhof dar. Zur Minimierung der Lärm- und Staubbelastung, respektive zur Einhaltung der zulässigen Emissionsgrenzwerte, welche im innerstädtischen Bereich eine grosse Herausforderung darstellt, wurde die Anlage durchgehend eingehaust (Bild 8, 9).

the needs of the customer for the turnkey facility, were set down in a utilisation agreement. The facilities were planned, produced, delivered, installed and commissioned in an extremely short time, in close co-operation with the Weinberg Tunnel consortium (Figure 6).

The excavated material was transferred in the pilot tunnel from the horizontal belt to a short transverse belt, and then conveyed 800 m along the retaining wall in Sector 4 to the bunker installation, which served as a buffer for the muck from the main tunnel and the escape/rescue tunnel. Capacity here was approximately sufficient for 1 day's work (around 5000 t). This material was then loaded on to trains, each consisting of 16 wagons with a payload of 60 t. Around 960 t could thus be removed per train. Each train was filled to capacity within 30 minutes by means of an automatic rail-loading terminal. Only 7 arrival/departure time-windows were possible each day, due to the high level of traffic at Oerlikon station; in other words, the factor limiting tunnelling progress was not the performance of the TBM, but instead rail disposal capacity (Figure 7).

Gravel was delivered to Oerlikon by rail. It was forwarded via the discharge chute at Oerlikon West and belt conveyors over the tracks, and along the retaining wall to the pilot tunnel. From here, it was either fed into silos to supply TBM tunnelling or routed via an elevator in the Brunnenhof shaft to the concrete-making facility on the surface.

The extremely constricted space available, combined with the needs of tunnelling, necessitated stage-by-stage installa-

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut • Weinbergtunnel der Durchmesserlinie: Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen

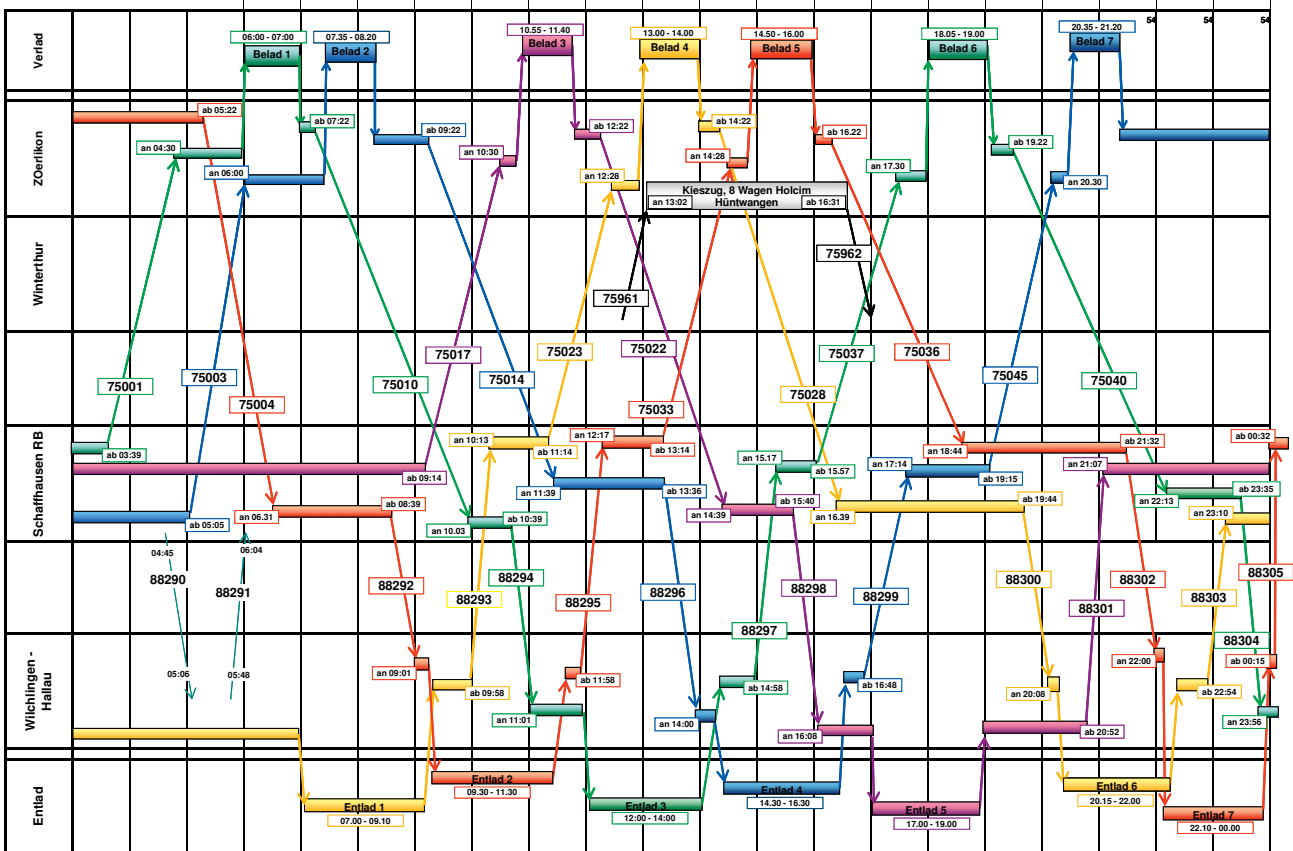
SBB CFF FFS Cargo

Transportprogramm DML Weinbergtunnel

23.03.2009 - 19.12.2009



SBB Cargo, Produktionsplanung Schweiz



7 Transportprogramm Weinbergtunnel
Haulage schedule for the Weinberg Tunnel

4.2 Tunnelbandanlage

Die Frage des Pneutransportes für die Hauptkubaturen im Tunnel hat sich am Weinbergtunnel nicht gestellt. Aufgrund der vorgegebenen Bandtransporte im offenen Abschnitt Oerlikon und der gewählten Vortriebstechnik ist der kontinuierliche Abtransport mittels Bändern die wirtschaftlichste Lösung. Die Förderbandanlage mit einer Leistung von 1200 t pro Stunde und einer Gurtbreite von 1000 mm wurde an den Tübingen aufgehängt und mittels Spannstation im Vortunnel und integriertem Verlängerungswagen im Nachläufer kontinuierlich mit dem Vortrieb verlängert und mitgeführt. Das Ausbruchmaterial wurde direkt vom Bohrkopf via fixem Maschinen- und Nachläuferband an die Tunnelbandanlage übergeben.

4.3 Bahntransport

Der Abtransport per Bahn wurde an das Transportunternehmen SBB Cargo vergeben, welches konkret für folgende Leistungen zuständig war:

- Einkauf der Trassen, Lok- und Lokführerleistungen,
- Bereitstellen und Unterhalt der Wagen für die Transporte,
- fristgerechter Transport der beladenen Züge ab dem vereinbarten Übergabepunkt zum gewünschten Endpunkt gemäss Leistungsspezifikation,

tion of this facility. Installation work was in some cases only possible at night, since it necessitated track occupation. The interfaces with SBB, with road traffic and with adjacent lots on the route from the work yard to the Brunnenhof shaft, constituted a particular challenge. The system was completely housed in, in order to minimise noise and dust nuisance and to assure adherence to the permissible emission limits, which were a great challenge in this inner-city zone (Figures 8 and 9).

4.2 The tunnel belt system

The question of wheeled-vehicle haulage for the main structures did not arise at the Weinberg Tunnel. The most cost-efficient solution, in view of the belt haulage specified for the surface sector at Oerlikon and the tunnelling technology selected, was continuous outward belt conveyance. The belt-conveyor system, with a conveying rate of 1200 t/h and a belt width of 1000 mm, was suspended from the segmental lining and was continuously extended to keep pace with tunnelling advance by means of a tensioning unit in the pilot tunnel and an integrated extension car in the back-up. The muck was transferred directly from the cutter head via the fixed TBM belt and back-up system belt to the tunnel belt system.

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium



8 Übersicht Ver- und Entladeanlage in Oerlikon
Overview of the loading/unloading facility in Oerlikon

- Entleeren der Wagen,
- fristgerechter Rücktransport der leeren Züge zum vereinbarten Übergabepunkt.

Eine besondere Herausforderung stellte die Regelung des Umgangs mit Bestellungen, Abbestellungen sowie von betrieblichen Störungen dar.

4.4 Deponie

Für die Deponie des sauberen Ausbruchmaterials aus Haupttunnel und Flucht- und Rettungsstollen wurde in Wilchingen bei der Firma Hablützel eine gute Lösung gefunden. Total wurden hier über 1.3 Mio. t endgelagert. Der Deponiebetreiber hat das Material ab Kippstelle übernommen und eingebaut.

Um die Umlaufzeiten und vorgegebenen Zyklen optimal ausnutzen zu können, musste eine entsprechende Entladeanlage gebaut werden. Infolge notwendiger Rangierarbeiten musste auf dem Netz der Deutschen Bahn eine Gleisverlängerung von ca. 30 m neu erstellt werden. Alle Beteiligten wurden bei den Gleisbauarbeiten vor besondere Herausforderungen gestellt, um die notwendigen Bewilligungen, Zulassungen, Bestätigungen und Freigaben zu erhalten. Für das letzte Teilstück ab Schaffhausen auf dem Netz der Deutschen Bahn mussten die Traktionsmittel gewechselt werden, da dies nicht elektrifiziert ist (Bild 10).

Direkt am Kieswerk und neben dem Entladegleis in Wilchingen wurde die Tübbingfabrik aufgebaut und betrieben. Die Zuschlagstoffe wurden direkt ab dem Kieswerk zugeführt und somit die Transportwege kurz gehalten. Ursprünglich war das Ziel, die Tübbinge per Bahn nach Oerlikon zu bringen, dort umzuschlagen und auf der Strasse zum Schachtkopf Brunnenhof zu transportieren. Infolge neuer Linienführung des Flucht- und Rettungsstollens war ein Umschlag im Areal Oerlikon nicht mehr möglich und die Tübbinge wurden auf der Strasse vom Werk in Wilchingen direkt auf die Baustelle gebracht (Bild 11).



9 Bandförderung zwischen Portal und Installationsplatz Oerlikon
Belt conveyance between the portal and the Oerlikon work yard

4.3 Rail transport

Outward rail transportation was entrusted to SBB Cargo, who were, specifically, responsible for the following services:

- purchase of paths, plus locomotive and driver services,
- provision and maintenance of wagons for haulage,
- on-time movement of the loaded trains from the agreed transfer point to the required discharge point, in accordance with the schedule of works,
- discharge of the wagons,
- on-time return of the empty trains to the agreed transfer point.

Ordering procedures, cancellations and operating problems presented a particular challenge.

4.4 Landfill

A good solution for disposal of the clean excavated material from the main and the escape/rescue tunnels was found in the form of the Hablützel company, in Wilchingen. A total of more than 1.3 million t of material was finally deposited here. The landfill operator received the material at the point of tipping, and installed it himself in the landfill.



10 Bahntransport
Rail haulage

Ver- und Entsorgungskonzepte für Schüttgut • Weinbergtunnel der Durchmesserlinie: Innerstädtische Baustelle mit beengten Platzverhältnissen



11 Installationsplatz Brunnenhof – Separieranlage
Brunnenhof work yard – separation plant

4.5 Kiesversorgeranlagen

In der Logistikphase 2 wurde der Kies wie beschrieben per Bahn angeliefert und per Band, Zwischensilos und, wo nötig, per Pneu an die entsprechenden Verbrauchsstellen gebracht. Seit dem Ende des Felsvortriebes erfolgte der Antransport per Lkw auf der Strasse.

4.6 Ausbruchabtransport aus Nebenbauwerken

Sämtliches Ausbruchmaterial der Querschläge und Nebenbauwerke wurde in Mulden zum Schachtfuss Brunnenhof gebracht und von dort mit dem Schachtportalkran zum Schachtkopf gehoben und zwischendeponiert. Der Abtransport in die entsprechenden Deponien erfolgte per Lkw. Der Abtransport des in der Separieranlage Brunnenhof aufbereiteten Ausbruchmaterials aus dem Hydroschildvortrieb erfolgte ebenfalls per Lkw in entsprechende Deponien.

4.7 Südtrakt

Der Schacht Südtrakt befindet sich an einer ganz besonders exponierten Stelle, direkt im Hauptverkehrsknotenpunkt am Hauptbahnhof Zürich. Über diesen Schacht, über welchen teilweise wieder Verkehrsflächen gelegt wurden, sind sämtliche Ver- und Entsorgungsarbeiten für den Bau des Schachtes selbst, dem Bau der Unterquerung des Südtraktes und der Bauhilfsmassnahmen im Zusammenhang mit dem Grossrohrschirm abzuwickeln. Infolge der verschärften Platznot, respektive nicht vorhandenen Installationsflächen, mussten zuerst die notwendigen Plattformen erstellt werden. Das absolut zentrale Schlüsselgerät am Schacht ist der Hochbaukran mit einer Hublast von 40 t in Schachtmitte. Alle An- und Abtransporte müssen „just in time“ in entsprechenden Behältern per Lkw erfolgen (Bild 12).

5 Erfahrungen

Bei einer innerstädtischen Baustelle wie dem Weinbergtunnel stellt nicht der eigentliche Tunnelbau, sondern die Logistik die grosse Herausforderung dar:

It was necessary to construct a corresponding unloading terminal in order to make best use of the journey times and the specified cycles. The shunting work required necessitated an approximately 30 m track extension on the Deutsche Bahn system. The track-installation work confronted all participants with particular challenges in obtaining the necessary approvals, permits, confirmations and clearances. A change of traction was necessary for the final leg of the trip, from Schaffhausen onward, on Deutsche Bahn metals, since this section is not electrified (Figure 10).

The lining-segment plant was installed and operated directly adjacent to the gravel plant and the unloading siding at Wilchingen. The aggregate was supplied directly from the gravel plant, keeping haulage routes short. It was originally planned to deliver the segments to Oerlikon by rail, tranship them there, and transport them to the Brunnenhof shaft-head by road. A re-routing of the escape/rescue tunnel made transshipment near Oerlikon impossible, and the segments were therefore brought directly from the Wilchingen plant to the site by road (Figure 11).

4.5 Gravel supply systems

During Logistics Phase 2, the gravel was delivered by rail as described, and taken to the corresponding points of use via belt conveyor, intermediate silos and, where necessary, wheeled vehicles. Delivery has continued by road since the completion of tunnelling in rock.

4.6 Removal of muck from subsidiary structures

All muck from transverse galleries and subsidiary structures was brought in skips to the foot of the Brunnenhof shaft and there raised to the shaft head using the shaft gantry crane, and temporarily stored there. It was then taken to the corresponding landfills by road. The excavated material from hydroshield tunnelling was firstly processed at the Brunnenhof separation plant, and then also taken to the corresponding landfills by road.

4.7 The south station zone

The south station shaft is at a particularly exposed location in the mainline junction at Zurich main station. It was necessary to perform all supply and disposal movements for construction of the shaft itself, the tunnel under the southern part of the station and the auxiliary work necessary in conjunction with the large pipe arch via this shaft, above which transport and transit routes were in some cases restored. It was necessary, firstly, to create the platforms required, due to the highly constricted space available and the lack of installation and working areas. The absolutely vital piece of equipment at the shaft is the tower crane, capable of lifting 40 t at the shaft centre. All inward and outward movements must be made “just in time” by road, using corresponding containers (Figure 12).

Supply and Disposal Concepts for Bulk Materials • The Weinberg Tunnel of the Zurich Cross Rail: An inner-city site with space at a premium



12 Baustelle Südtrakt – An- und Abtransport unter beengten Verhältnissen
The south station site – constricted space for incoming and outgoing movements

- Die anspruchsvolle Projektierung und Gestaltung der Gesamtanlage am Bahnhof Oerlikon, die reibungslose Integration der Schnittstellen zur SBB, zum Strassenverkehr und den Nachbarlosen, die engen Platzverhältnisse, spezielle Emissionsrichtwerte, spezielle Montageplanung und deren Ausführung sowie der beinahe reibungslose Betrieb stellten hohe Anforderungen an alle Beteiligten.
- Die einschränkenden Vorgaben aus der Ausschreibung haben ausser der freien Deponiewahl wenig unternehmerischen Spielraum zugelassen.
- Bewilligungen und Trasserreservierungen brauchen sehr viel Zeit, da die „rollende Strasse“ freigehalten werden muss und in der Flexibilität stark eingeschränkt ist.
- Schnittstellen müssen sauber vertraglich gelöst und geregelt werden, besonders wenn in der Logistikkette mehrere Unternehmen und Eigentümer beteiligt sind.
- Schon in der Konzeption und Planung ist auf die Betriebssicherheit der ganzen Logistikkette grosser Wert zu legen.
- Zwischenlager, respektive Bunker für die Sicherstellung des kontinuierlichen Bahntransportes respektive des Vortriebes müssen grosszügig dimensioniert werden, um gegenseitige Abhängigkeiten zu reduzieren.

Trotz der sehr grossen Investitionskosten für eine verhältnismässig kurze Zeit war und ist das gewählte System für den Weinbergtunnel die richtige Lösung und hat sehr gut funktioniert.

Literatur/References

- [1] Börker, M.; Ritzenthaler, U.; Zabel, T. (2008): Weinbergtunnel: Zentraler Abschnitt der Durchmesserlinie Zürich. Tunnel, 59–71.
- [2] Schlick, H. (1986): Gleisförderung im Tunnelbau. Baumaschine + Bautechnik (BMT), 423–430.
- [3] Schmid, W.; Moser, S.; Ceriani, M. (2010): Durchmesserlinie Zürich. Tagungsband Swiss Tunnel Congress, 60–70.

5 Experience

It is not actual tunnelling, but rather logistics, which present the greatest challenge at inner-city sites such as the Weinberg Tunnel:

- The complex planning and design of the entire system at Oerlikon station, trouble-free integration of interfaces with SBB, with road traffic and neighbouring lots, the constricted space, special emissions guide limits, special installation planning and its execution, and also virtually trouble-free operation, made great demands on all participants.
- The restrictive specifications in the invitation-to-tender left little room for entrepreneurial manoeuvre, with the exception of free choice of landfills.
- Approvals and path reservations take up a great deal of time, since the “rolling highway” must be kept free, and flexibility is thus severely diminished.
- Interfaces must be cleanly contractually defined and agreed, particularly in cases in which multiple contractors and owners are involved in the logistics chain.
- Great attention must be devoted, as early as the conception and planning phase, to the operational safety and reliability of the entire logistics chain.
- Temporary storage facilities, and/or bunkers for assurance of continuous rail haulage, and/or of tunnelling, must be generously dimensioned, in order to reduce interdependencies.

Despite the extremely high investment costs for a relatively short period of activity, the system selected for the Weinberg Tunnel is and remains the correct solution, and has functioned extremely satisfactorily.

Martin Frauenlob, Dipl. Bauing. HTL, Marti Bauunternehmung AG, Luzern/CH

Bahntunnel

Logistik bei Sanierungen von Bahntunneln

Die Projektumsetzung der Baustellenlogistik von Bahntunnelsanierungsprojekten resultiert aus dem Spannungsfeld zwischen den bahnbetrieblichen Gegebenheiten, dem Umfang der anstehenden Sanierungsarbeiten und dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster, in dem das Projekt umgesetzt werden muss. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen in einem allgemeinen Teil und anhand von ausgeführten Bauobjekten auf, wie die Baulogistik bei unter Betrieb stehenden Bahntunneln umgesetzt werden kann.

Rail Tunnels

Logistics for refurbishing projects of rail tunnels

The site logistics selected for rail tunnel refurbishing projects derive from the potential conflicts between operational rail circumstances, the scope of the work to be performed, and the “time frame” within which the project is to be completed. The following explanations show, in a general section, and then citing examples of completed projects, how site logistics can be implemented for projects in operational rail tunnels.

1 Einleitung

Auf einer Linienbaustelle ist die Wahl der Baustellenlogistik von zentraler Bedeutung und ist mitunter verantwortlich dafür, dass die vertraglich festgelegten Projektziele erreicht werden können. Da die Baustellenlogistik in der Kernkompetenz und Verantwortung des Unternehmers liegt und einen erheblichen Kostenfaktor im Bauprojekt darstellt, ist es sowohl für den Besteller wie auch für den Anbieter von entscheidender Bedeutung, dass die Ausschreibungsunterlagen das Bauprojekt eindeutig beschreiben und die notwendigen Randbedingungen für das zu wählende Bauverfahren und die Baulogistik klar, aber nicht überdefiniert sind.

2 Allgemeines

Die Evaluation einer optimalen Baustellenlogistik muss stufengerecht in den verschiedenen Projektphasen durch den jeweils verantwortlichen Vertragspartner vom Konzept bis zur detaillierten Ausarbeitung und Umsetzung studiert werden. Wer, wann, was in welcher Form und Verantwortung studieren muss, hängt dabei im Wesentlichen von der Art der Ausschreibung und der Vertragsform ab.

2.1 Bahnbetriebliche Randbedingungen

Bei Tunnelsanierungsbaustellen werden die bahnbetrieblichen Randbedingungen durch den Besteller in Abhängigkeit des Fahrplans um Jahre vor der eigentlichen Bauausführung festgelegt. Daraus resultieren, wie in **Bild 1** aufgezeigt

1 Introduction

Selection of site logistics is of central importance for any “linear” worksite, and is one of the factors determining whether the contractually specified project targets will be achieved. Since site logistics are part of the contractor’s core responsibilities and are also a significant cost factor in such projects, it is of decisive importance for both the client and the contractor that the invitation-to-tender documentation should describe the project unequivocally and that the boundary conditions necessary for the selection of methods and site logistics be clearly, but not excessively, defined.

2 General

The optimum site logistics must be evaluated in detail, taking account of the particular stage reached by the various contracting parties responsible in the various project phases, from the concept through to detailed design and implementation. Who must do this, when and in what form, depends essentially on the nature of the invitation-to-tender and the form of contract.

2.1 Operational rail boundary conditions

The operational rail boundary conditions for tunnel refurbishing sites are defined by the client years before actual work commences as a function of the operational timetable. Differing supporting provisions and differing demands on site logistics result from case to case, as is shown in **Figure 1**.

