

SWISS TUNNEL CONGRESS **2013**

Fachtagung für Untertagbau

4. + 5. Juni 2013 in Genf



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
Luzi R. Gruber, Dipl. Ing.	Vice President Swiss Tunnelling Society
Heinz Ehrbar, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Gian Luca Lardi, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Pierre Michel, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Anton Schleiss, Prof. Dr.	Swiss Tunnel Congress
Georg Anagnostou, Prof. Dr.	Swiss Tunnel Colloquium
François