Tunnels ferroviaires

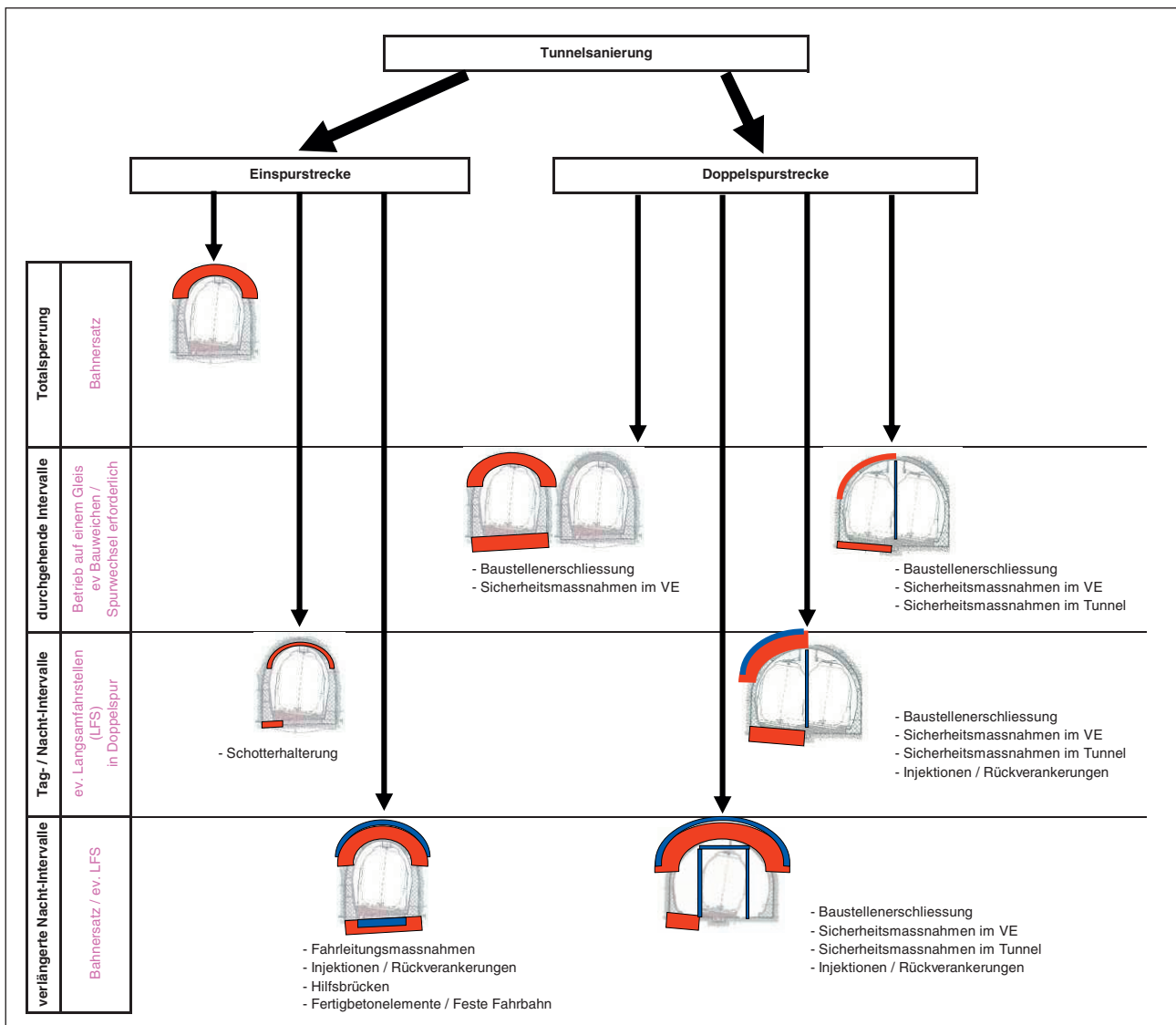
La logistique lors de réfection de tunnels en service

La mise en oeuvre de la logistique de chantier dans les projets de réfection de tunnels ferroviaires contient un potentiel de conflits entre les données du trafic ferroviaire, le volume des travaux de réfection prévus et le temps disponible pendant lequel les travaux doivent être réalisés. L'exposé suivant montre dans une partie générale ainsi qu'à l'appui de projets de construction réalisés, comment la logistique de chantier peut être mise oeuvre dans dans le cas de tunnels ferroviaires en service.

Gallerie ferroviarie

La logistica nei risanamenti in condizioni d'esercizio

La logistica di cantiere durante il risanamento di gallerie ferroviarie è il risultato di un delicato equilibrio fra le condizioni d'esercizio ferroviarie, l'estensione dei lavori di risanamento e il periodo di tempo in cui il progetto deve essere realizzato. Il presente contributo mostra, dapprima in maniera più generica ed in seguito tramite esempi concreti, come configurare la logistica di cantiere per il risanamento di un tunnel ferroviario in esercizio.



1 *Bahnbetriebliche Randbedingungen*
Boundary conditions for rail operation

wird, fallweise unterschiedliche Bauhilfsmassnahmen und Anforderungen an die Baulogistik.

2.1.1 Totalsperrung der Strecke

Eine komplette Streckenstilllegung kommt in der Regel nur bei untergeordneten Bahnlinien in Frage oder bei einer sehr kurzen Sperrzeit, da durch den Streckenunterbruch verschiedene unerwünschte Auswirkungen generiert werden:

- Fahrplananpassungen/Fahrplaninstabilität,
- Verschlechterung der Kundenzufriedenheit,
- Mehrkosten durch einen allfälligen Busersatz,
- Zugverspätungen/Anschlussprobleme,
- negative Beeinflussung des Image des Betreibers.

2.1.2 Teilspernung/Arbeiten im Intervall

Wann immer möglich wird man versuchen, die Bauausführung in den Zugpausen einzuplanen und dies sind in der Regel Nachtintervalle mit Nettoarbeitszeiten zwischen 3 und 8 Stunden. Dadurch kann der Zugbetrieb ungehindert und sicher aufrechterhalten werden.

Bei eingleisigen Streckenabschnitten steht demzufolge das Gleis am Tag dem Betrieb zur Verfügung und in der Nacht wird es als „Baugleis“ genutzt. Je nach Sanierungsumfang ist es jedoch nicht möglich, dass das Baugleis nach nur 6 Stunden Nettoarbeitszeit dem Bahnbetrieb wieder übergeben werden kann, da beispielsweise bei einer Sohlensanierung allein die Betonaushärtung mehr Zeit erfordern würde. Sanierungsprojekte mit dem Charakter einer Teilerneuerung im Gewölbe oder in der Tunnelsohle können aber trotzdem im Intervall umgesetzt werden, erfordern jedoch zusätzliche Bauhilfsmassnahmen, wie sie bereits bei Projekten erfolgreich eingesetzt worden sind:

- Schutzmassnahmen an der Fahrleitung,
- Schutztunnel,
- Injektionen und Rückverankerungen,
- Widerlagerunterfangungen,
- Einbau von Hilfsbrücken zur Überbrückung des Bauabschnittes,
- Einbau von Fertigbetonelementen allenfalls in Kombination mit einer festen Fahrbahn.

Auf mehrgleisigen Streckenabschnitten steht zudem die Möglichkeit offen, den Zugverkehr temporär umzuleiten und eingleisig zu führen, was faktisch zu einem einseitig gesperrten Streckenabschnitt führt. Dadurch können die Nettoarbeitszeiten deutlich vergrössert werden, auch wenn die Baustellenzulieferung meistens nur mit Einschränkungen und erhöhten Sicherheitsanforderungen über das Streckengleis erfolgen kann. Nachfolgend aufgeführt sind die wichtigsten Begleiterscheinungen, welche durch die Teilspernung ausgelöst werden:

- erfordert den Einbau von Spurwechseln und Bauweichen mit entsprechender Signalisation und einer allfälligen Gleisverschiebung,
- durch die Spurreduktion wird der Zugbetrieb behindert mit planbaren Auswirkungen auf die Fahrplanstabilität,

2.1.1 Total line closure

Complete closure of the line can generally be considered only in the rare case of extremely unimportant lines, or if the closure is to be of only very short duration, since interruption to operation of any line will cause a number of undesirable effects:

- timetable amendments/reduced timetable stability,
- impairment of customer satisfaction,
- extra costs for possible substitute bus services,
- poorer punctuality/missed connections,
- loss of image for the rail operator.

2.1.2 Partial closure/work during traffic-free periods

Whenever possible, attempts are made to schedule work for periods between train services, generally signifying night-time periods, producing net working times of between 3 and 8 hours. This means that train services can be safely maintained without disruption.

In the case of single-line routes, the track is available during the day for rail services, and is used as the “work track” at night. It may, depending on the scope of refurbishing, not be possible to return the track to rail operation after only 6 h of net working time, however, since concrete curing, in the case of refurbishing of the tunnel floor, for example, would require more time than this. Refurbishing projects taking the form of partial renewal of the lining or of the tunnel floor can nonetheless be implemented between rail operating times, but necessitate additional supporting provisions, such as have already been successfully implemented for various projects:

- safety precautions (overhead line equipment),
- safety tunnels,
- grouting and re-anchoring,
- underpinning of abutments,
- installation of temporary bridges over the site sector,
- installation of prefabricated concrete elements (only in combination with ballastless track).

In the case of multi-track routes, it is also possible to divert rail traffic temporarily, substituting in single-line operation, resulting in a route sector “closed on one side”. This permits significantly longer net working times, although deliveries to the site can generally be accomplished only with restrictions and with increased safety requirements for the operational track. The most important “side-effects” caused by partial closure are listed below:

- installation of crossovers and temporary points necessary, complete with corresponding signalling and possible track slewing,
- the reduced number of tracks obstructs rail traffic, with (anticipatable) implications for timetable stability,
- partial closure increases potential gross working time considerably,
- access to/preparation of the site can be accomplished, with restrictions, via the operational track,
- safety precautions, such as the construction of a safety

- durch die Teilspernung verlängert sich die mögliche Bruttoarbeitszeit deutlich,
- die Baustellenerschliessung kann mit Einschränkungen über das Betriebsgleis erfolgen,
- im Tunnel und in den Voreinschnitten sind Schutzmassnahmen wie das Erstellen eines Schutztunnels oder einer Trennwand vorzusehen.

2.2 Sanierungsumfang

Normalerweise fallen bei einer anstehenden Gewölbesanierung Baumassnahmen gemäss **Tabelle 1** an. Die bei einer „sanften“ Gewölbesanierung anfallenden Massnahmen sind in **Bild 2** dargestellt und die Massnahmen bei einer Teilerneuerung des Gewölbes sind im Beispielquerschnitt in **Bild 3** wiedergegeben.

2.2.1 Gewölbesanierung

Das Ziel einer typischen Gewölbesanierung ist, dass mit gezielten baulichen Massnahmen der Substanzerhalt des bestehenden Bauwerks garantiert werden kann. Dies führt zu geringeren Unterhaltskosten und zu einer vergrösserten Lebensdauer der gesamten Infrastruktur. Zudem wird die Sicherheit beim Tunnelunterhalt durch zusätzliche Schutzmassnahmen vergrössert und die Sicherheitsmassnahmen für den Ereignisfall umgesetzt. Ebenso werden allfällige Massnahmen zur Einhaltung des gültigen Lichtraumprofils umgesetzt.

2.2.2 Sohlensanierung

Untergrundsanierungen werden oftmals mit der anstehenden Oberbauerneuerung kombiniert, damit Synergien im Bauablauf und der Baulogistik genutzt werden können. Deren Hauptziele sind:

- Substanzerhaltung,
- Reduktion des Unterhalts,
- Kapazitätssteigerung,
- Vergrösserung des Lichtraumprofils,
- Erhöhung der Sicherheit.

tunnel or a dividing wall, are necessary in the tunnel and in the pilot cuts/approach cuttings.

2.2 Scope of refurbishing

Repair of the tunnel lining generally involves civil-engineering work as shown in **Table 1**. The work necessary for a “mild” lining repair is shown in **Figure 2**, the work for partial renewal of the lining for a specimen tunnel cross-section in **Figure 3**.

2.2.1 Lining repair

The aim of a typical lining repair is that of permitting assurance of the continued serviceability of the existing structure by means of systematic civil-engineering work. This achieves lower maintenance costs and enhances the operational life of the entire infrastructure. In addition, safety of tunnel maintenance is increased by means of additional safety recesses, and safety provisions in case of incident are implemented. Any work necessary for maintenance of the applicable clearance profile (“loading gauge”) is also taken.

2.2.2 Floor repairs

Underground repairs are frequently combined with renewal of the track bed, in order to permit exploitation of synergies in work scheduling and site logistics. The main aims here are:

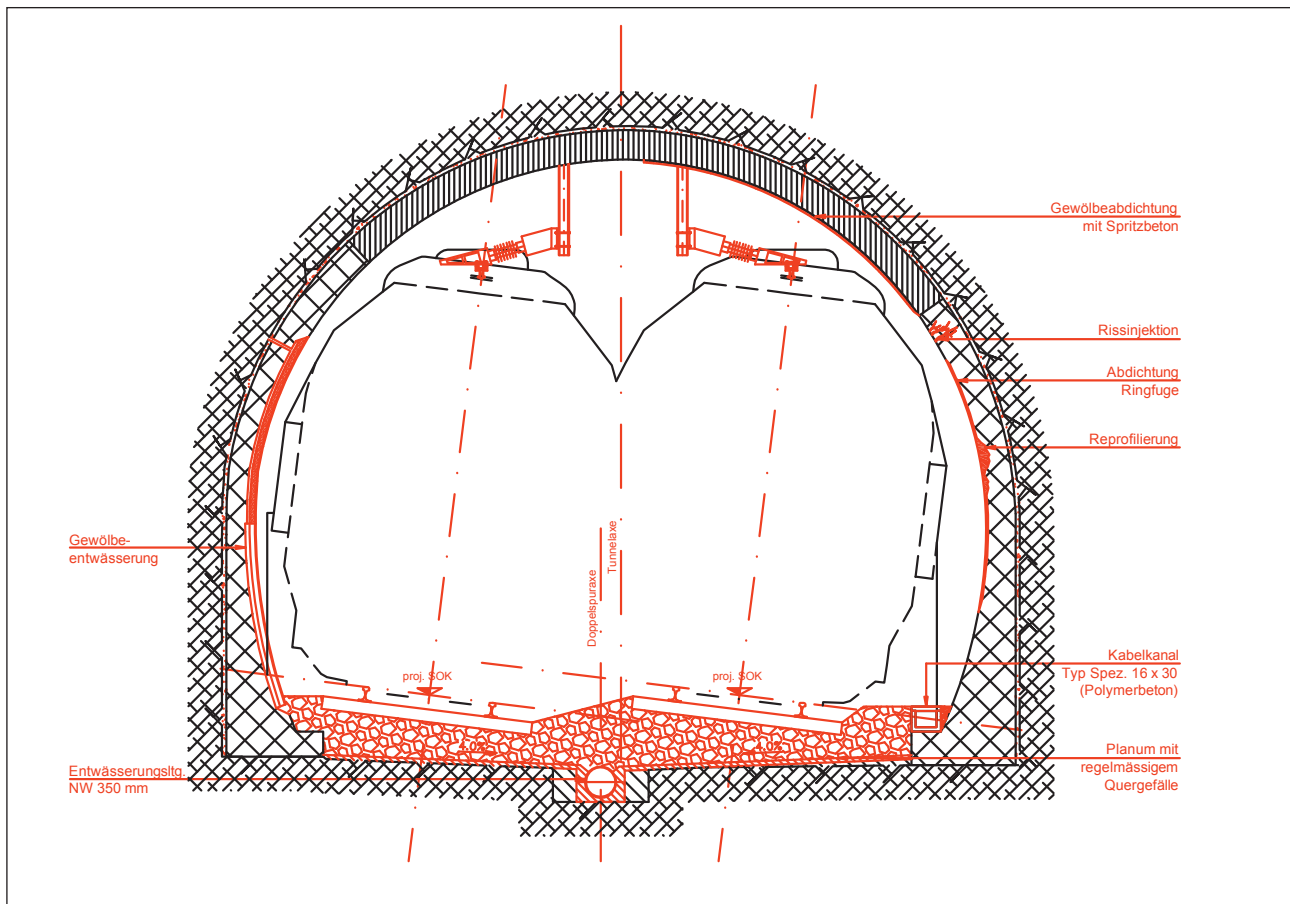
- repair and preservation of structure,
- reduction of maintenance input,
- enhancement of capacity,
- enlargement of the clearance profile,
- enhanced safety.

These aims can be achieved by means of the following civil-engineering work:

- lowering of the floor: to assure sufficient ballast depth and a clearance profile of adequate size,
- installation of a reinforced-concrete floor to seal the rock and drain off underground water,

Ursache Feststellungen	Wirkung Schadensbild	Hilfsmassnahmen	Massnahmen
Wassereintrittsstellen	Eiszapfenbildung Lichtraumprofileinschränkende Vereisungen Vereiste Tragwerke und Fahrleitungen Ausgewaschene, leere Fugen Schadhafte Mauerwerksteine durch chemischen Angriff Korrosion am Oberbaumaterial Durchnässung der Sohle, Schlammaufstösse Instabile Gleislage	Verkeilung der Fugen Stabilisierende Injektionen Perforationsschnitte Rückverankerung Sicherungsspritzbeton Einbaubögen/ Spriessung Widerlagerunterfangung Schotterhalterung Schutzwände Schutztunnel Hilfsbrücken	Mauerwerksreinigung Mauerwerksabtrag Abdichtende Injektionen Fugensanierung Flächenhafte Spritzbetonabdichtung Gespritzte oder geklebte Folien Ersatz von Spritzbetonschalen Gewölbeentwässerungen Mauerwerkersatz Mauerwerkschrämmungen Teilersatz Tunnelgewölbe Erstellung einer Betonsohle Herstellung der Tunnelentwässerung Sohlenabsenkung Sohlenbetongewölbe
Schadhafte Bausubstanz	Schlecht haftende Spritzbetonschalen Fehlende Mauerwerksteine		
Druckerscheinungen	Klaffende Mauerwerkfugen Fehlende Mauerwerksteine Mauerwerksabplatzungen Rissbildungen Gewölbedeformationen Sohlhebungen		
Profileinragungen	Unterschrittener elektrischer Schutzabstand Lademasseinschränkungen im Eckprofil Einragungen im Fensterraum und beim Fluchtweg		

Tabelle 1 Übliche Sanierungsmassnahmen bei Tunnelsanierungen
Table 1 Typical work involved in tunnel repairs



2 Beispielquerschnitt einer sanften Tunnelsanierung
 Specimen cross-section for a "mild" tunnel repair
 Quelle/source: Amberg Engineering AG

Diese Ziele können mit den folgenden baulichen Massnahmen umgesetzt werden:

- Sohlenabsenkung zur Sicherstellung einer genügend grossen Schotterdicke und eines genügend grossen Lichtraumprofils,
- Einbau einer bewehrten Betonsohle zur Felsversiegelung und Ableitung des Bergwassers,
- Ersatz oder Ergänzung von Sohlengewölben bei drückenden Felsschichten oder instabilen Untergründen,
- Unterfangung von Widerlagern in instabilen Felsabschnitten und bei Gleisabsenkungen,
- Erneuerung und Ergänzung der alten Tunnelentwässerung durch ein neues Entwässerungssystem,
- Erstellen von Kabelrohrblöcken/Kabelkanälen,
- Umsetzung des Sicherheitskonzeptes für den Betriebszustand.

2.3 Baustellenlogistik

2.3.1 Wahl der gleisabhängigen oder -unabhängigen Sanierung

Die Entscheidung, ob mit einem Bauzug oder strassenmässig installiert werden soll, kann nicht generell beantwortet werden. Je nach Gewichtung der nachfolgenden Kriterien kann man sich für eine gleisabhängige Installation entscheiden:

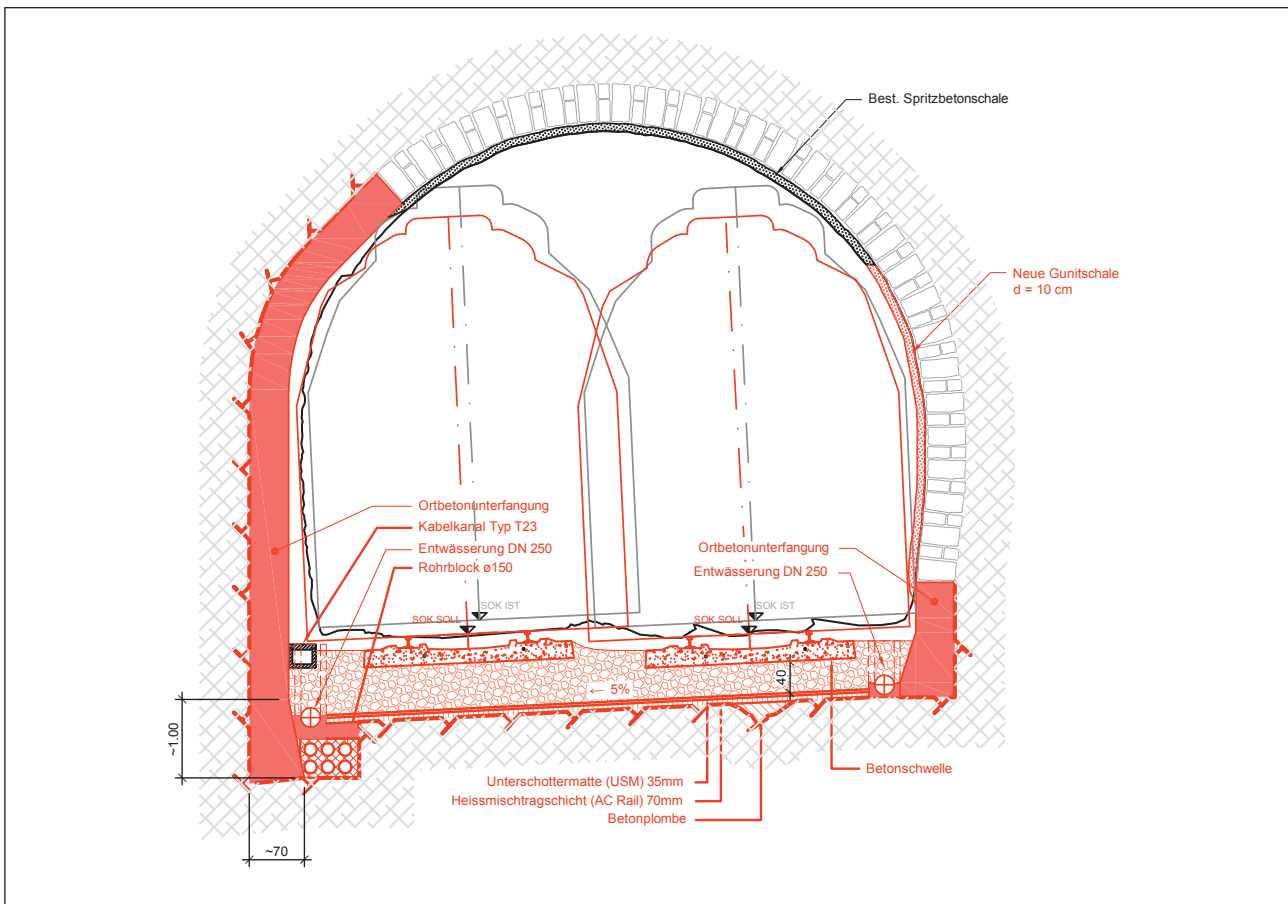
- replacement or augmentation of the floor lining in squeezing geologies and/or unstable ground,
- underpinning of abutments in unstable geologies and in case of lowering of track level,
- renewal and/or augmentation of the original tunnel drainage system by means of a new drainage system,
- creation/installation of cable duct blocks/cable ducts,
- implementation of the safety concept appropriate to contemporary operation.

2.3 Site logistics

2.3.1 Selection of rail-based/non-rail-based refurbishing

It is not possible to provide a universal answer to the question as to whether installation should use a worksite train or road infrastructure. A decision in favour of a rail-based worksite may be taken, depending on the importance attached to the following criteria:

- work during traffic-free periods or a partial closure, due to the high productivity achieved, and short changeover times,
- in case of long site access routes and tunnels, and/or of poor accessibility by road,
- in case of multiple, "serial" worksites, and only one site access route, with no passing points,



3 Beispielquerschnitt einer Tunnel-Teilerneuerung
 Specimen cross-section for a partial tunnel renewal
 Quelle/source: Amberg Engineering AG

- Für Arbeiten im Intervall oder einer Teilspernung aufgrund der hohen Arbeitsleistung und der kurzen Uminstallationszeit,
- bei langen Baustellenzufahrten und Tunneln sowie schlechter strassenmässiger Zugänglichkeit,
- bei mehreren seriellen Arbeitsstellen und nur einer Baustellenerschliessung ohne Ausweichstellen,
- bei hohen Sicherheitsanforderungen an die Arbeiten im Doppelspurntunnel und entlang von Betriebsgleisen,
- bei hohen Anforderungen an die Arbeitsausführung neben bestehenden Fahrleitungseinrichtungen und Hochspannungskabeln,
- wenn das Oberbaumaterial nicht ersetzt wird,
- wenn grosse Massenverschiebungen in kurzer Zeit erforderlich sind,
- bei kleineren oder ganz grossen Längsgefällen.

2.3.2 Gleisunabhängige Sanierung

Eine von der Schiene losgelöste Bauinstallation kommt tendenziell bei kleineren Tunneln bis einigen hundert Metern Länge in Frage, vorausgesetzt dass eine Strassenerschliessung ohne grössere Anpassungen bereits vorhanden ist. Deren Vorteile liegen in den geringeren Installations- und Betriebskosten sowie in der Flexibilität und Auswechselbarkeit.

- in case of high safety requirements for work in double-track tunnels and adjacent to operational tracks,
- in case of high demands made on execution of work close to existing overhead line equipment and high-tension cables,
- where the track bed material is not to be replaced,
- in cases in which large volumes must be moved in short times,
- in case of only slight – and extremely long – gradients.

2.3.2 Non-rail-based refurbishing

A site independent of rail facilities may tend to be considered in the case of shorter tunnels of up to a few hundred metres in length, provided road access is already available without the need for major modifications. The advantages here can be found in lower installation and operating costs, and also in greater flexibility and interchangeability.

3 Refurbishing of the Grenchenberg Tunnel

3.1 Project description

3.1.1 Introduction

The Grenchenberg Tunnel is located on the Biel-to-Delemont line, connecting the towns of Grenchen, in the south, and

3 Sanierung Grenchenbergtunnel

3.1 Projektbeschreibung

3.1.1 Einleitung

Der Grenchenbergtunnel liegt auf der Strecke Biel – Delemont und verbindet die Städte Grenchen im Süden und Moutier im Norden. Der ca. 100 Jahre alte Tunnel ist einspurig geführt und durchfährt auf seinen 8578 m Länge den Jura mit seiner bekannten schwierigen Geologie. Auf diesem Streckenabschnitt war eine veraltete Infrastruktur vorhanden und die Bausubstanz hatte partiell Schäden am Gewölbe und in der Sohle.

3.1.2 Ausschreibung

Das Projekt wurde als TU-Auftrag ausgeschrieben und beinhaltet die Ausarbeitung eines Bauprojekts, die Plangenehmigung beim BAV und die Bauausführung. Die Projektziele wurden zusammenfassend wie folgt umschrieben:

- Kapazitätssteigerung durch Erhöhung der Ausbaugeschwindigkeit,
- Erneuerung der bahntechnischen Ausrüstung,
- Substanzerhalt am Gewölbe und in der Sohle,
- Neubau der Quellwasserfassung Grenchen,
- Neubau der Quellwasserfassung Moutier,
- Umsetzung des Sicherheitskonzeptes.

Wie und in welcher Zeit das Projekt umgesetzt werden soll, wurde vom Bauherrn vollkommen offen gelassen. Es wurden jedoch zur Vergleichbarkeit der Angebote die folgenden einschneidenden Randbedingungen festgelegt:

- Der Umbau hat in nächtlichen Zugpausen von 8.5 Stunden zu erfolgen.
- Die Fahrzeitverluste des Zugbetriebes dürfen durch allfällige Langsamfahrstellen 90 sec nicht überschreiten und werden dem Angebot aufgerechnet.
- Die Kosten für zu spät erfolgte Streckenfreigaben werden dem Unternehmer verrechnet.
- Die Kosten für die benötigte Umbauzeit werden dem Angebot als Trassemietten aufgerechnet.

3.2 Projektumsetzung

3.2.1 Ausführungsprojekt Sohlensanierung

Im Tunnelnormalprofil in Bild 4 sind die wichtigsten baulichen Tunnelsanierungsmassnahmen dargestellt.

Mengengerüst der Massnahme:

- Gleisneubau 8600 m,
- Schotter 30'000 t,
- Aushub/Sohlenabsenkung 40'000 t,
- Sohlen-/Hüllbeton 10'000 m³,
- Sohlenentwässerung bis d = 630 mm, L = 17'000 m,
- Bergwasserfassungen 800 St.,
- Quellwasserfassungen 20 St.,
- Quellwasserleitung bis d = 450 mm, 7'000 m,
- Kabelkanäle mit Streckenkabel 8600 m,
- Sicherheitsausrüstungen 8600 m,
- Stromnetz 50 Hz, Kommunikation und Brandnotbeleuchtung 8600 m,

Moutier, in the north. This single-track tunnel is around 100 years old, 8578 m in length, and passes through the Jura, with its known difficult geology. This section of route featured an ageing infrastructure, and the fabric of the structure had suffered a degree of damage to the lining and the floor.

3.1.2 The tendering phase

The project was put out to tender as a full-scope contract, and included drafting of an implementation plan, obtainment of planning approval from the FOT, and implementation. The project targets were summarised as follows:

- enhancement of capacity via increase of design speed
- renewal of the rail equipment,
- preservation of the lining and floor fabric,
- new spring-water intake system at Grenchen,
- new spring-water intake system at Moutier,
- implementation of the safety concept.

How, and in what time, the project was to be implemented was left completely open by the client. The following critical boundary conditions were specified to permit comparability of bids:

- Conversion work was to be accomplished during the traffic-free night-time period of 8.5 hours.
- Delays to train services caused by any restricted-speed sections was not to exceed 90 sec, and would be charged against the bid.
- Costs incurred due to late reopening of the line would be charged to the contractor.
- The costs for the necessary changeover time would be charged against the bid as line rental.

3.2 Project implementation

3.2.1 Floor repair works

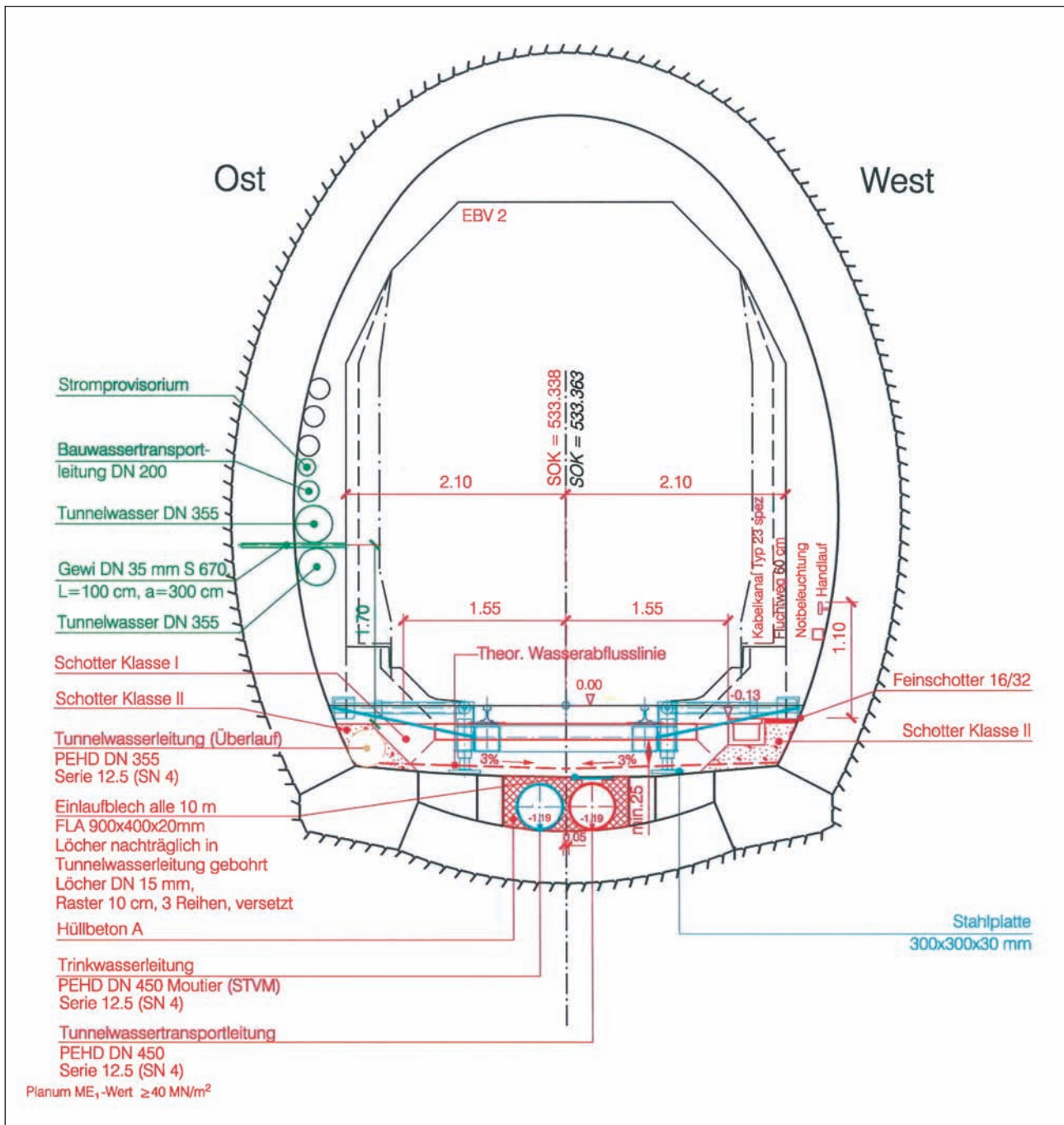
The most important tunnel repair work on the standard tunnel profile is shown in Figure 4.

Bill of quantities for this project:

- new track 8600 m,
- ballast 30,000 t,
- excavation/lowering of floor 40,000 t,
- floor/lining concrete 10,000 m³,
- floor drainage up to d = 630 mm, L = 17,000 m,
- underground-water intake systems 800 items,
- spring-water intake systems 20 items,
- spring-water piping up to d = 450 mm, 7000 m,
- cable ducts, including trackside cabling 8600 m,
- securing equipment 8600 m,
- 50 Hz power supply, communications and emergency fire lighting 8600 m,
- safety systems,
- lining repairs 6000 m²,
- auxiliary provisions (steel bridges): 13 x 650 m,
- drainage 650 l/s.

3.2.2 Working procedure for floor repair works

The key element in project implementation was selection of the implementation schedule and method, including the



4 Tunnelnormalprofil Grenchenbergtunnel (km 0 + 445)
 Standard tunnel profile, Grenchenberg Tunnel (km 0 + 445)
 Quelle/source: Marti Bauunternehmung AG

- Sicherungsanlagen,
- Gewölbesanierung 6000 m²,
- Bauhilfsmassnahmen Stahlbrücken: 13 x 650 m,
- Wasserhaltung 650 l/s.

3.2.2 Bauvorgang Sohlensanierung

Die Schlüsselstelle in der Projektumsetzung stellte die Wahl des Bauablaufs und der Bauverfahren mit Bauhilfsmassnahmen dar. So musste die gewählte Baulegistik die tägliche

auxiliary provisions. The site logistics selected would, for example, be required to assure daily supply to the various sites, and guarantee on-time re-opening of the line for rail operation. It was, in addition, critical to keep the construction period to a minimum, for cost reasons. Analysis of the project indicated that the principal works for floor repair could be completed in only 1 year. This necessitated performance of various works simultaneously, and correspondingly high average rates of completion:



5 Arbeitsabschnitt 1, Hilfsbrückeneinbau
Phase 1: installation of temporary bridges

Versorgung der verschiedenen Baustellen sicherstellen und die pünktliche Streckenfreigabe an den Zugbetrieb garantieren. Zudem war es aus Kostenüberlegungen entscheidend, die Bauzeit auf ein Minimum einzuschränken. Aus der Auftragsanalyse resultierte, dass die Hauptarbeiten der Sohlen-sanierung in nur 1 Jahr Bauzeit umgesetzt werden können. Dies erforderte verschiedene Parallelarbeiten und verlangte entsprechend hohe durchschnittliche Umbauleistungen:

- 33 m/d Sohlenanierung inklusive Oberbauerneuerung,
- 136 m/d Leitungsbau.

Damit diese Umbauleistungen realisierbar waren und gezielt umgesetzt werden konnten, mussten die einzelnen Arbeitsschritte aufgeteilt und als „Nachläuferbetrieb“ eingeplant werden. Die Arbeiten konnten so durch spezialisierte Arbeitsgruppen mit optimierter Baustellenlogistik im Wochentakt umgesetzt werden.

3.2.3 Bauablauf mit Einsatz von Hilfsbrücken

Die Bauarbeiten wurden in einem wiederkehrenden Wochentakt umgesetzt. An 5 aufeinanderfolgenden Tagen sind die Tiefbauarbeiten ausgeführt worden und an den letzten 2 Wochentagen wurde der Gleisneubau erstellt. Damit die Baumassnahmen in dem zur Verfügung stehenden Intervall mit ca. 7 Stunden Nettoarbeitszeit umgesetzt werden konnten, mussten über den ganzen Bauabschnitt Hilfsbrücken eingebaut werden, damit die Aushärtungszeit des Sohlenbetons eingehalten werden konnte und unvorhersehbare Sohlenanierungen, Gleisquerungen und Gebirgswasserfassungen in die laufende Planung und Arbeitsvorbereitung aufgenommen werden konnten.

Ein Wochenumbautakt gliederte sich in 3 Bauabschnitte, wobei im ersten Abschnitt mit einem Gleisbaukran 3 x 18 m lange Gleisjoche ausgebaut worden sind, der Schotteraushub und die Sohlenabsenkung wurden anschliessend mit Radladern und Baggern abgebaut und auf Niederflurwagen verladen und zum Schichtende musste die Gleislücke mit 18 m langen Stahlhilfsbrücken gemäss Bild 5 geschlossen werden. Nach umfangreichen Richt- und Sicherungsarbeiten wurde das Hilfsbrückengleis täglich von neuem dem Zugbetrieb übergeben.

- 33 m/d floor repair, including replacement of track bed,
- 136 m/d cable installation.

It was necessary, in order to permit systematic implementation and achievement of these targets, to subdivide the individual working operations, and plan them as “back-up operations”. It would then be possible for specialised work teams employing optimised site logistics to perform the work on a weekly cycle.

3.2.3 Working sequence, using temporary bridges

The work was implemented on a weekly cycle. The civil engineering work was performed on 5 successive days, and the new track installed on the final 2 days. It was also necessary to install temporary bridges across the entire sector, in order to permit adherence to the curing time for the floor concrete and the inclusion of unforeseen floor repairs, track crossings and ground water intake systems in ongoing planning and work preparation, to ensure that the works could be completed in the available period, with its around 7 h net working time.

One weekly working cycle was subdivided into 3 sectors, 3 x 18 m long track panels being removed in the first time sector using a track-laying crane, the excavation of gravel and lowering of the floor then being performed using wheel loaders, loading on to low-loader rail vehicles, while the gap in the track would be closed at the end of the shift, using 18 m long temporary steel bridges as shown in Figure 5. After extensive alignment and securing work, the track on the temporary bridges was again re-opened for rail operation each day.

The second, approximately 180 m long, following sector was used as the “buffer zone” for track occupation by the muck trains. It was also possible, thanks to the temporary bridges installed, to assess the exposed floor and hydrological conditions in this track sector, and incorporate these findings into implementation planning. This permitted the definition and planning of the correct activity at the correct location 2 days in advance. This, for its part, had a direct influence on the pipe fabrication activities taking place during the daytime, producing 100 m long pipelines in one piece with welded on cross-connections, shafts and connecting sockets. Figure 6 shows a laden pipe-installation train being prepared during the day shift for use by the night shift.

The actual floor repairs were performed in the third sector (Figure 7). As the first sector extended each day by 54 m, it was necessary to complete refurbishing of 270 m of tunnel in the third sector by the end of the week.

Following the civil-engineering work, the temporary bridge, by now 600 m in length, was reduced by 270 m, with simultaneous renewal of the track bed, in the context of the track installation work performed during the final 2 weekend shifts.



6 Rohrverlegezug auf der Rohrfertigungsstrasse
Pipe-installation train at the pipe-fabrication station

Der zweite, ca. 180 m lange nachfolgende Bauabschnitt diente als Pufferzone für die Gleisbelegung durch die Aushubzüge. Zudem konnte man in diesem Gleisabschnitt dank der eingebauten Hilfsbrücken die freigelegte Sohle und hydrologischen Verhältnisse beurteilen und in die Ausführungsplanung einfließen lassen. Mit 2 Tagen Vorlauf konnten so die richtigen Massnahmen am richtigen Ort definiert und eingeplant werden. Diese hatten wiederum einen direkten Einfluss auf die am Tag laufende Rohrproduktion, welche 100 m lange Rohrstränge in einem Stück herstellte, mit angeschweissten Querungen, Schächten und Anschlussstutzen. Wie ein beladener Rohrverlegezug in der Tagschicht für die Nachtschicht bereitgestellt worden ist, ist in Bild 6 dargestellt.

Im dritten Abschnitt wurden die eigentlichen Sohlensanierungsmassnahmen (Bild 7) umgesetzt. So wie sich der erste Abschnitt täglich um 54 m vergrösserte, mussten im dritten Abschnitt Ende der Woche 270 m Tunnel fertig saniert sein.

Im Anschluss an die Tiefbauarbeiten konnte in den letzten 2 Wochenendschichten mit den Gleisbauarbeiten die auf 600 m Länge angewachsene Hilfsbrücke um 270 m rückgebaut werden, bei gleichzeitiger Erneuerung des Oberbaus.

3.2.4 Leitungsbau/Wasserhaltung

Das Taktverfahren und die hydrologischen Verhältnisse stellten an den Leitungsbau besondere Anforderungen. Die Ausführungsprojektierung hatte auf der Basis von Abflussmessungen ergeben, dass auf der Seite Moutier mit 680 l/s Wasseranfall zu rechnen ist. Auf der Seite Grenchen musste man gar von 1230 l/s ausgehen. Dies führte zu einer Leitungsdimensionierung auf der Basis von 680 l/s bei einer Jährlichkeit von 4 Jahren und resultierte in Rohrdurchmessern von bis zu 630 mm. Die Leitungsführung war insofern komplex, da neben den Haupttransportleitungen beidseitig Sickerleitungen auf verschiedenen Niveaus zu versetzen waren und unzählige Klutwasser mit grossen Ergiebigkeiten direkt an die Tunnelentwässerung anzuschliessen waren. Zudem musste das zweite Leitungsnetz der Trinkwasserversorgung mit Dückern von den Quellwasserfassungen zu den



7 Arbeitsabschnitt 3, Sohlensanierungsarbeiten
Phase 3: floor repair work

3.2.4 Pipe installation/drainage

This cyclical procedure, combined with the hydrological conditions, made particular demands on pipe installation. Installation planning had indicated, on the basis of outflow measurements, that 680 l/s of water should be anticipated at the Moutier end. No less than 1230 l/s were to be expected at the Grenchen end. This resulted in pipe dimensioning on the basis of 680 l/s for a probability of occurrence of once every 4 years, and produced individual pipe diameters of up to 630 mm. Pipe alignment was complex, since it was necessary to install not only the main trunk lines, but also seepage water drain pipes at various levels, and connect innumerable fissure-water influxes of great flow rates directly to the tunnel drainage system. In addition, the second piping system for the drinking-water supply had to be aligned, via culverts, from the spring-water intake system to the transmission lines. It was necessary, prior to installation of the new pipes, to install a water-regulation system, due to the extremely high water flows. This comprised 3 mobile water-intake structures with a capacity of 270 l/s, which diverted the water via 3 pipelines ($d = 355$ mm). It was also necessary to install power supply across several thousand metres. The entire water-regulation system had to be relocated on a fortnightly cycle as work progressed. This involved pipe repositioning activities of 1200 m/shift.

A pipe-installation train, as shown in Figure 8, with 10 synchronously controlled handling arms, was developed for pipe-installation work, in order to permit integration of this activity into the overall cyclical schedule. Welded pipelines of 100 m in length, with diameters up to 630 mm, were thus repositioned within an extremely short time.

3.2.5 Lining repair schedule

The worksite for the lining-repair unit was structured in such a way that the 6 "serial" worksites could move independently and that the individual working operations in the "back-up system" could be accomplished without shunting. A typical lining-repair train weighs 400 t and is drawn by 2 traction units. The individual worksites are, ideally, independently supplied with power, air, water and building



8 Arbeitsabschnitt 3, Rohrverlegearbeiten
Phase 3: pipe installation work

Transportleitungen geführt werden. Wegen der sehr grossen Wassermengen musste vor dem Leitungsneubau eine Wasserhaltung installiert werden. Diese sah 3 mobile Wassereinlaufbauwerke mit einer Kapazität von 270 l/s vor, welche das Wasser über 3 Rohrleitungen ($d = 355 \text{ mm}$) abführte. Zudem musste die Stromversorgung über mehrere tausend Meter zugeführt werden. Mit dem Baufortschritt musste die gesamte Wasserhaltung im 2-Wochentakt umgelegt werden. Dabei wurden Rohrumsetzleistungen von 1200 m/Schicht notwendig.

Damit der Leitungsbau in das gesamte Taktverfahren integriert werden konnte, entwickelte man für die Rohrverlegearbeiten einen Rohrverlegezug gemäss Bild 8 mit 10 synchron gesteuerten Versetzarman. Fertig verschweisste Rohrstränge von 100 m Länge und Durchmesser bis 630 mm konnten so innert kürzester Zeit versetzt werden.

3.2.5 Bauvorgang Gewölbesanierung

Der Bauzug der Gewölbesanierungseinheit war so aufgebaut, dass sich die 6 seriellen Arbeitsstellen unabhängig verschieben konnten und die einzelnen Arbeitsschritte im „Nachläufersystem“ ohne Rangiermanöver ausgeführt



9 Gewölbesanierungskomposition mechanische Sanierung
Lining-repair train formation, mechanical repair

materials, and must apply special construction methods, to permit adherence to the specified profile accuracy and non-destructive removal of masonry. Precautions must also be taken to ensure that the clearance profile (loading gauge) is adhered to with certainty for movements, and that work alongside operating tracks can be performed without impinging on the tunnel profile. The self-propelled repair unit, with integrated floor protection for the jet-cutting and shotcreting work, is shown in Figure 9, the self-propelled all-round telescopic working platform with integrated safety wall in Figure 10.

4 Refurbishing of the Adler Tunnel

4.1 Project description

4.1.1 Introduction

The Adler Tunnel carries the SBB's Olten-to-Basel line between the towns of Muttenz, in the north, and Liestal, in the south. This 15-year-old tunnel is of double-track configuration, 5300 m in length, and passes through the "Tabel Jura". The tunnel bore exhibited lining damage across a length of around 40 m, caused, on the one hand, by the swelling geology, and by the disintegrated roof zone, on the other.

4.1.2 From project idea to implementation

The project idea was defined on the basis of a project-competitor competition. The project selected was required to fulfil the following main aims:

- complete replacement of the damaged sector of lining,
- renewal of the track bed,
- reinforcement of the tunnel sector, to permit accommodation of the swelling pressures, and the resultant deformations, by the fabric of the structure for a service-life of 90 years,
- single-line performance of the repairs, with continuation of rail operation on the adjacent track,
- shortest possible completion time.



10 Arbeitsbühne mit Schutzwand
Work platform, showing safety wall

werden konnten. Ein typischer Gewölbepanierungszug hat ein Gewicht von 400 t und wird von 2 Traktionen gezogen. Die einzelnen Arbeitsstellen sind idealerweise autark mit Strom, Luft, Wasser und Baumaterial versorgt und müssen spezielle Baumethoden berücksichtigen, damit die Profilingenauigkeit eingehalten und der schonende Mauerwerksabtrag umgesetzt werden kann. Zudem sind Vorkehrungen zu treffen, damit das Ladeprofil bei Überfahrten gesichert eingehalten wird und die Arbeiten neben Betriebsgleisen profillfrei umgesetzt werden können. Die selbstfahrende Sanierungseinheit mit integriertem Sohlenschutz für die Jet-Fräs- und Spritzbetonarbeiten ist in **Bild 9** dargestellt, und die selbstfahrende auf alle Seiten teleskopierbare Arbeitsbühne mit integrierter Schutzwand ist in **Bild 10** abgebildet.

4 Sanierung Adlertunnel

4.1 Projektbeschreibung

4.1.1 Einleitung

Der Adlertunnel liegt auf der SBB-Strecke Olten–Basel und verbindet die Städte Muttenz im Norden und Liestal im Süden. Der 15-jährige Tunnel ist zweispurig geführt und durchsticht auf seinen 5300 m Länge den Tafeljura. Die Tunnelröhre wies über eine Länge von ca. 40 m Schäden am Gewölbe auf, welche von der quellfähigen Geologie einerseits und dem aufgelockerten Firstbereich andererseits herrührten.

4.1.2 Von der Projektidee zum Bauprojekt

Die Projektidee wurde auf der Basis eines Planer-Projektwettbewerb ermittelt. Das Bauprojekt musste dabei die folgenden Hauptziele erfüllen:

- Totalersatz des schadhafte Gewölbeabschnittes,
- Erneuerung des Oberbaus,
- Verstärkung des Tunnelabschnitts, sodass die Quelldrücke und die daraus resultierenden Deformationen durch die Bausubstanz über eine Lebensdauer von 90 Jahren aufgenommen werden können,
- die Sanierung soll eingleisig ausgeführt werden bei Aufrechterhaltung des Zugbetriebs auf dem Nachbargleis,
- möglichst kurze Bauzeit.

4.1.3 Projektumfang/Sanierungskonzept

Im Sohlenbereich sind potenziell quellfähige Gipskeuperschichten vorhanden, welche Quelldrücke entwickeln können. Der Firstbereich ist durch einen alten Tagbruch aufgelockert, welcher beim Tunnelneubau entstanden ist, und vermag die Kraftumlagerungen aus den Sohlenhebungen nicht zu übernehmen. Daraus resultieren Deformationen im Gewölbe, Rissbildungen im Tunnelinnenring und Gleishebungen um mehrere Zentimeter.

Das Sanierungskonzept sieht vor, dass die künftig zu erwartenden Quelldrücke über symmetrisch angeordnete Sohlenwiderlager aufgenommen werden können, welche ihrerseits mit permanenten Ankern zurückgebunden werden. Durch die aufgebrachte Vorspannkraft vergrößert sich der

4.1.3 Project scope/repair concept

The floor zone features potentially swelling Gypsum-Keuper strata which are capable of generating swelling pressures. The roof zone has been disturbed by an old surface cave-in which occurred during construction of the tunnel, and is not capable of absorbing the stress redistribution patterns resulting from heaving of the floor. The consequences are deformations of the lining, cracking in the inner tunnel ring, and vertical distortions of the tracks by up to several centimetres.

The repair concept provides for the swelling pressures anticipated in future to be absorbed by symmetrically located floor abutments which, for their part, are anchored by means of permanent rock bolts. The shear resistance in the rock strata is increased by the prestressing force applied. Passive resistance can therefore be established in the surrounding rock in case of future pressure phenomena. The civil-engineering repair provisions are shown in the standard profile in **Figure 11**.

The following civil-engineering work was planned for attainment of the project targets:

- stage-by-stage removal of the side sectors of the tunnel lining,
- creation of 22 floor abutment niches,
- installation of 88 permanent rock bolts of $l = 18 \text{ m}$, $P_o = 1529 \text{ kN}$,
- installation of 179 permanent micropiles of $l = 15 \text{ m}$, $R_i = 3458 \text{ kN}$,
- replacement of the inner lining ring,
- fire-safety provisions,
- repair of the floor.

4.2 Project implementation

4.2.1 Lining repair procedure

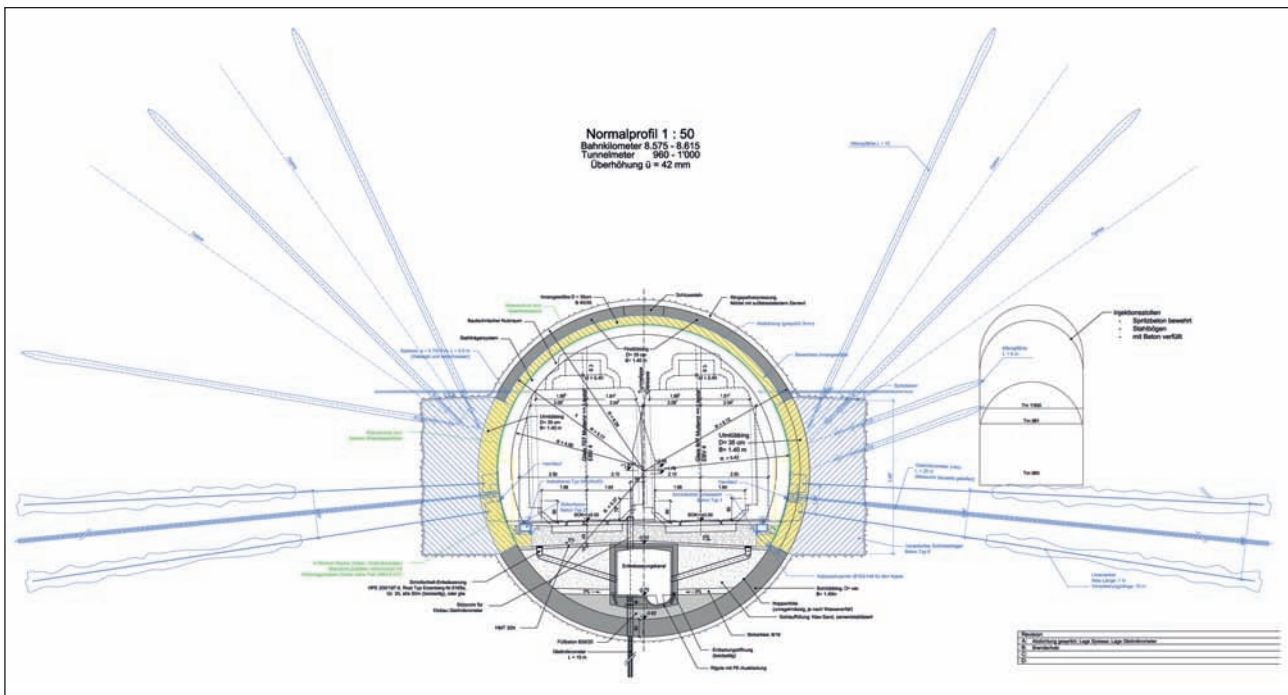
The repair work was performed in 2 phases, with 1 track available for the work, and 1 track for rail traffic, in each case. For statics reasons, removal and replacement of the floor abutments and the lining was to be performed on a "chessboard" pattern, in 11 horizontal and 2 vertical stages. The side recesses were to be created first using the back-step procedure, and then back anchored. The lining could then be excavated, sealed and concreted in a second phase.

4.2.2 Safety wall

It was necessary to construct special walls for safety reasons, both at the transshipment yard and the worksite. In addition to its purely protective function, the safety wall at the worksite was also integrated into the bracing concept for the single-face floor abutment and lining formwork.

4.2.3 Installation of steel bridges at the worksite

By way of preparation, the 2.5 m wide running track formation was removed at the floor level and replaced by 2 m wide temporary bridges, in order to optimise the extremely constricted available space and avoid damage to the track bed material. The rigid steel frames of the temporary bridges



11 Tunnelnormalprofil Adlertunnel
 Standard tunnel profile, Adler Tunnel
 Quelle/source: Basler & Hofmann AG, Ingenieure, Planer und Berater, Zürich

Scherwiderstand in den Felsschichten. Damit kann sich bei künftigen Druckercheinungen im umliegenden Gebirge ein passiver Widerstand aufbauen. Die baulichen Sanierungsmassnahmen sind im Normalprofil in Bild 11 dargestellt.

Zur Erreichung der Projektziele wurden folgende bauliche Massnahmen geplant:

- etappierter Abbruch der Tunnelschalen im Ulmenbereich,
- Neubau von 22 Sohlwiderlagernischen,
- Erstellung von 88 permanenten Ankern mit $l = 18 \text{ m}$, $P_o = 1529 \text{ kN}$,
- Erstellung von 179 permanenten Mikropfählen mit $l = 15 \text{ m}$, $R_i = 3458 \text{ kN}$,
- Ersatz des Gewölbeinnenringes,
- Brandschutzmassnahmen,
- Sohleninstandstellung.

4.2 Projektumsetzung

4.2.1 Bauvorgang Gewölbesanierung

Die Sanierungsarbeiten erfolgen in 2 Phasen, wobei jeweils 1 Gleis für die Arbeiten und 1 Gleis für den Zugbetrieb zur Verfügung steht. Der Abbruch und Neubau der Sohlwiderlagerkörper und des Gewölbes wird aus statischen Überlegungen in 11 horizontalen Etappen und 2 vertikalen Etappen schachbrettartig ausgeführt. Dabei werden zuerst die Ulmennischen im Pilgerschrittverfahren erstellt und rückverankert. In einer zweiten Phase kann das Gewölbe ausgebrochen, abgedichtet und betoniert werden.

were also integrated into the bracing concept for the lining formwork.

4.2.4 Site logistics/worksite train

For safety reasons, only a worksite train could be considered for the site logistics, since the site was accessible only via the “work track” adjacent to the running track. The power, water and air supplies were permanently installed at the worksite. A low-loader rail vehicle shuttle was used for movements of building materials, muck and construction machinery to and from the site.

This shuttle system permitted deployment of the correct equipment at the correct time and correct place, since the available space, of $40 \times 3 \text{ m}$, was extremely constricted, and on-site passing was not possible. A movable work platform which permits parallel work above the construction machinery was also installed, achieving further working flexibility. The safety wall separating off the running track, the movable work platform installed above the worksite train, and the steel formwork installed in the tunnel lining, are shown in Figure 12.

A self-propelled diamond-blade cutter was used, in order to ensure that the horizontal, vertical and radial lining cutting operations could be performed totally according to plan. The cutter shown in Figure 13 is equipped with a multi-blade hub and can be fitted with up to 5 diamond-tipped blades of diameters up to 1500 mm . The cutting arm is hydraulically telescopic and rotatable, and can be moved by up to 10 m

4.2.2 Bauhilfsmassnahme Schutzwand

Sowohl beim Umschlagplatz wie auch bei der Arbeitsstelle mussten aus Sicherheitsgründen Schutzwände erstellt werden. Neben der reinen Schutzfunktion hat man die Schutzwand bei der Arbeitsstelle ins Spriesskonzept der einhäuptigen Sohlwiderlager- und Gewölbeschalung integriert.

4.2.3 Stahlbrückeneinbau bei der Arbeitsstelle

Als weitere Vorarbeit hat man im Sohlenbereich das 2.5 m breite Betriebsgleis rückgebaut und durch 2 m breite Hilfsbrücken ersetzt, damit die sehr engen Platzverhältnisse optimiert werden konnten und das Oberbaumaterial keinen Schaden nimmt. Zudem wurde der steife Hilfsbrückenstahlrahmen ebenfalls ins Spriesskonzept der Gewölbeschalung integriert.

4.2.4 Baustellenlogistik/Bauzug

Da die Baustelle nur über das Arbeitsgleis neben dem Betriebsgleis erreicht werden kann, kam aus Sicherheitsgründen für die Baustellenlogistik nur ein Bauzug infrage. An der Arbeitsstelle fest installiert wurde die Strom-, Wasser- und Luftversorgung. Für den Baumaterialantransport/-abtransport, Aushubabtransport und die Baumaschinenüberführungen kommt ein Niederflerbahnwagen im Shuttlebetrieb zum Einsatz.

Dieser Shuttlebetrieb ermöglicht, dass die richtigen Geräte zur richtigen Zeit am richtigen Ort eingesetzt werden können, da die Platzverhältnisse von 40 x 3 m nur sehr beengt sind und ein Abkreuzen auf der Baustelle nicht möglich ist. Als weitere Flexibilisierung im Arbeitsablauf wurde eine verschiebbare Arbeitsplattform eingerichtet, welche Parallelarbeiten über den Baumaschinen möglich macht. In Bild 12 dargestellt ist die Schutzwand zum Betriebsgleis, die über dem Bauzug installierte verschiebbare Arbeitsbühne und die im Gewölbe versetzte Stahlschalung.

Damit die horizontal, vertikal und radial verlaufenden Gewölbebrüche plangenaue ausgeführt werden können,



12 Schutzwand, verschiebbare Arbeitsbühne, Gewölbeschalung
Safety wall, movable work platform, lining formwork

longitudinally on the integrated slideway. This permits cuts in all directions and positions at the push of a button.

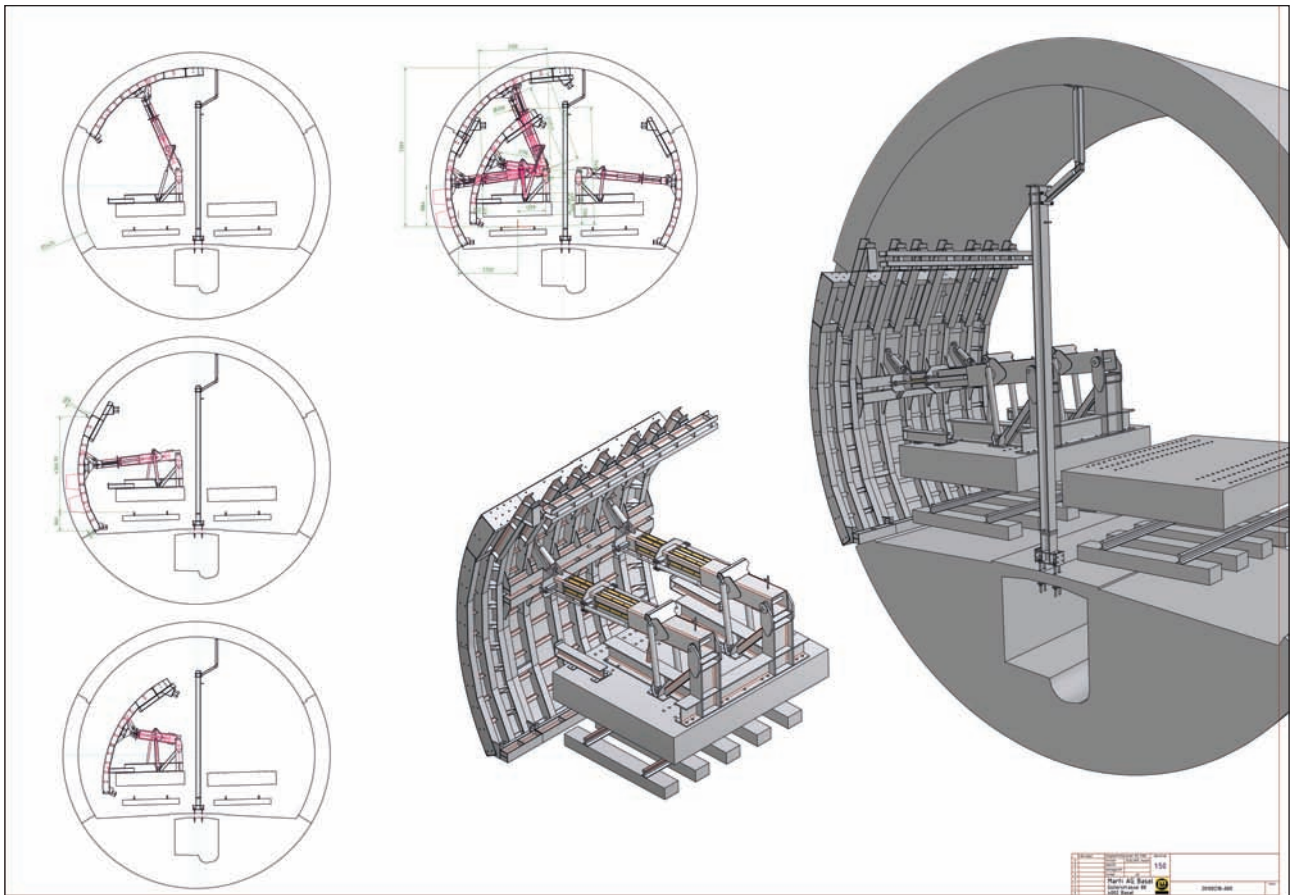
The rock-bolts and micropiles were drilled using a drilling carriage installed on a rail-mounted excavator. The 800 kg micropiles were installed overhead using a mobile drilling carriage, as shown in Figure 14.



13 Gewölbesanierungskomposition Tunnelfräse
Lining-repair train formation, tunnel cutter



14 Ankerversetzlafette
Mobile drilling carriage used for setting of rock bolts



15 Schalungs- und Bewehrungskorbversetzwagen
Formwork and reinforcement-cage transporter car
Quelle/Source: Marti AG, Basel

kommt eine selbstfahrende Diamantblattfräse zum Einsatz. Die Fräse gemäss Bild 13 ist mit einer Mehrfachblattnabe ausgerüstet und kann bis 5 Diamantblätter bis zu einem Durchmesser von 1500 mm aufnehmen. Der Schneidarm ist hydraulisch teleskopier- und drehbar und kann sich auf der integrierten Verschiebebahn in Längsrichtung um 10 m verschieben. Dadurch können Schnitte in allen Richtungen und Lagen auf Knopfdruck ausgeführt werden.

Die Anker und Mikropfahlarbeiten werden mit einer auf einem Gleisbagger aufgebauten Bohrlafette gebohrt. Die über 800 kg wiegenden Mikropfähle werden mit einer Versetzlafette gemäss Bild 14 über Kopf versetzt.

4.2.5 Schalungs- und Bewehrungskonzept

Aus den vorhandenen engen Platzverhältnissen und dem ambitionierten generellen Bauprogramm resultierte, dass die Schalungs- und Bewehrungsarbeiten nicht konventionell ausgeführt werden können. Für die weitere Ausarbeitung des Schalungs- und Bewehrungskonzeptes wurden die folgenden Randbedingungen definiert:

- Die 4 x 7 m grosse Stahlschalung muss profilmfrei in einem Stück vom Umschlagplatz zur Arbeitsstelle überführt werden können.

4.2.5 Formwork and reinforcement concept

The constricted available space and the ambitious general schedule meant that the formwork and reinforcing work could not be performed conventionally. The following boundary conditions were therefore defined for further planning of the formwork and reinforcement concept:

- It had to be possible to move the 4 x 7 m steel formwork in 1 piece from the transshipment yard to the worksite without impinging on the tunnel profile.
- The moveable single-face steel formwork had to be braced in such a way that unobstructed passage of a worksite train past or under the formwork would be possible at any time.
- The formwork pressure is based on hydrostatic concrete pressure plus grouting pressure.
- It had to be possible to install/move the formwork and the reinforcement cages using the same handling arm.
- The maximum movement time, including all extras, such as anchoring recesses, etc., could not exceed 1 shift.
- An early strength of 40 N/mm² after 24 h was required for the SCC, due to the short stripping time (overhead).

These criteria resulted in an approximately 25 m² large, radially vaulted steel formwork which can be mounted to cover the entire lining by means of a hydraulic handling arm. This

- Die versetzte einhäuptige Stahlschalung muss so abgESPRESST sein, dass ein Bauzug jederzeit neben oder unter der Schalung freie Durchfahrt hat.
- Der Schalungsdruck basiert auf einem um den Verpressdruck vergrößerten hydrostatischen Betondruck.
- Im Gewölbe muss die Schalung wie der Bewehrungskorb mit demselben Versetzarm eingebaut/versetzt werden können.
- Die maximale Umsetzzeit mit allen Einlagen wie Ankerischen etc. darf höchstens eine Schicht betragen.
- Bedingt durch die kurze Ausschfrist (Überkopf) wurde für den SCC-Beton eine Frühfestigkeit von 40 N/mm² nach 24 h festgelegt.

Aus diesen Grundlagen resultierte eine ca. 25 m² grosse, radial gewölbte Stahlschalung, welche mit einem hydraulischen Versetzarm über das ganze Gewölbe montiert werden kann. Zugleich wurde der auf einem Panzerwagen montierte Arm ebenso zum Versetzen der Bewehrungskörbe ausgelegt. Die Längsverschiebung des ganzen Versetzwagens erfolgt mit dem Bauzug und die Kinematik des Armes erlaubt ein millimetergenaues und schnelles Versetzen der Stahlschalung. Wie der Schalungs- und Bewehrungskorbversetzwagen konzipiert ist, ist in Bild 15 dargestellt.

5 Schlussfolgerungen

Die optimale Baustellenlogistik ist nicht nur Mittel zum Zweck für den Unternehmer, sondern vielmehr ein entscheidendes Element im gesamten Projekt zur garantierten Erreichung der gemeinsamen Projektziele:

- Einhaltung eines sicheren Baubetriebs,
- Einhaltung des Bauendtermins,
- Einhaltung der Projektkosten,
- Einhaltung der Bauwerksqualität.

Der Weg zum Ziel führt bei Tunnelanierungsprojekten über eine optimale Baulogistik und diese kann nur mit einer guten Kommunikation unter den Projektpartnern Bauherr – Planer – Unternehmer gefunden werden.

arm, mounted on an armoured site vehicle, was simultaneously also designed for movement of the reinforcement cages. Longitudinal movement of the entire transporter car is accomplished using the worksite train, while the kinematics of the arm permit millimetre accuracy and rapid movement of the steel formwork. Figure 15 shows the conception for the formwork and reinforcement-cage transporter car.

5 Conclusions

Optimum site logistics constitutes not only a means to an end for the contractor, but is, instead, a decisive element in guaranteeing achievement of the following joint project targets within the project as a whole:

- adherence to safe and reliable operation,
- adherence to the completion date,
- adherence to project costs,
- adherence to work quality.

The road to success in tunnel repair projects runs via optimum site logistics, and the latter can be achieved only via good communications between the project partners, the client, the planners and the contractors.

Franz Koch, Dipl. Kultur-Ing. ETH/SIA, ASTRA, Zofingen/CH

Matthias Neidhart, Dipl. Bau-Ing. ETH, Lombardi AG, Luzern/CH

Gesamterneuerung Cityring Luzern

Baustellenlogistik, Sicherheit und Kommunikation als wesentliche Erfolgsfaktoren

Die A2 bei Luzern ist ein hoch belasteter Abschnitt im Schweizer Nationalstrassensystem. Täglich passieren über 85'000 Fahrzeuge diese Stelle. Nach knapp 40 Jahren intensiver Nutzung sind die Spuren von Verkehr und Witterung unübersehbar. In einer vierjährigen Gesamterneuerung wird die Infrastruktur auf den heutigen Stand der Technik gebracht. Es wird nachts und an rund 25 Wochenenden pro Jahr gearbeitet. Die Herausforderungen an die rund 60 beteiligten Unternehmen sind enorm.

All-in Reconstruction, Cityring Lucerne

Site logistics, safety and communication the essential factors in success

The A2 near Lucerne is a heavily frequented sector of Switzerland's national motorway system, used daily by more than 85,000 vehicles. After just under 40 years of intensive service, the marks left by traffic and the weather are unmistakable. The infrastructure is now to be brought up to the state of the art in a 4-year programme of refurbishing and renewal. Work is being conducted at night, and on some 25 weekends per year. The challenges with which the around 60 participating contractors are confronted are enormous.

1 Projektübersicht

1.1 Lage im städtischen Umfeld

Nach knapp 40 Jahren Betrieb sind die Spuren von Verkehr und Witterung an der A2 in Luzern unübersehbar. Täglich passieren im Durchschnitt über 85'000 Fahrzeuge diese Schlüsselstelle im Schweizer Autobahnnetz. Verschiedene Kunst- und Tunnelbauten prägen den Autobahnabschnitt: Das der Reuss entlanglaufende Lehnenviadukt im Norden, der rund 600 m lange Reussporttunnel, die Sentibrücken mit dem Stadtanschluss sowie der 1.5 km lange Sonnenbergtunnel im Süden (Bild 1). In einer vierjährigen Gesamterneuerung – dem Projekt „Cityring Luzern“ – werden diese auf den heutigen Stand der Technik gebracht. Was sich einfach anhört, ist in der Realität eine planerische, logistische und technische Herausforderung für alle Projektbeteiligten.

Der Projektperimeter tangiert die Stadt Luzern mit rund 80'000 Einwohnern beziehungsweise die ganze Agglomeration mit ca. 200'000 Einwohnern. Ein baulicher Eingriff von solchem Ausmass an der A2 hat erhebliche Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen in der Stadt und Agglomeration Luzern. Eine Tagbaustelle ist aufgrund des täglichen Verkehrsaufkommens unvorstellbar. Damit der Verkehr tagsüber rollen kann, wird nachts und an rund 25 Wochenenden pro Jahr gearbeitet. Die Wochenendsperrungen wurden

1 Project overview

1.1 Location in the urban environment

After around 40 years of operation, the marks left by traffic and weather on the A2 in Lucerne are unmistakable. An average of over 85,000 vehicles frequents this key point in Switzerland's motorway network each day. This sector of motorway is dominated by a number of engineering works and tunnels; the Lehen Viaduct along the Reuss, to the north, the around 600 m long Reussport Tunnel, the "Sentibrücken" bridges with their connection to the city, and the 1.5 km long Sonnenberg Tunnel, in the south (Figure 1). These structures are now to be brought up to the modern state of the art in the context of a 4-year programme of all-in reconstruction, the "Cityring Lucerne" project. What appears simple is, in reality, a planning, logistical and technical challenge to all participants.

The project perimeter bounds on the city of Lucerne, with its around 80,000 inhabitants – or rather on the entire urban agglomeration, with some 200,000 residents. Engineering work of such magnitude on the A2 has significant implications for traffic in the city and conurbation of Lucerne. Daytime working would be inconceivable, due to the daily volume of traffic. To keep daytime traffic moving, work is therefore being performed at night, and on some 25 weekends per year.

Réfection complète Cityring Lucerne

Logistique de chantier, sécurité et communication sont des facteurs essentiels de réussite

L'A2 aux alentours de Lucerne est un tronçon très fréquenté du système routier national suisse. Chaque jour, plus de 85'000 véhicules passent à cet endroit. Après près de 40 ans d'exploitation intensive, le trafic et les intempéries ont laissé des traces manifestes. Dans le cadre d'une réfection complète, qui s'étendra sur 4 ans, l'infrastructure sera mise aux normes actuelles de la technique. Les travaux auront lieu la nuit et pendant 25 week-ends environ par an. Les défis posés aux quelque 60 entreprises participantes sont énormes.

Rinnovamento totale del Cityring Lucerna

Logistica di cantiere, sicurezza e comunicazione come fattori determinanti per il successo

La A2 presso Lucerna è una tratta a forte percorrenza nel sistema stradale nazionale della Svizzera. Ogni giorno oltre 85.000 veicoli passano per questo punto. Dopo quasi 40 anni di utilizzo intensivo, le tracce del traffico e delle intemperie sono evidenti. Con un rinnovamento totale della durata di 4 anni questa infrastruttura verrà completamente ammodernata. Si lavorerà di notte e per circa 25 fine settimana l'anno. Le sfide per le circa 60 imprese partecipanti saranno enormi.

gezielt auf verkehrsarme Zeiten, ausserhalb Feiertagen und Sommerferienreisezeit, ausgerichtet (Abschnitt 1.5).

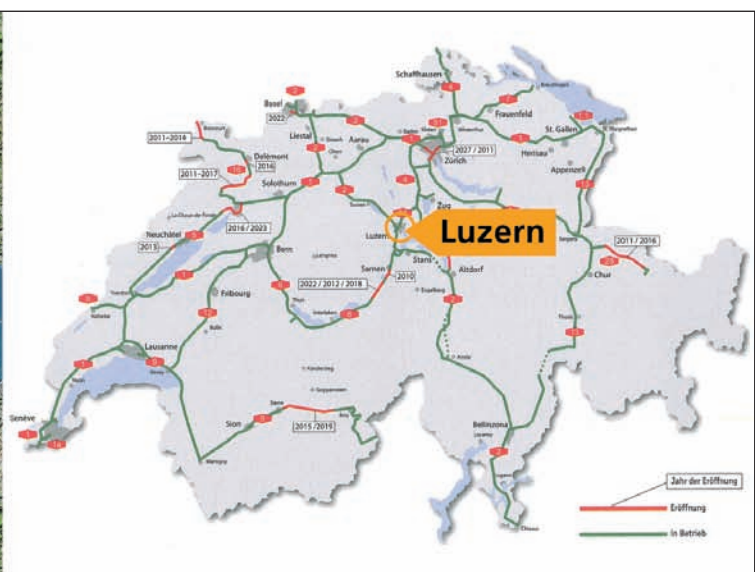
Um einen Verkehrskollaps an den Wochenenden mit Bauarbeiten in der Stadt und der Agglomeration Luzern zu vermeiden, hat sich das Bundesamt für Strassen ASTRA intensiv bemüht, zusammen mit Vertreterinnen und Vertretern der Wirtschaft, Politik und Verwaltung praktikable flankierende Massnahmen auszuarbeiten (Abschnitt 4).

Trotz der eingeleiteten Massnahmen ist nicht auszuschliessen, dass auch unter der Woche tagsüber stockender Verkehr oder Stau eintreten kann – beispielsweise als Folge eines

The necessary weekend closures have been systematically scheduled for low-traffic periods, avoiding public holidays and the summer vacation period (Section 1.5).

The Swiss Federal Roads Office (FEDRO), in concert with representatives of industry, politics and government, has made intensive efforts to achieve practicable supporting provisions, in order to avoid total traffic chaos on the weekends on which work is conducted in the city and conurbation of Lucerne (Section 4).

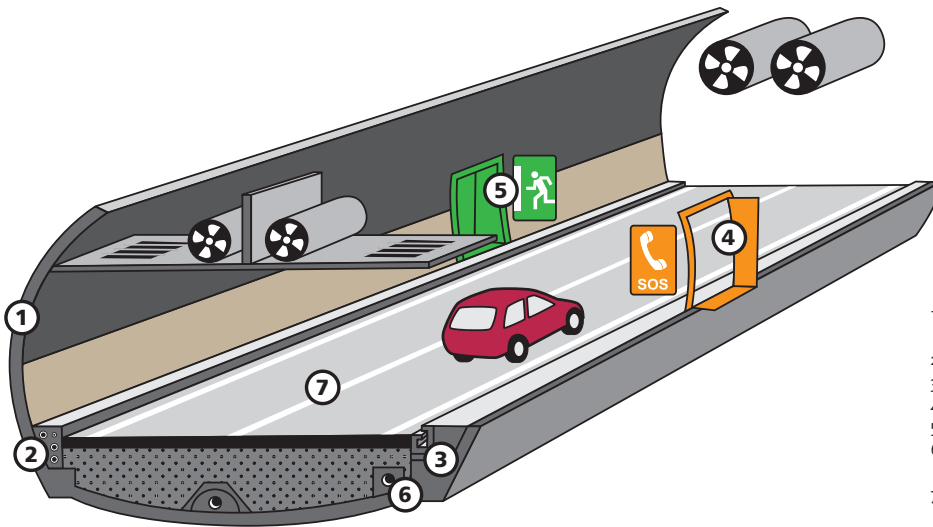
Despite the action initiated, slow-moving traffic and traffic jams cannot entirely be excluded, even during the week –



1 Mit dem Projekt Cityring Luzern wird eine Schlüsselstelle im Schweizer Autobahnnetz erneuert
The Cityring Lucerne project will regenerate a key element in Switzerland's motorway system

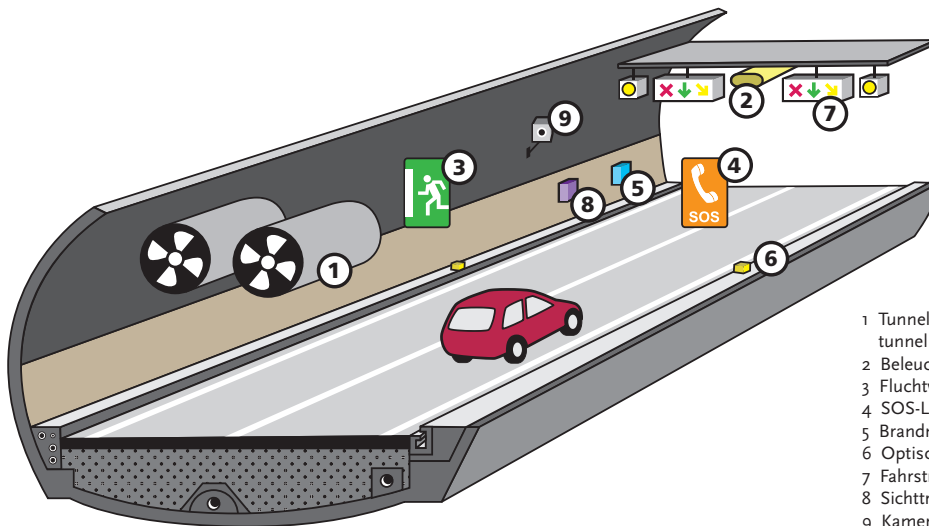
Gesamterneuerung Cityring Luzern •

Baustellenlogistik, Sicherheit und Kommunikation als wesentliche Erfolgsfaktoren



- 1 vollflächige Instandsetzung Gewölbebeton/
full-surface repair of lining concrete
- 2 neue Bankette/new bench
- 3 neue Schlitzrinne/new slot drain
- 4 neue SOS-Nischen/new emergency lay-bys
- 5 neue Fluchtwege/new escape routes
- 6 neue Schmutzwasserableitung/
new contaminated-water drainage
- 7 neue Beläge/new road surfaces

2 Um die heutigen Standards zu erreichen, sind grosse bauliche Massnahmen erforderlich
Major civil engineering is necessary to achieve modern standards



- 1 Tunnelöffnung z. B. Strahlventilator/
tunnel ventilation, e.g. jet fan
- 2 Beleuchtung/lighting
- 3 Fluchtwegeleuchten/escape-route lighting
- 4 SOS-Leuchten/emergency lighting
- 5 Brandnotleuchten/fire-emergency lighting
- 6 Optische Leiteinrichtungen/visual guidance systems
- 7 Fahrstreifen-Lichtsignale/carriageway traffic signals
- 8 Sichttrübungsmessung/visibility monitoring
- 9 Kameras/cameras

3 Auch die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen werden komplett erneuert
The operating and safety equipment is also to be completely renewed

Verkehrsunfalls oder weil die Tunnelröhre, in der gearbeitet wird, aus Gründen der Sicherheit nicht rechtzeitig geöffnet werden kann. Auf die sicherheitstechnischen Vorkehrungen wird im Abschnitt 2 eingegangen.

1.2 Wichtigste Arbeiten

1.2.1 Reussport- und Sonnenbergtunnel

Das Kernstück der Hauptarbeiten ist die Instandsetzung des Reussport- und Sonnenbergtunnels. Abschnitt für Abschnitt werden verschiedenste Elemente überholt oder ersetzt. Die wichtigsten Arbeiten (Bild 2) werden im Folgenden erläutert.

Neben den baulichen Instandsetzungen werden auch die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen ersetzt (Bild 3). Weiter wird der Reussporttunnel in Richtung Norden um 130 m

caused, for example, by accidents or because it is not possible, for safety reasons, to reopen the tunnel bore in which work is performed. The safety precautions implemented are examined in Section 2.

1.2 Principal works

1.2.1 The Reussport and Sonnenberg Tunnels

The central element of the main project works is the refurbishing of the Reussport and Sonnenberg Tunnels. The most diverse range of elements are being overhauled or replaced, sector-by-sector. The most important activities (Figure 2) are examined below.

In addition to structural repairs, the operating and safety equipment is also being replaced (Figure 3). The Reussport

verlängert. Diese Tagbauverlängerung dient als Lärmschutzmassnahme für die Anwohner im Portalbereich.

1.2.2 Sentibrücken

Die Brücken zeigen typische Alterserscheinungen. Vor allem die Brückenkästen wurden durch Tausalz stark in Mitleidenschaft gezogen. Undichte Fahrbahnübergänge haben auch bei den Widerlagern zu Betonabplatzungen und Korrosion geführt. Die Brückenlager, undichte Abdichtungen und Entwässerungen sowie der Strassenbelag werden erneuert.

1.2.3 Lehnenviadukt

Die Tragfähigkeit des Lehnenviadukts nördlich des Reussporttunnels wird verstärkt (Verbreiterung Querträger mit neuer Vorspannung, lokaler Einbau von Längsträgern). Weiter werden neue Lärmschutzwände, Leitschranken Entwässerungsleitung, Kabelrohrblöcke und neue Beläge eingebaut. Damit der Verkehr auf dem Lehnenviadukt über die ganze Bauzeit zweimal dreispurig geführt werden kann, musste eine neue Zusatzspur gebaut werden. Um Platz für diese Zusatzspur zu erhalten, ist die bestehende Stützmauer schrittweise abgebrochen und zurückversetzt worden. Die Zusatzspur schafft Platz für die Baustellen auf dem Lehnenviadukt. Nach dem Ende der Bauzeit dient die Zusatzspur als neuer Rad- und Gehweg (Bild 4).

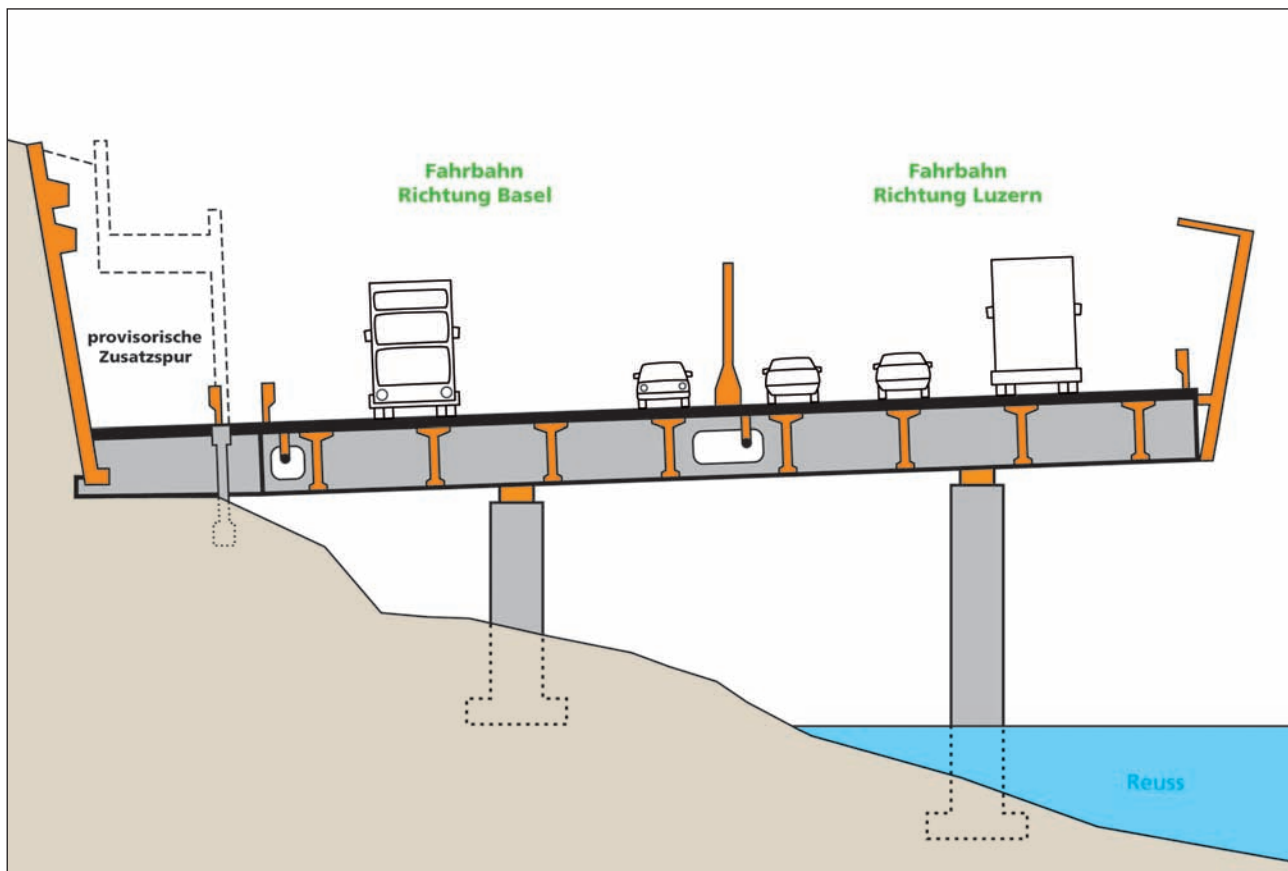
Tunnel is, in addition, to be lengthened to the north by 130 m; this cut-and-cover extension will serve to protect residents near the portal from noise.

1.2.2 The "Sentibrücken"

These bridges exhibit typical indications of ageing. The bridge boxes have, in particular, suffered severely from the effects of de-icing salt. Leaking carriageway joints have also resulted in concrete spalling and corrosion on the abutments. The bridge bearings, leaking seals and drainage systems require renewal, as does the road surface.

1.2.3 The Lehnen Viaduct

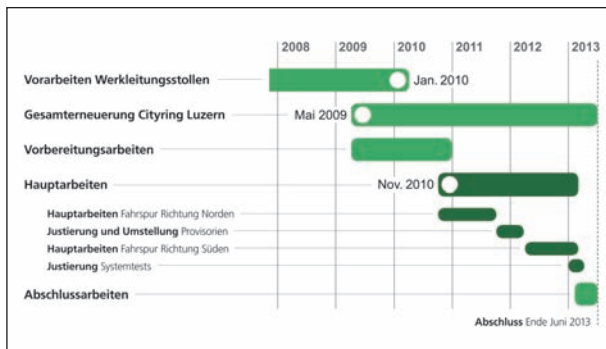
The carrying capacity of the Lehnen Viaduct, to the north of the Reussport Tunnel, is to be raised (widening of the transverse beams, with new pre-stressing, installation of longitudinal beams locally). New noise barriers, traffic guidance elements, drainage lines, cable-duct blocks and new surfaces are also to be installed. It was necessary to construct an additional new lane, in order that 3-lane traffic in both directions can be maintained on the Lehnen Viaduct throughout the project period. The existing retaining wall was demolished step by step and set back, in order to provide space for this extra lane, which creates space for the worksites on the Lehnen Viaduct, and will serve as a new cycle track and pedestrian walkway after completion of the project (Figure 4).



4 Lehnenviadukt mit provisorischer Zusatzspur und neuen Lärmschutzwänden
The Lehnen Viaduct, showing temporary additional lane and new noise barriers

Gesamterneuerung Cityring Luzern •

Baustellenlogistik, Sicherheit und Kommunikation als wesentliche Erfolgsfaktoren



5 Start der Hauptarbeiten war am 2. November 2010, Mitte 2013 sollen die letzten Arbeiten abgeschlossen sein
The main works started on November 2, 2010; the project is to be completed by mid-2013

1.3 Termine

1.3.1 Umfangreiche Vorarbeiten

Für die Hauptarbeiten mussten im Vorfeld diverse Arbeiten getätigt werden. Von 2006 bis 2010 wurden der Reussport- und der Sonnenbergtunnel mit je 1 Werkleistungsstollen mit knapp 4 m Durchmesser und mehreren Kabeltrassen ausgerüstet. Sämtliche Leitungen für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen wurden in die neuen Stollen verlegt, um die Hauptarbeiten in den Tunneln zu ermöglichen. Zusätzlich sind dort die Wasserleitungen für die Trinkwasser- und Löschwasserversorgung der Stadt Luzern untergebracht. Weitere Vorbereitungsmaßnahmen waren der befahrbare Mittelstreifen und die zurückversetzten Stützmauern nördlich des Reussporttunnels. Die Hauptarbeiten starteten am 2. November 2010. Aktuell wird die Fahrtrichtung Norden bearbeitet (Terminprogramm, Bild 5).

1.3.2 Bauphasen

Die Hauptarbeiten umfassen 5 Hauptbauphasen. In den Phasen 1 und 2 werden die Arbeiten in den Tunneln in Fahrtrichtung Norden ausgeführt. Die Phase 1 betrifft die Arbeiten an der Tunnelinnenwand (Seite Querverbindungen) und die Phase 2 die Arbeiten an der Tunnelaußenwand. Die Arbeiten in Fahrtrichtung Norden erstrecken sich bis Ende 2011. Im Jahre 2012 fallen dieselben Arbeiten in Richtung Süden an. Bis zum Abschluss der Bauarbeiten Mitte 2013 finden noch diverse Tests und Fertigstellungsarbeiten statt.

1.3.3 Termincontrolling

Im Projekt Cityring Luzern sind neben dem Baumeister ca. 60 Unternehmer mit der Erneuerung der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) beauftragt. Aufgrund der engen Zeitfenster für die Bearbeitung der einzelnen Abschnitte wurde früh ein Gesamtterminprogramm erstellt. Es regelt die Starttermine, die Übergabezeitpunkte Bau/BSA, die Fertigstellung und die Sperrwochenenden. Als wichtiges Koordinationsinstrument erlaubt es den laufenden Soll-Ist-Vergleich der Arbeitsstände.

1.3 Deadlines

1.3.1 Extensive preparatory work

Various work was necessary in advance to prepare for the main phase. The Reussport and Sonnenberg Tunnels were each equipped with a service duct of just under 4 m in diameter, and several cable routes, from 2006 to 2010. All lines for operating and safety equipment were installed in the new duct, in order to permit performance of the principal works in these tunnels. The drinking-water and fire-fighting-water supply lines for the City of Lucerne are also accommodated here. Other preparatory work included the centre-strip (suitable for carrying vehicle traffic) and the setting back of the retaining walls to the north of the Reussport Tunnel. The main works commenced on November 2, 2010. Work is currently being conducted on the northbound side (deadline schedule, Figure 5).

1.3.2 Work phases

The principal works cover 5 main phases. Work in the northbound tunnels is to be performed during Phases 1 and 2. Phase 1 covers work on the inner tunnel wall (cross-links side), Phase 2 work on the outer tunnel wall. The work on the northbound side will continue until late 2011. The same work is to be performed in the southbound direction during 2012. Various tests and finishing work will be conducted up to the completion of construction work in mid-2013.

1.3.3 Deadline controlling

In addition to the prime contractor, around 60 other firms have been commissioned for renewal of the operating and safety equipment (OSE) for the Cityring Lucerne project. An overall schedule was drafted at an early stage, in view of the narrow time windows for completion of the individual sectors. This schedule specifies the starting times, times for hand-over from construction to OSE, completion, and weekend closures. It is an important co-ordination instrument, and permits continuous assessment of Target work status against Actual work status.

1.4 Costs

Total costs are around 400 million CHF, of which construction work accounts for around two thirds. The remaining costs are apportioned between the operating and safety equipment, and various planning and other specialised services. The extra costs resulting from night-time and weekend working, instead of total closure of 1 tunnel bore, amount to around 100 million CHF.

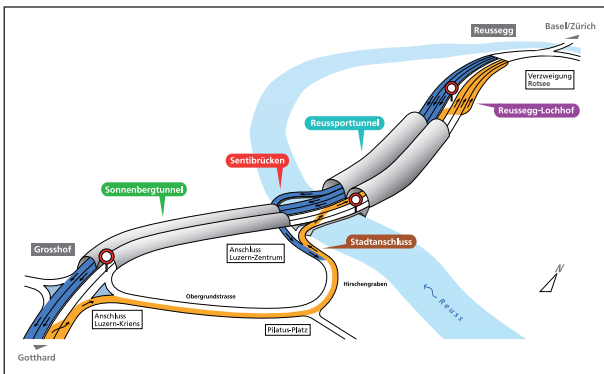
1.5 Traffic management

1.5.1 Night-time and weekend working

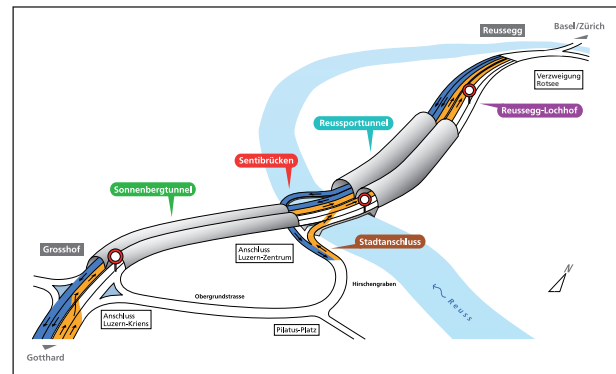
In 2006, the federal government and the Canton of Lucerne examined various methods of achieving the lowest possible hindrance to traffic by the necessary sites. The "Night-time closure Plus" traffic concept proved to be the best variant. Implementation of this concept results in the following boundary conditions for traffic routing:

All-in Reconstruction, Cityring Lucerne •

Site logistics, safety and communication the essential factors in success



6a *Werktags: 20 bis 6 Uhr mit Stadtableitung (2010/2011: Baustelle Fahrtrichtung Norden)*
Weekdays: 8 pm to 6 am with diversion through the city (2010/2011: work on the northbound side)



6b *Wochenende: Sperrungen und Gegenverkehr in der offenen Tunnelröhre (2011: Baustelle Fahrtrichtung Norden)*
Weekends: closures and two-way traffic in the unaffected tunnel bore (2011: work on the northbound side)

1.4 Kosten

Die gesamten Baukosten belaufen sich auf rund 400 Mio. CHF. Davon machen die baulichen Anlagen rund zwei Drittel aus. Die übrigen Kosten verteilen sich auf die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen sowie diverse Leistungen für Planer und Spezialisten. Der finanzielle Mehraufwand infolge der Nacht- und Wochenendarbeiten anstelle einer Totalsperrung einer Tunnelröhre beträgt rund 100 Mio. CHF.

1.5 Verkehrsregime

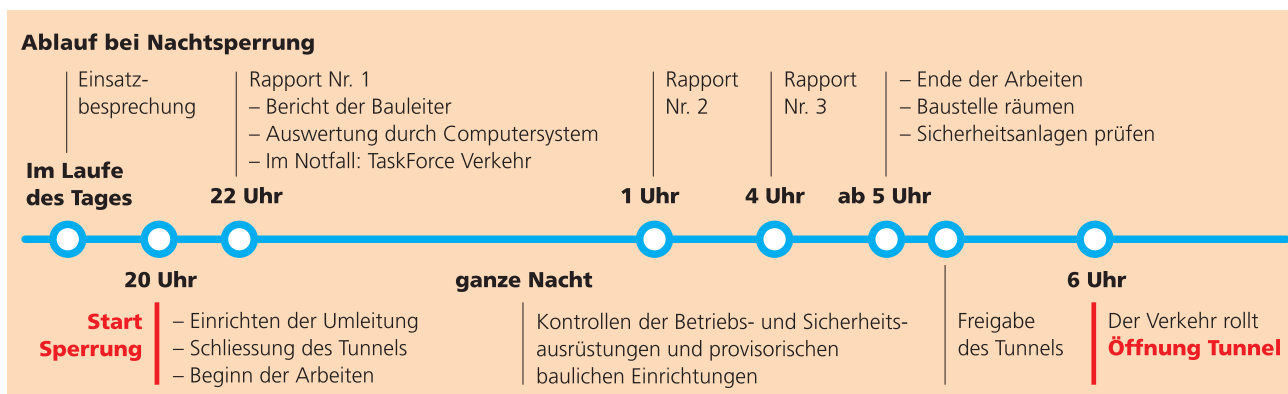
1.5.1 Nachtarbeiten und Wochenendarbeiten

2006 wurden vom Bund und Kanton Luzern verschiedene Möglichkeiten geprüft, um die Beeinträchtigung des Individualverkehrs durch die Baustellen so gering wie möglich zu halten. Das Verkehrskonzept „Nachtsperrung Plus“ hat sich dabei als Bestvariante erwiesen. Die Umsetzung des Verkehrskonzepts führt zu folgenden Rahmenbedingungen für die Verkehrsführung:

- Die Arbeiten werden weitgehend nachts zwischen 20 und 6 Uhr ausgeführt. In den verkehrsarmen Stunden wird im Sonnenbergtunnel jeweils eine Tunnelröhre für den

- Work is largely performed at night, between 8 pm and 6 am. One bore of the Sonnenberg Tunnel is closed to traffic in the low-traffic periods. In the Reussport Tunnel, only 1 lane is available in the worksite bore. Local traffic diversions are routed through Lucerne. Normal traffic is possible on these sectors during the daytime.
- One bore of the Sonnenberg Tunnel is being completely closed to traffic from 8 pm on Friday to 6 am on Monday on around 25 weekends per year (the Reussport Tunnel being reduced to single-lane traffic), in order to permit performance of work which cannot be done in a single night (such as road-surfacing, for example). Where a tunnel bore is closed, 2-way traffic applies in the other bore. Work continues around the clock in the closed bore.

The traffic system described will apply in 2011 (work on the northbound side, Figure 6) and 2012 (work on the southbound side). The weekend closures have been positioned in “low-traffic” months wherever possible, and cannot be re-scheduled, due to the tight work sequences.



7 *Das Einrichten der Baustelle folgt jede Nacht dem selben zeitlichen Ablauf*
The same schedule is used every night to set up the site



8 Abdecken der offenen Längsgräben vor Verkehrsfreigabe, Fluchtwegsignalisierung
Covering of open longitudinal trenches prior to reopening to traffic, escape-route signposting

Verkehr gesperrt. Im Reussporttunnel ist die Tunnelröhre mit Baustelle jeweils einstreifig befahrbar. Die lokale Verkehrsumleitung erfolgt durch die Stadt Luzern. Tagsüber ist der Streckenabschnitt im Normalbetrieb befahrbar.

- Für Arbeiten, die nicht in einer Nacht erfolgen können (beispielsweise die Belagseinbauten), wird an rund 25 Wochenenden pro Jahr zwischen Freitag 20 Uhr und Montag 6 Uhr eine Tunnelröhre des Sonnenbergtunnels vollständig für den Verkehr gesperrt (der Reussporttunnel bleibt einstreifig befahrbar). Bei der Sperrung einer Tunnelröhre wird der Verkehr im Gegenverkehr durch die zweite Tunnelröhre geleitet. In der gesperrten Röhre wird rund um die Uhr gearbeitet.

Das beschriebene Verkehrsregime kommt in den Jahren 2011 (Arbeiten Fahrbahn Richtung Norden, Bild 6) und 2012 (Arbeiten Fahrbahn Richtung Süden) zur Anwendung. Die Wochenendsperrungen sind auf möglichst verkehrsarme Monate gelegt worden und lassen sich wegen der engen zeitlichen Bauabläufe nicht verschieben.

1.5.2 23 verschiedene Verkehrsführungen

Das Bauprogramm in den verschiedenen Teilabschnitten erfordert 23 verschiedene Verkehrsführungen, die detailliert geplant und in einem umfassenden Bewilligungsverfahren genehmigt wurden.

2 Sicherheit

2.1 Übergeordnete Sicherheitsaspekte bei Tunnelinstandsetzungen unter Verkehr

2.1.1 Übergeordnetes Sicherheitskonzept

Bei den Bauarbeiten unter Verkehr haben die Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden und der Arbeiter neben der Verfügbarkeit der Autobahn oberste Priorität. Ein bisher einzigartiges Monitoringsystem sorgt dafür, dass die Tunnel jeden Morgen rechtzeitig für den Berufsverkehr geöffnet werden können bzw. die Verantwortlichen im Ereignisfall die nötigen

1.5.2 23 different traffic routings

The construction schedule for the various sub-sectors necessitates 23 different traffic routings, which have been planned in detail and approved in a comprehensive approval procedure.

2 Safety

2.1 Overriding safety aspects in repair of tunnels under traffic

2.1.1 Overriding safety concept

The safety of road-users and the workforce are the overriding priority, plus the availability of the road, when work is performed with flowing traffic. A monitoring system unique up to now ensures that the tunnel can be reopened every morning for the "rush hour", and that the responsible persons are able to take the necessary action, should an incident occur (Figure 7). A safety concept governs the basic safety principles.

Special safety-relevant requirements were discussed with the SUVA and the emergency services (police and firebrigade) prior to the approval procedure, and were integrated into the approval documentation. A number of important aspects are discussed here. The monitoring system continuously checks the safety-relevant systems for on-time reopening to traffic at 6 am every morning (Section 2.2).

Strict adherence to this safety concept is of great importance. The contractors are trained, and their attention drawn to the specific circumstances, prior to every construction phase. They are obliged to train their employees internally. Every person working on the site receives an "emergency card", which specifies the basic principles of behaviour in case of an incident. The emergency card must be shown, as an "access pass", to gain admission to the site.

2.1.2 Assurance of escape routes

In order to guarantee escape routes during the renovation work, the open bench areas are covered each morning after completion of work. Work may be performed only in every second cross-link tunnel. Escape route signalling must be continuously updated, due to the changing situation in the escape directions and the work on the tunnel walls. An easy-to-manage system, which can be positioned on steel bearing elements, has been developed (Figure 8).

On-site work is stopped immediately in case of an incident in the "worksite" or the "traffic" bore. Sirens fitted with flashing lights to alert the site workforce are installed in the traffic space, in the tunnel control centres and in the service duct. These alarm systems are activated by the police operations centre. The site personnel and the road-users reaching the site zone through the cross-link tunnels are guided by means of the escape-route signalling to assembly areas near the portals. A roll-call of the site workers is performed at the assembly areas under the supervision of the emer-

Massnahmen einleiten können (Bild 7). Ein Sicherheitskonzept regelt die Grundsätze zur Sicherheit.

Spezielle sicherheitsrelevante Anforderungen wurden vor den Submissionsverfahren zusammen mit der SUVA und den Einsatzkräften (Polizei, Feuerwehr) diskutiert und in die Submissionen aufgenommen. Einige wichtige Forderungen werden hier erläutert. Mit dem Monitoringsystem werden die sicherheitsrelevanten Anlagen laufend auf die termingerechte Verkehrsfreigabe morgens um 6 Uhr überprüft (Abschnitt 2.2).

Die strikte Umsetzung des Sicherheitskonzeptes ist von grosser Bedeutung. Vor jeder Bauphase werden die Unternehmungen geschult und auf die spezifischen Gegebenheiten hingewiesen. Die Unternehmungen sind verpflichtet, ihre Mitarbeiter intern zu schulen. Jeder Arbeiter auf der Baustelle erhält eine Notfallkarte. Diese regelt die Verhaltensgrundsätze im Ereignisfall. Die Notfallkarte muss als „Eintrittskarte“ zur Baustelle vorgewiesen werden.

2.1.2 Sicherstellung der Fluchtwege

Um die Fluchtwegverbindungen während der Erneuerungsarbeiten zu gewährleisten, werden die offenen Bankettbereiche nach Abschluss eines Arbeitseinsatzes morgens abgedeckt. Es darf nur in jeder zweiten Querverbindung gearbeitet werden. Die Fluchtweg-Signalisationen müssen aufgrund der wechselnden Situation der Fluchtrichtungen und den Arbeiten an den Tunnelwänden laufend angepasst werden. Ein System für die einfache Handhabung wurde entwickelt, welches auf den Stahlleitelementen aufgesteckt werden kann (Bild 8).

Im Ereignisfall in den Tunnelröhren mit Baustelle oder mit Verkehr wird der Baustellenbetrieb eingestellt. Zur Alarmierung des Baustellenpersonals sind im Fahrraum, in den Tunnelzentralen und im Werkleitungsstollen akustische Hörner mit Blitzleuchten angebracht. Diese Alarmierungseinrichtungen werden von der Einsatzleitzentrale der Polizei eingeschaltet. Das Baustellenpersonal und die durch die Querverbindungen in den Baustellenbereich gelangten Verkehrsteilnehmer werden mit Fluchtweg-Signalisationen an portalnahe Sammelplätze geführt. An den Sammelplätzen wird eine Präsenzkontrolle der Bauarbeiter unter Leitung der Ereignisdienste durchgeführt (Bild 9 und Abschnitt 2.2.1 Einsatzplanung).

2.2 Verfügbarkeit der sicherheitsrelevanten Anlagen sicherstellen

2.2.1 Anlageverantwortliche und Einsatzplanung

Aufgrund der unterschiedlichen Arbeiten und zahlreichen beteiligten Unternehmen ist eine übergeordnete Einsatzplanung unabdingbar. Im Vorfeld jeder Arbeitswoche wird definiert, wer zu welchem Zeitpunkt an welchen Anlagen arbeitet. Von besonderem Interesse sind die sicherheitsrelevanten Anlagen wie die Tunnellüftung, die Beleuchtung oder das Normalprofil. Wöchentlich wird die Einsatzplanung



9 Die Alarmierungseinrichtungen (links) führen die Personen zu den Sammelplätzen (rechts)
The alarm systems (left) guide persons to the assembly areas (right)

gency services (Figure 9 and 2.2.1 “Deployment planning” section).

2.2 Assuring availability of safety-relevant systems

2.2.1 Responsibilities and deployment planning

Higher-level deployment planning is vital, in view of the various works being conducted, and the numerous contractors involved. Just who will be working on what equipment at what time is specified in advance before each working week starts. Of particular interest here are the safety-relevant factors, such as tunnel ventilation, lighting, and the standard profile. Deployment planning is discussed on a weekly basis; the persons responsible for the particular systems are specified, and traffic routings checked. All this information is entered into the monitoring system.

2.2.2 Monitoring system – watching over safety-relevant equipment

All information concerning the availability of the safety-relevant systems is collected and compiled in the monitoring system, an Internet-based databank. The site managers responsible for systems record the information using special input devices during work at night and weekends. The site managers with responsibility for these systems submit at 3 reporting times per night-shift a forecast concerning the availability of their system at the time of reopening to traffic. The system states “Normal”, “Tolerable”, “Undesirable” and “Not tolerable” are available for selection by the site manager for the report messages. The criteria for assessment of the systems are compiled in a catalogue. The completeness of the reports is monitored by the alarm centre. The forecasts from all systems can be continuously observed in a “cockpit” view.

2.2.3 Initiation of immediate action and contingency planning

A specialist performs a situation assessment should an “Undesirable” or “Not tolerable” condition be forecast.



10 An der Signalampel aufgereihter Baustellenkonvoi auf dem Installationsplatz Schlund
Site convoy arrayed at the "start light" at the Schlund work yard

durchgesprochen. Dabei werden die Anlageverantwortlichen festgelegt und die Verkehrsführungen überprüft. Sämtliche Angaben werden im Monitoringsystem erfasst.

2.2.2 Monitoringsystem – Überwachung der sicherheitsrelevanten Anlagen

Im Monitoringsystem, eine internetbasierte Datenbank, werden sämtliche Informationen im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit der sicherheitsrelevanten Anlagen gesammelt. Während der Nacht- und Wochenendarbeiten erfassen die anlageverantwortlichen Bauleiter die Informationen mit speziellen Eingabegeräten. Pro Nachtschicht geben die anlageverantwortlichen Bauleiter an 3 Rapporten eine Prognose bezüglich der Verfügbarkeit ihrer Anlage zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe ab. Dem Bauleiter stehen bei den Rapportmeldungen die Anlagezustände „normal“, „tolerierbar“, „unerwünscht“ und „nicht tolerierbar“ zur Auswahl. Die Kriterien für die Bewertung der Anlagen sind in einem Katalog zusammengestellt. Die Vollständigkeit der Rapporte wird von der Alarmzentrale überwacht. Die Prognose aller Anlagen kann in einer Cockpit-Darstellung laufend beobachtet werden.

2.2.3 Einleiten von Sofortmassnahmen und der Eventualplanung

Wird ein unerwünschter bzw. nicht tolerierbarer Zustand prognostiziert, führt ein Spezialist eine Lagebeurteilung durch. Er leitet zusammen mit den Bauleitungen Sofortmassnahmen ein. Diverse Sofortmassnahmen wie z.B. Bergungsfahrzeuge bei defekten Geräten, Stahlplatten zur Überwindung von Quergräben und Kieskoffer zum Füllen von Löchern sind in der Nähe der Baustelle verfügbar. Reichen diese nicht aus, um eine grössere Verspätung der Verkehrsfreigabe zu verhindern, wird die TaskForce Verkehr aufgebildet. Die TaskForce Verkehr setzt sich zusammen aus Vertretern des ASTRA, des Kantons, der Stadt sowie der Polizei und des öffentlichen Verkehrs und weiteren Projektbeteiligten und entscheidet über weitere Massnahmen – insbesondere um den Verkehrsfluss sicherzustellen (grossräumige

Together with the site management, he then initiates immediate action. Various provisions for immediate action are available in the vicinity of the site, such as recovery vehicles in case of defective equipment, for example, steel plates for covering of transverse trenches and gravel hoppers for filling of holes. If these provisions do not suffice to prevent serious delay in reopening to traffic, the "Traffic TaskForce" is summoned. This team consists of representatives from FEDRO, the Canton, the municipality, the police, public transport organisations and other project participants, and must decide on further action in order, in particular, to assure the flow of traffic (far-reaching diversions, holding-back of HGV traffic, broadcasting of traffic information, information to SMS subscribers).

3 Site logistics

3.1 Setting-up and clearance of sites

3.1.1 The daily delivery and removal ritual

The Cityring Lucerne programme of all-in reconstruction makes great demands on site operation and logistics. Every evening (Monday to Friday) at 8 pm, the maintenance service implements closure and signposted diversion of transit traffic through the city. This procedure takes around half an hour. The road must be returned, in cleaned and safe condition, to private traffic at 6 am the next morning. The contractors therefore have a net working time of around 7 hours per night.

3.1.2 Clearance for site working

Great importance attaches to efficient clearance of the sites for working, due to the short "working-time windows". The transport vehicles with loaded construction equipment assemble in line on the nearby work yards before 8 pm, in order to be able to drive to the worksites in the tunnel in the correct order. After unloading, the semi-trailer vehicles return to the work yards, and pick up the equipment again the next morning at around 4.30 am.

Mobile traffic lights are set up at the work yards and the most important access routes, in order to achieve optimum clearance for on-site work. These traffic lights switch to green after the barrier systems have been installed. These are removed again after completion of the night's work, and cleaning of the carriageway, and the traffic lights switch again to red (Figure 10).

3.2 Special challenges in the Cityring Lucerne project

3.2.1 Human resources

The night work continuing over 2½ years is augmented by 25 weekend closures distributed at irregular intervals across the year. These working hours and the high manning levels necessary, of up to 100 persons per night, confront the contractors and site managers with great challenges. Shift planning is complex. Maximum demands are also made on the site personnel. The short net working times at night, constricted space, work under traffic, winter temperatures, etc., tax all participants greatly.

Umleitungen, Zurückhalten Schwerverkehr, Absetzen von Verkehrsinformationen, Information an SMS-Abonnenten).

3 Baustellenlogistik

3.1 Einrichten und Abbauen der Baustellen

3.1.1 Tägliches Ritual des An- und Abtransportierens der Installationen

Die Gesamterneuerung Cityring Luzern stellt hohe Anforderungen an den Baustellenbetrieb und die Baustellenlogistik. Jeden Abend (von Montag bis Freitag) um 20 Uhr richtet der Unterhaltsdienst die Sperrung der Baustelle und die Signalisation für den Transitverkehr durch die Stadt ein. Dieses Einrichten benötigt rund eine halbe Stunde. Um 6 Uhr am folgenden Morgen muss die Verkehrsfläche wieder in gereinigtem und sicherem Zustand an den Individualverkehr übergeben werden. Die Nettoarbeitszeit für die Unternehmer beträgt pro Nacht rund 7 Stunden.

3.1.2 Freigabe der Baustelle

Einer effizienten Freigabe der Baustelle kommt aufgrund der kurzen Arbeitszeitfenster hohe Bedeutung zu. Die Transportfahrzeuge mit den aufgeladenen Baumaschinen besammeln sich vor 20 Uhr auf den nahe liegenden Installationsplätzen – aufgereiht, um in der richtigen Reihenfolge in die Tunnelbaustellen einfahren zu können. Nach dem Abladen fahren die Sattelschlepper zurück auf die Installationsplätze, um die Geräte am nächsten Morgen um ca. 4.30 Uhr wieder aufzuladen.

Für die optimale Freigabe der Baustelle wurden auf den Installationsplätzen und den wichtigsten Zufahrtsachsen mobile Signalisationsampeln eingerichtet. Nach dem Sperraufbau springen die Ampeln auf Grün. Nach Abschluss der nächtlichen Arbeiten und der Reinigung der Fahrbahn erfolgt der Sperrabbau und die Ampeln werden wieder auf Rot gestellt (Bild 10).

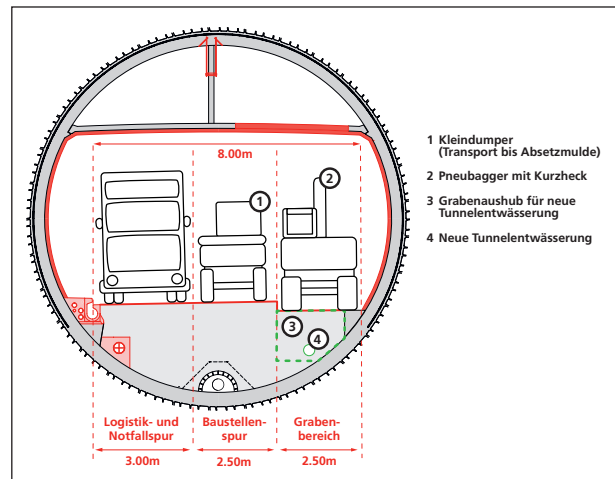
3.2 Besondere Herausforderungen des Projektes Cityring Luzern

3.2.1 Personelle Ressourcen

Die über 2 1/2 Jahre dauernden Nachtarbeiten werden ergänzt durch jährlich 25 unregelmässig verteilte Sperrwochenenden. Diese Arbeitszeiten und der grosse Personalbedarf von bis zu 100 Arbeitern pro Nacht stellen die Unternehmungen und Bauleitungen vor eine grosse Herausforderung. Die Schichtplanung ist komplex. An das Baustellenpersonal werden höchste Anforderungen gestellt. Kurze Nettoarbeitszeiten nachts, beengte Platzverhältnisse, Arbeiten unter Verkehr, winterliche Temperaturen etc. fordern alle Beteiligten stark.

3.2.2 Beengte Platzverhältnisse

Die seitlichen Arbeitsstellen in den Tunneln werden tagsüber durch Stahlleitelemente vom Verkehr abgetrennt. Die Leitelemente sind bei den Querverbindungen und den SOS-Nischen aus logistischen Überlegungen unterbrochen. Die



11 Sonnenbergtunnel: Aushub Längsgraben nach Bankettabbruch
The Sonnenberg Tunnel: excavation of longitudinal trench after bench excavation

3.2.2 Constricted space

The side worksites in the tunnels are divided off from traffic by means of steel barriers during the day. These barriers are interrupted, for logistical reasons, at the cross-links and the emergency lay-bys. The contractors move the barriers away at night, to improve access to their working areas. This movement of the barriers is of great importance in the Reussport Tunnel, in particular, since private traffic continues to pass parallel to the site. Space in the Sonnenberg Tunnel is extremely restricted, due to the narrow carriageways, the barriers and the false roof. The contractors are therefore required to familiarise themselves with the main working operations during work preparation, in order to optimise their own internal site logistics and to keep the emergency and logistics lane free for the emergency services and for other contractors. The linear bench excavation site requires particular consideration concerning the available space. Zero-tail-swing excavators and models with detachable boom systems are therefore mainly used (Figure 11).

3.2.3 Construction noise

Construction work generates noise. The project perimeter is located in the middle of the city of Lucerne. There are residential districts above the tunnel bores and to the sides of the Sentibrücken bridges. The noise problem was addressed at an early point; a noise expert drafted a site noise concept, and has provided support since the start of the work. The contractors were made aware of the problem and informed in detail as early as the tendering stage. Noise-intensive work, such as excavation of the bench, for example, is permitted on weekdays only between 9 pm and midnight. Housing-in of equipment combinations is another noise-reduction provision described in the approval documentation.

Noise-measuring instruments which record noise levels around the clock were installed prior to the start of the



12 Ausbruch des Grabens der Längsentwässerung mit einer Grabenfräse
Excavating the drainage-system trench using a trench cutting machine

Unternehmer verschieben diese Leitelemente in der Nacht, um den Arbeitsbereich besser zugänglich zu machen. Insbesondere im Reussporttunnel kommt dieser Verschiebung der Leitelemente eine wichtige Bedeutung zu, da parallel zur Baustelle der Individualverkehr geführt wird. Die Platzverhältnisse sind im Sonnenbergtunnel aufgrund der schmalen Fahrspuren, den Leitelementen und der Zwischendecke stark beschränkt. Die Unternehmer sind daher gehalten, die wichtigsten Arbeitsschritte in der Arbeitsvorbereitung genauestens zu studieren, um die eigene baustelleninterne Logistik sicherzustellen und stets auch die Notfall- und Logistikspur für Blaulichtorganisationen bzw. Drittunternehmer freizuhalten. Die Linienbaustelle der Bankettabbrüche erfordert hinsichtlich der Platzverhältnisse vertiefte Überlegungen. Es kommen daher vorwiegend Bagger mit Kurzhecks sowie mit abdrehbaren Armkonstruktionen zum Einsatz (Bild 11).

3.2.3 Baulärm

Wo gebaut wird, entsteht Lärm. Der Projektperimeter befindet sich mitten in der Stadt Luzern. Oberhalb der Tunnelröhren und seitlich der Sentibrücken befinden sich Wohnquartiere. Die Lärmproblematik wurde früh erkannt. Eine Lärmexperte erstellte ein Baulärmkonzept und begleitet seit dem Start die Bauarbeiten. Die Unternehmungen wurden bereits mit der Ausschreibung detailliert informiert und sensibilisiert. Lärmintensive Bauarbeiten, wie z. B. der Abbruch der Bankette, sind werktags nur zwischen 21 und 24 Uhr erlaubt. Die Einhausung von Gerätekombinationen ist eine weitere in der Submission beschriebene Massnahme zur Lärmminimierung.

Zur Dokumentation des Baulärms wurden vor Beginn der Arbeiten in den am meisten betroffenen Quartieren Lärmmessgeräte installiert, die den Lärm rund um die Uhr aufzeichnen. Die Auswertung dieser Messungen erfolgt wöchentlich. Der Unternehmer erhält monatlich einen Bonus, wenn er die Lärmwerte einhält bzw. bei Überschreitungen schnell wirkungsvolle Massnahmen umsetzt.

work in the majority of areas potentially affected, in order to document the noise generated. These data are evaluated at weekly intervals. The contractors are paid a monthly bonus for meeting the noise limits, and for taking quick and effective action if overshoots occur.

The effectiveness of housing in noise-intensive worksites was investigated during the preliminary work. This showed that, in the case of high-pressure water (HPW) work, for example, the noise level can be reduced by up to 10 decibels. Great attention is devoted not only to worksites near the portals, but also to the transshipment areas. The muck is loaded underground into roll-on skips, and taken away at night. Temporary dumps around the portals are either avoided, or are housed in with noise barriers.

Noise-intensive equipment which generates “structure-borne noise”, i.e. airborne noise which is radiated in the buildings above the tunnels and is perceived as noise – is used in excavation of the bench, of the emergency lay-bys and in lowering of the floors in the cross-link galleries. It is scarcely possible to reduce this structure-borne noise using technical means. Strict adherence to specified work times (noisy work only between 9 pm and midnight), a 24 h project “hot-line”, and an active policy of providing information for residents, are all promising approaches for relieving tensions between residents and the site (Section 4). Potential optimisations were continuously examined with the contractor during the start-up phase. A trench cutting machine was used in the Reussport Tunnel to excavate the trench (Figure 12), achieving great noise reductions. Unlike pneumatic drills, the trench cutter can be used around the clock throughout the weekend.

3.2.4 Climatic provisions

For traffic-management reasons, the renewal work was scheduled for low-traffic periods, i.e. the cold months. Intense climatic provisions are therefore applied for repair work on concrete structures. The site contractor has developed a “climatic wall” mounted on the lining or on the false roof. The space behind this mobile system for housing-in of the tunnel walls is heated around the clock. In addition to its protective and insulating function, this wall also offers 2 other advantages: the wall surfaces, on the one hand, receive less fouling (salt) from traffic during the day and, on the other hand, its “scaffolding” function permits work on 2 levels (Figure 13).

3.2.5 Dust suppression

It is necessary to minimise fouling and dust generation to meet occupational health and safety requirements and to avoid harm to the operating and safety equipment (OSE). The attention of bidders was drawn to this in detail during the bidding phase. Compliance with these requirements also demands great care from the contractors in selection of working methods and equipment. Two examples:

Während der Vorarbeiten wurde die Effizienz von Einhausungen von lärmigen und lärmintensiven Arbeitsstellen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass beispielsweise bei den HDW-Arbeiten eine Reduktion des Schallpegels von bis zu 10 Dezibel möglich ist. Neben den portalnahen Arbeitsstellen wird auch den Umschlagplätzen übertag grosse Beachtung geschenkt. Das Abbruchmaterial wird untertag in Abrollmulden verladen und nachts abgeführt. Zwischendeponien in den Portalbereichen werden verhindert bzw. mit Lärmschutzwänden verkleidet.

Beim Abbruch der Bankette, beim Ausbruch der SOS-Nischen und beim Absenken der Sohle in den Querverbindungen kommen Geräte zum Einsatz, welche lärmintensiv sind und zu „Körperschall“ führen – Luftschall, der in den Gebäuden über den Tunneln abgestrahlt und als Lärm wahrgenommen wird. Der Körperschall lässt sich mit technischen Mitteln kaum reduzieren. Ein striktes Einhalten der Arbeitszeiten (lärmintensive Arbeiten von 21 bis 24 Uhr), ein über 24 Stunden betriebenes Projekttelefon sowie eine aktive Informationspolitik bei den Anwohnern sind erfolgversprechende Ansätze im Spannungsfeld zwischen Anwohnern und Baustelle (Abschnitt 4). Während der Startphase wurden mit dem Unternehmer laufend Optimierungen geprüft. Im Reussporttunnel wurde der Graben mit einer Grabenfräse ausgebrochen (Bild 12), was zu einer starken Reduzierung der Lärmbelastung geführt hat. Die Fräse kann im Gegensatz zu den Abbauhämmern das ganze Wochenende rund um die Uhr betrieben werden.

3.2.4 Klimamassnahmen

Die Erneuerungsarbeiten wurden aus verkehrlichen Überlegungen in die verkehrsschwachen Zeiten, d.h. in die kalten Jahreszeiten verlegt. Für die Instandsetzungsarbeiten an den Betonkonstruktionen kommen daher aufwendige Klimamassnahmen zum Einsatz. Der Bauunternehmer hat eine am Gewölbe bzw. an der Zwischendecke montierte Klimawand entworfen. Hinter diesem mobilen Einhausungssystem der Tunnelwände wird rund um die Uhr geheizt. Die Klimawand bietet neben der isolierenden Schutzfunktion 2 Vorteile: zum einen werden die Wandflächen tagsüber durch den Verkehr weniger verschmutzt (Salzeintrag), zum anderen kann dank der Gerüstfunktion auf 2 Ebenen gearbeitet werden (Bild 13).

3.2.5 Staubbekämpfung

Wegen der Arbeitsschutzbestimmungen und aufgrund der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) gilt es, die Verschmutzung und Staubentwicklung zu minimieren. Die Anbieter wurden im Rahmen der Submission ausführlich darauf hingewiesen. Auch die Umsetzung dieser Anforderungen verlangt vom Unternehmer grossen Einsatz hinsichtlich der Ausführungsmethoden und dem Geräteeinsatz. Zwei Beispiele:

- Vorkonkret anstelle Spritzbeton: Die Amtslösung sah vor, die mit Hochdruckwasserstrahlen abgetragenen Flächen mit Spritzbeton zu reprofiliert. Der Unternehmer hat aus baubetrieblichen Gründen und zur Reduktion des Staub-



13 Verschiebbare Klimawand im Reussporttunnel
Movable climatic wall in the Reussport Tunnel

- In-situ concrete instead of shotcrete: the original solution envisaged the use of shotcrete for reprofiling of the surfaces stripped by means of jets of ultra-high-pressure water. For operational reasons, and to reduce dust generation, the contractor drafted a proposal involving a shuttered concrete structure. The bench formwork systems are back filled with a special concrete in a single operation. The stripped surfaces exhibit a high standard, with no serious visible porosity. This solution makes an important contribution to reducing dust nuisance in the tunnels.
- Road surface cutters using de-dusting systems: major surfacing areas are cut at weekends, in particular. Only deck cutters fitted with de-dusting systems are used, in order to comply with maximum threshold limit concentrations.

3.2.6 Site drainage and removal of spilt liquids

For environmental and safety reasons, site drainage is also of the greatest importance. In some cases heavily contaminated site waste-water is routed via the existing drainage lines to the neutralisation and settling ponds at the portals. It is necessary to continuously modify handling of the site waste-water and the junction of the new and old drainage systems, since the existing drainage lines are being replaced during work on the new bench structures.

4 Supporting provisions

Reconstruction work in this urban environment demands suitable supporting provisions for motorists and residents. In addition, it was decided, from the very start, to integrate the authorities, public transport representatives, local commerce, industry and culture, and also environmental and transport interest groups in the greater Lucerne region; ultimately, a project such as Cityring Lucerne can be implemented only with the understanding and trust of those affected.

4.1 Supporting traffic-relief provisions

If major bottlenecks with jams occur on the national motorway, traffic diverts via the local road system, causing

eintrags einen Vorschlag mit einer geschalteten Betonkonstruktion ausgearbeitet. Die Paramentschalungen werden mit einem Spezialbeton in einem Arbeitsgang hinterfüllt. Die ausgeschalteten Flächen weisen hinsichtlich der Oberfläche einen hohen Standard ohne grössere erkennbare Lunker auf. Diese Lösung leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Staubbelastung in den Tunnelanlagen.

- Belagfräsen mit Entstaubungsanlagen: Insbesondere an den Wochenenden werden grössere Belagflächen gefräst. Zur Einhaltung der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen kommen nur Belagfräsen mit Entstaubungsanlagen zum Einsatz.

3.2.6 Baustellenentwässerung und Abführen von Ereignisflüssigkeiten

Aus umwelt- und aus sicherheitstechnischen Überlegungen ist auch die Entwässerung der Baustellen äusserst wichtig. Das teilweise stark belastete Baustellenabwasser wird mit den vorhandenen Entwässerungsleitungen zu den Neutralisations- und Absetzbecken an den Portalen geführt. Da die Entwässerungsleitungen im Rahmen der neuen Bankettaufbauten ersetzt werden, gilt es, die Einleitung des Baustellenabwassers und den Zusammenschluss der neuen und alten Entwässerungssysteme laufend anzupassen.

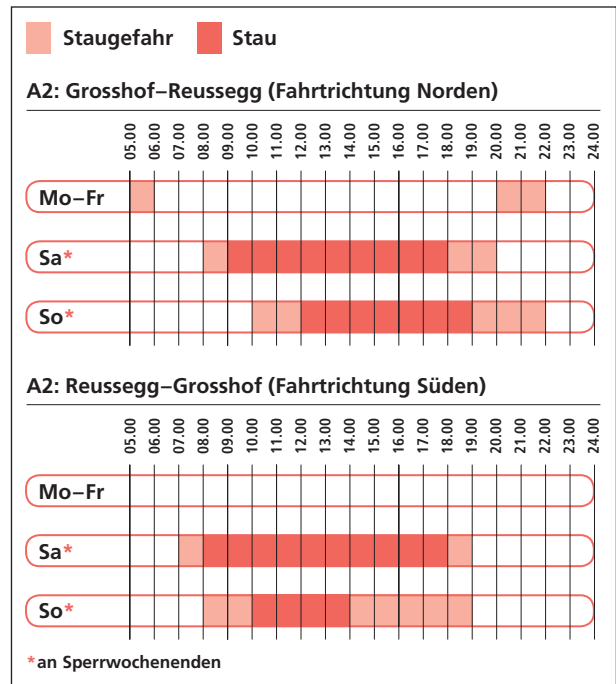
4 Flankierende Massnahmen

Die Erneuarbeiten im städtischen Umfeld rufen nach geeigneten flankierenden Massnahmen für Verkehrsteilnehmende und Anwohnende. Von Anfang an galt es zudem, Behörden, Vertreter des öffentlichen Verkehrs, der Wirtschaft und der Kultur sowie Umwelt- und Verkehrsverbände im Grossraum Luzern gut einzubinden. Denn ein Vorhaben wie der Cityring Luzern ist nur mit dem Verständnis und dem Vertrauen der Betroffenen umsetzbar.

4.1 Flankierende Massnahmen zur Verkehrsentlastung

Treten auf der Nationalstrasse grössere Engpässe mit Stau auf, weicht der Verkehr auf das untergeordnete Strassennetz aus – und verursacht dort entsprechende Überlastungen. Ohne flankierende Massnahmen müsste mit massiven Behinderungen in der gesamten Agglomeration Luzern gerechnet werden. Flankierende Massnahmen sollen die Auswirkungen reduzieren und die Verkehrssituation entspannen. Der Durchgangsverkehr auf der A2 und A14 soll auf den Nationalstrassen bleiben, damit das Lokalstrassennetz auch zu den kritischen Verkehrszeiten funktioniert. Neben der Verkehrsmittelwahl ist es wichtig, dass die Verkehrsteilnehmenden in der Stadt und in den umliegenden Gemeinden die kritischen Verkehrszeiten kennen (Bild 14). Zudem galt es, Korridore für die Ereignisdienste und die Baustellenlogistik einzurichten sowie die Sicherheit für Verkehrsteilnehmende und auf der Baustelle jederzeit zu gewährleisten.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein umfassender Katalog von Massnahmen auf der Strasse erarbeitet und in kürzester Zeit umgesetzt. Diese reichen von grossräumigen



14 Kritische Verkehrszeiten (2011)
Critical traffic periods (2011)

corresponding congestion there. It would be necessary, without extra supporting provisions, to anticipate severe congestion throughout the entire Lucerne conurbation. These supporting provisions are intended to reduce the effects, and defuse the traffic situation. Through traffic on the A2 and A14 is to remain on the national motorway network, in order that the local road system continues to function during the critical rush periods. In addition to selecting the correct means of transport, it is also important that transport users in the city and the surrounding municipalities are aware of the critical traffic periods (Figure 14). It was also necessary to set up corridors for the emergency services and site logistics, and, of course, to assure the safety of road users and the worksites at all times.

A comprehensive catalogue of provisions on the roads was drafted and implemented in the shortest possible time in order to achieve these aims. These provisions range from far-reaching diversions on the national motorway, up to and including a sophisticated “metered-access system” on the local roads. Numerous interest groups were invited to state their needs during planning, and to express their views concerning implementation. This made it possible to create a basis of trust.

4.2 Information as a success factor

The supporting road-traffic provisions achieve their effect only if backed up by systematic and continuous information. Communications between the participants, partners and affected parties was therefore logically planned and implemented. The drafting of mobility solutions jointly with representatives from industry, interest groups, the authorities and

Umleitungen auf der Nationalstrasse bis zu einem ausgeklügelten Dosiersystem auf dem lokalen Strassennetz. Zahlreiche Anspruchsgruppen waren bei der Planung eingeladen, ihre Bedürfnisse zu formulieren und sich zur Umsetzung zu äussern. So gelang es, eine Vertrauensbasis zu schaffen.

4.2 Erfolgsfaktor Information

Die flankierenden Massnahmen auf der Strasse erreichen ihre Wirkung nur mit gezielter und kontinuierlicher Information. Auch die Kommunikation mit Beteiligten, Partnern und Betroffenen wurde deshalb systematisch geplant und aufgebaut. In der Vorbereitung auf die Hauptbauzeit war das Erarbeiten von Mobilitätslösungen mit Vertretern aus Wirtschaft, Interessensgruppen, Behörden und Verwaltung sowie die laufende Information der Beteiligten und Partner von grosser Bedeutung. Im Dialog mit den künftigen Betroffenen konnte Wohlwollen für das Schlüsselprojekt geschaffen werden. Auch während der Hauptbauzeit ist die regelmässige Information der Verkehrsteilnehmenden, der Anwohnerschaft und der breiten Bevölkerung ein massgeblicher Erfolgsfaktor. Die Erfahrungen der ersten Monate zeigen, dass die gezielte Information das Verkehrsgeschehen massgeblich beeinflusst, dass auch lärmgeplagte Anwohner die Bauarbeiten wohlwollend mitverfolgen sowie Gemeindevertreter und Gewerbetreibende konstruktive Initiativen ergreifen, um die Auswirkungen der 4-jährigen Bauzeit zu meistern. All dies sind wichtige Beiträge der Betroffenen, dass ein so ehrgeiziges Vorhaben wie der Cityring Luzern überhaupt realisierbar ist.

5 Schlussfolgerungen

Der Cityring Luzern ist in seiner Komplexität kaum zu überbieten. Die Rahmenbedingungen fordern allen Projektbeteiligten viel ab. Die Kapazitäten und das Know-how auf Seite der Planer, der Spezialisten und der Unternehmer sind die Voraussetzung für die Umsetzung des Vorhabens – genauso wie das Wohlwollen der Betroffenen. Die Baustellenlogistik, sicherheitstechnische Überlegungen und die Kommunikation stellen sich als wichtige Erfolgsfaktoren heraus.

Der Anspruch an die Verfügbarkeit des Nationalstrassensystems steigt, gleichzeitig wächst die Verkehrsmenge. Ob eine nächste Gesamterneuerung mit den gleichen Vorgaben – durchaus vergleichbar mit einer Operation am offenen Herzen – realisierbar ist, lässt sich heute nicht beantworten.

local government, combined with continuous information for all participants and partners, was of great significance during preparations for the main implementation period. Dialogue with those who would be affected made it possible to obtain public acceptance for this key project. Regular provision of information to road-users, local residents and businesses, and the population as a whole, is also a critical success factor during the main construction period. The experience gained in the first few months demonstrates that systematic information has a decisive influence on traffic, that even residents subjected to noise nuisance also monitor the work benevolently, and that local officials and business people adopt constructive initiatives in order to cope with the impact of the 4-year reconstruction period. All these are important contributions made by those affected to making such an ambitious project as the Cityring Lucerne feasible at all.

5 Conclusions

The Cityring Lucerne project is of virtually unparalleled complexity. The boundary conditions demand much from all participants. The capacities and know-how of the planners, specialists and contractors are the precondition for implementation of the project – just as the benevolence of the affected parties. Site logistics, safety and communications are important factors in achieving success.

The need for availability of the national motorway system is rising, and traffic volumes are growing simultaneously. The question of whether the next programme of all-in reconstruction, with the same circumstances and targets – entirely comparable to an open-heart operation – can be implemented, cannot be answered at present.



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 3271 1-300
untertagebau@alpine-bau.de
www.alpine-bau.de

www.alpine.at



Amberg Engineering Ltd.
 ■ Engineering for underground structures ■ Roads
 ■ Railways ■ Metros ■ Caverns ■ Infrastructures



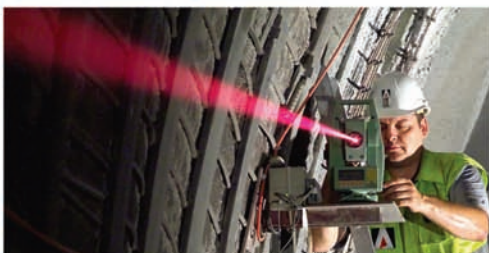
Amberg Group

Unique expertise
underground

www.amberg.ch



Amberg Technologies AG
 ■ Tunnel Systems ■ Rail Systems
 ■ Geengineering ■ Geophysics



Hagerbach Test Gallery Ltd.
 ■ Underground Training ■ Research & Test Gallery
 ■ Testing Laboratories ■ Visitors & Events





Bewehrungsbau ist unser Job.

Vorfabrizierte Bewehrungen sind im zeitgemässen Bauwesen unabdingbar. Die Bedeutung des Vorfabrizierens wird auf Grund des hohen Nutzens, man spart viel Zeit und Geld, weiter zunehmen.

Armaspez GmbH

Seftigenstrasse 370
 CH – 3084 Wabern
 Tel. +41 31 961 55 84
 Fax +41 31 961 24 27
 Mail: info@armaspez.ch
 Web: www.armaspez.ch

Partnerfirmen:

Armaspez Deutschland GmbH, Stuttgart
 Deltec GmbH, CH – 3952 Susten

Whatever your challenges are

Im Untertagbau 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

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




Ein Meisterstück der Tunnelbaukunst

Der Weinbergtunnel ist ausgebrochen: Mitten im Herzen der Stadt Zürich kam die Tunnelbohrmaschine wieder ans Tageslicht. Innerstädtischer Tunnelbau mit höchsten Anforderungen ist eines der Spezialgebiete von Basler & Hofmann. Wir bearbeiten Tunnelprojekte von der Machbarkeitsstudie bis zur Bauleitung, vom Sicherheitsplan bis zum Logistikkonzept.

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

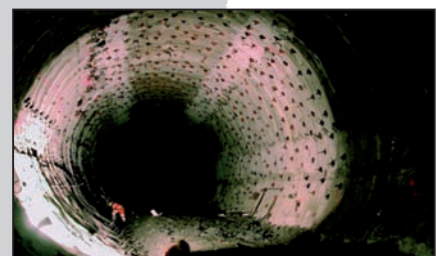


Tunnelling is our business.



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



Nature as our guide

BG
Ingénieurs Conseils
Ingenieure & Berater
Consulting Engineers

Collective intelligence as our strength

Let's create a sustainable living environment

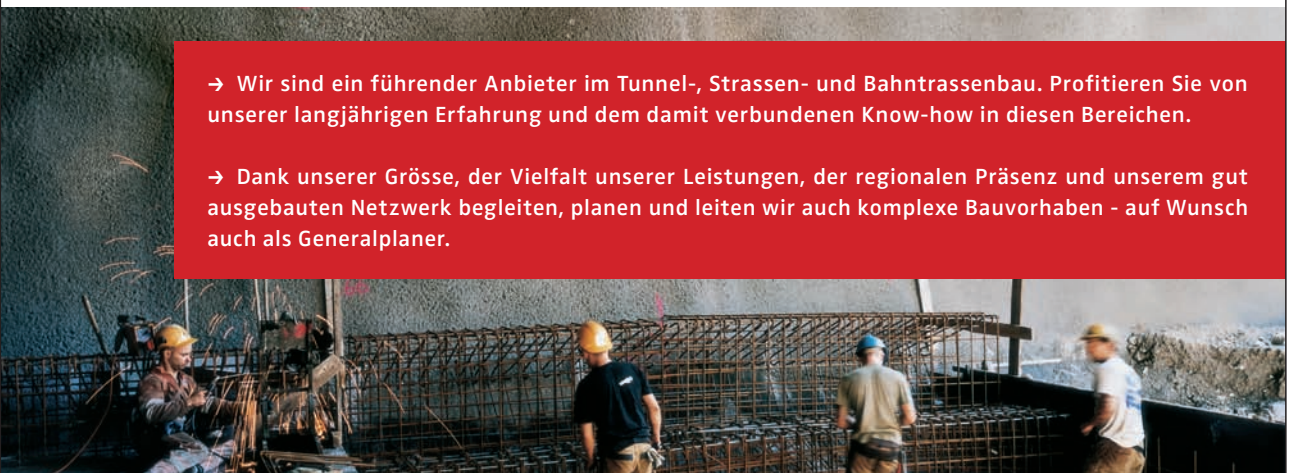
www.bg-21.com



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.

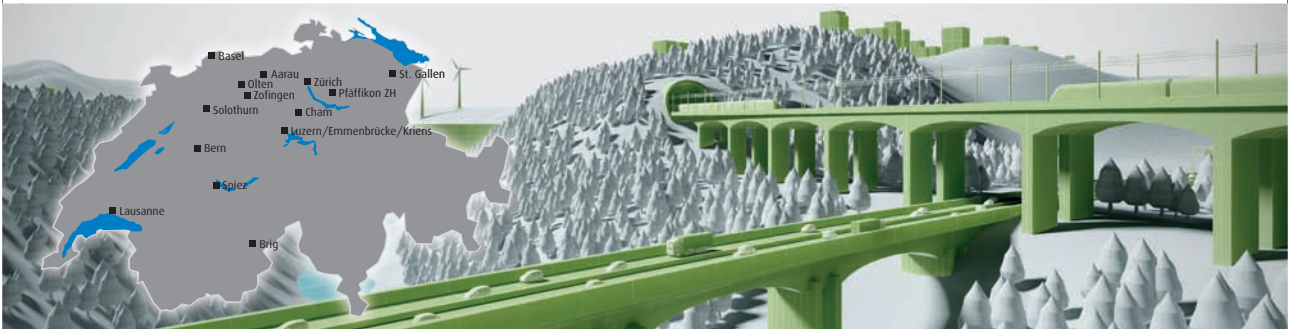
→ Dank unserer Grösse, der Vielfalt unserer Leistungen, der regionalen Präsenz und unserem gut ausgebauten Netzwerk begleiten, planen und leiten wir auch komplexe Bauvorhaben - auf Wunsch auch als Generalplaner.



Zürich | Winterthur | Chur | Pontresina | St. Moritz | Zuoz | Poschiavo | Mesocco | Lugano | Rivera

www.toscano.ch

The plus for innovative global solutions.



Our services

- Consultancy, studies, expert advice
- Conceptual design, planning
- Project management, trusteeship, construction supervision
- Operation, maintenance, monitoring

Fields of activity

- Building construction
- Civil engineering structures
- Road construction
- Railway construction
- Railway technology / operations
- Underground and tunnel construction
- Mobility, traffic
- Supply and waste management
- Environment, ecology
- Overall planning, construction economics
- Project management, consultancy
- Hydraulic engineering and natural hazards
- Safety
- Survey and geomatics
- Information technology

Global solutions are our strength. | Emch+Bergner Group

Gartenstrasse 1 | PO Box 8565 | CH-3001 Bern | Tel. +41 31 382 19 00 | info@emchberger.ch | www.emchberger.ch



Mike Schmid, Olympiasieger Skicross 2010

Vorsprung verbindet

Olympiasieger Mike Schmid baut auf Fischer Rista.
Innovation, Effizienz, Sicherheit – Unsere Qualität, Ihr Vorteil.

Fischer Rista AG | 5734 Reinach | Telefon +41(0)62 288 15 75 | www.fischer-rista.ch



Projekte mit Power

Bauen für morgen



frutiger.com

HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING



SCHWEIZ



WELTREKORD AUF GANZER STRETCKE. GOTTHARD-VORTRIEBE ERFOLGREICH ABGESCHLOSSEN.

Mit dem finalen Durchstich in der Gotthard-Weströhre am 23. März 2011 steht der längste Verkehrstunnel der Welt vor seiner Fertigstellung. Nach dem Durchbruch in der Oströhre im Oktober 2010 ist nun der Weg frei für insgesamt 2x 57 Kilometer schnelle Eisenbahn-Kilometer, die den Norden und den Süden Europas näher zusammenbringen. Mit 4 Gripper-TBM von Herrenknecht realisierten die Mineure

der Arbeitsgemeinschaften TAT und AGN im Auftrag der AlpTransit Gotthard AG ein wahres Jahrhundertbauwerk.

Wir danken der Bauherrin Alp Transit und unseren Kunden, dass wir bei dieser spektakulären Meisterleistung mit unserer Tunnelvortriebstechnik dabei sein und Geschichte schreiben durften.

GOTTHARD | SCHWEIZ

PROJEKTDATEN



Erstfeld-Amsteg,
Amsteg-Sedrun
2x Gripper-TBM
Durchmesser: 9.580 mm
Tunellängen:
2x 7,1 km, 2x 10,7 km

AUFTRAGGEBER

ARGE AGN:
STRABAG AG Tunnelbau
Schweiz (CH)/
STRABAG AG (A)



Faido-Sedrun,
Bodio-Faido
2x Gripper-TBM
Durchmesser:
8.830 mm/9.430 mm
Tunellängen:
2x 11,1 km, 13,4 km, 14,1 km

ARGE TAT:
Implenia Industrial
Construction,
Alpine Bau GmbH,
CSC Impresa Costruzioni SA,
Hochtief AG,
Impregilo SpA

Herrenknecht Aktiengesellschaft
Der Vorstand

Dr.-Ing. E.h. Martin Herrenknecht
Vorstandsvorsitzender

Dipl.-Ing. (FH) Gebhard Lehmann
Stellv. Vorstandsvorsitzender

Betriebswirt (VWA) Kurt Stiefel
Vorstand

Herrenknecht AG
D-77963 Schwanau
Tel. + 49 7824 302-0
Fax + 49 7824 3403
marketing@herrenknecht.de

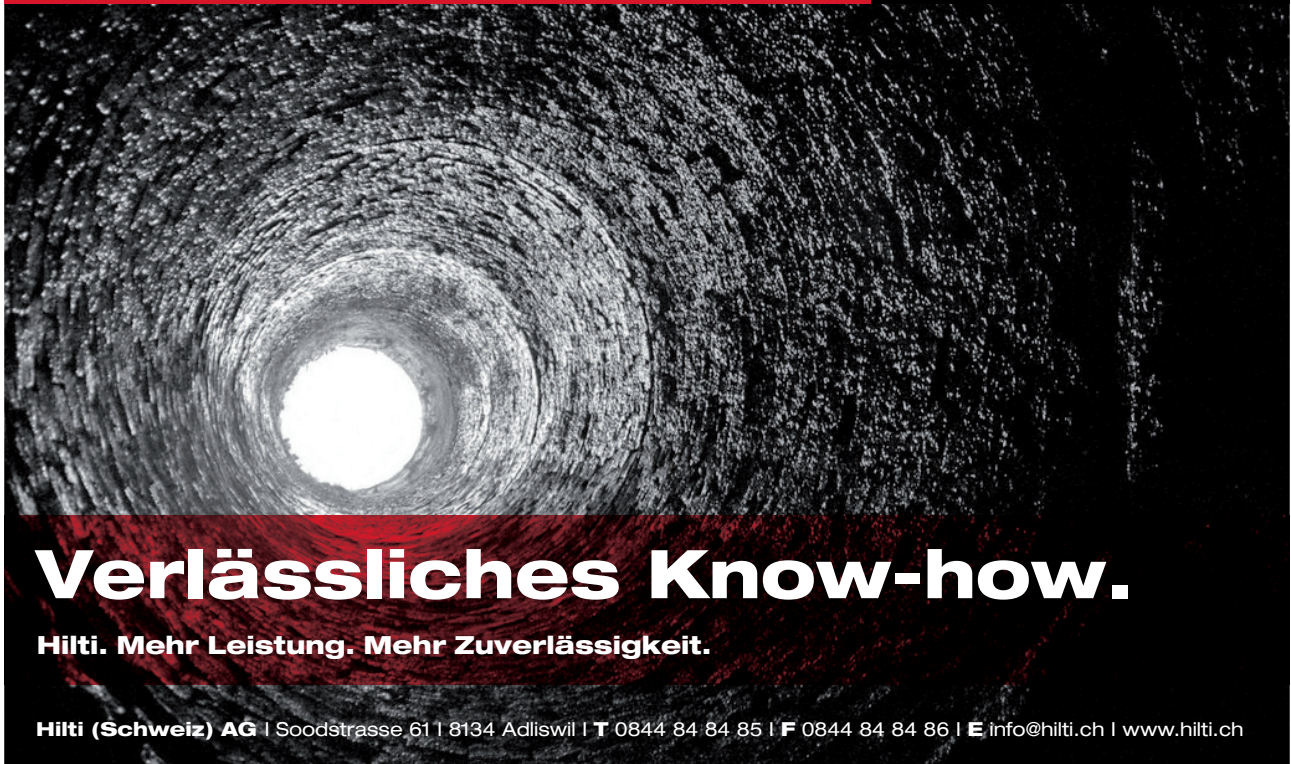
www.herrenknecht.de

Herrenknecht
(Schweiz) AG
CH-6474 Amsteg
Tel. + 41 41-884-80 80
Fax + 41 41-884-80 89



HILTI

Ihr Kompetenzpartner
im Tunnelbau



Verlässliches Know-how.

Hilti. Mehr Leistung. Mehr Zuverlässigkeit.

Hilti (Schweiz) AG | Soodstrasse 61 | 8134 Adliswil | T 0844 84 84 85 | F 0844 84 84 86 | E info@hilti.ch | www.hilti.ch

Nachhaltiges Bauen mit Beton

Holcim (Schweiz) AG
8050 Zürich
Telefon +41 58 850 68 68
www.holcim.ch



www.ilf.com



ENGINEERING EXCELLENCE

ILF Beratende Ingenieure AG

Badenerstrasse 816
8048 Zürich, Schweiz
Telefon 044 435 37 50
Telefax 044 435 37 51
Email info@zuerich.ilf.com



ILF Zürich ist Mitglied der ILF Gruppe mit weltweit 1.760 Mitarbeiter.

ILF unterstützt seine Kunden bei der erfolgreichen Realisierung bedeutender Infrastrukturprojekte und bietet gesamthafte Ingenieur- und Beratungsleistungen an.

IHR ZUVERLÄSSIGER PARTNER

Bewährt bei:

- Gotthard-Basistunnel
- Trans Adriatic Pipeline
- Kraftwerk Linth Limmern
- Pumpspeicherwerk Atdorf
- Belchentunnel
- Eppenbergtunnel
- Studie Geologische Tiefenlager, Nagra
- Studie 2. Röhre Gotthard Strassentunnel
- Fäsenstaub-/Cholfirsttunnel, Bau/BSA

Implenia® Gratulation zum längsten Tunnel!



Implenia denkt und baut fürs Leben. Gern.

www.implenia-bau.com



INFRA TUNNEL



A16, Tunnel du Neu-Bois (JU)



H 182, Tunnel de la Poya (FR)



A5, Tunnel de Serrières (NE)



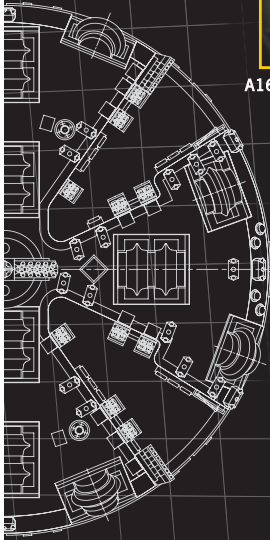
A16, Tunnel de Sous le Mont (BE)



CFF, Tunnels du Mormont (VD)



Laboratoire du Mont-Terri (JU)



Infra Tunnel SA - Rue de la Gare 15c - 2074 Marin, Switzerland - 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, projekt 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 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



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





Lombardi

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

Marti Bauunternehmungen



Marti builds

Marti has qualified and experienced coworkers in all areas of tunnel construction. The ultramodern machinery includes several roadheaders, boring jumbos and tunnel boring machines with different diameters.

Marti Holding AG Bauunternehmungen Seedorffeldstrasse 21 CH-3302 Moosseedorf
Tel. +41 31 388 75 75 Fax +41 31 388 75 01 info@martiag.ch www.martiag.ch



Unser Ingenieurwesen basiert auf langjähriger Erfahrung

Nach Vorne blicken, um den besten Weg zu bestimmen. Seit 60 Jahren entwickeln und leiten wir multidisziplinäre Projekte unter Berücksichtigung, dass das Ingenieurwesen eine in die Gesellschaft eingebettete offene Disziplin, ein Gesamtsystem von Prozessen, Dynamiken und Beziehungen ist.

AlpTransit – CeneriBasisTunnel



pini associati ingegneri

pini associati ingegneri Via Besso 7 CH-6900 Lugano T +41 91 961 24 00 W www.piniassociati.com



Wegweisend

Wir planen und projektieren die Infrastrukturprojekte von morgen. Unsere Dienstleistungen erstrecken sich über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Wir handeln lösungsorientiert

und packen Problemstellungen systematisch an. Mit uns haben Sie einen verlässlichen Partner, der Ihre Interessen vertritt und in Ihrem Sinne das Projekt zu nachhaltigem Erfolg führt.

 **PÖYRY**
Engineering balanced sustainability™

www.poyry.ch



Mit Sicherheit richtig befestigt:



Wir bringen Licht ins Dunkle mit
fischer-Befestigungssystemen

SFS unimarket AG | Befestigungstechnik
CH-6343 Rotkreuz | www.sfsunimarket.biz
tma@sfsunimarket.biz | T 041 798 25 24

SFS unimarket



Sika —
der verlässliche Partner im Tunnelbau

■ Neubau | Instandsetzung | Unterhalt



Innovation & Consistency | since 1910

www.sika.ch

Innovativ, kundenorientiert, international in Geotechnik und Hydrogeologie

► Hydrogeologie –
Charakterisierung und Messsysteme



► Geotechnik –
Instrumentierung und in-situ Versuche



Die Firma Solexperts AG steht auf einem stabilen Fundament: Über 30 Jahre Erfahrung von hoch qualifiziertem Fachpersonal sorgen für optimale Unterstützung bei geotechnischen und hydrogeologischen Projekten – mit soliden Messkonzepten, weltweit anerkannten Messverfahren, Instrumentierungen, Beobachtungsmethoden und Feldversuchen. hiDCon - Elemente sind die optimale Lösung um Gebirgsspannungen beim Tunnelbau in druckhaften und quellfähigen geologischen Formationen zu reduzieren.

Mehr Informationen finden Sie unter:
www.solexperts.com – www.hidcon.ch
Telefon +41 44 806 29 29

hiDCon[®] **SOLEXPERTS**
Swiss Precision Geomonitoring



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

Internet www.strabag.ch

Internet www.agn-erstfeld.ch

WIR SCHAFFEN RAUM FÜR KOMMENDE GENERATIONEN

ALL-IN-ONE Lösung



FOR SALE!
second hand
tunnelling-equipment
www.tat-ti.ch

A large group of construction workers in orange uniforms and hard hats are gathered in front of a massive, circular cutterhead of a tunnel boring machine (TBM). They are holding several national flags, including the Swiss flag, the Italian flag, the Austrian flag, and a yellow flag with a black bull logo. The scene is set in a dark, rocky tunnel environment.



Consorzio TAT
Tunnel AlpTransit – Ticino, Bodio Lotto 554 / Faido Lotto 452



Implenia



ALBERT



CSC



HOCHTIEF



IMPREGILO

ARGE TRANSCO - Sedrun



Implenia Bau AG



Frutiger AG



Bilfinger Berger
Ingenieurbau GmbH



Pizzarotti S.p.A.



Der kompetente Partner für die Bahntechnik

transtec  **gotthard**



Bahntechnik Gotthard-Basistunnel

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 Sorans
T +41 26 915 90 00 • F +41 26 915 90 03
info@mapei.ch • www.mapei.ch

SUCCESSFUL PRODUCTS FOR TRACK SYSTEMS



www.vigier-rail.ch
www.vigier-ciment.ch

© BLS Netz AG



Walo Bertschinger - Ihr Partner für alle Bauwerke.

Walo Bertschinger AG
Untertagbau, CH-8021 Zürich
Telefon +41 44 745 23 11

Untertagbau@walo.ch
www.walo.ch



« Für rationelle
und sichere
Elektro-Installationen. »

Wissen | Erfahrung | Beratung

Woertz steht für Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit.

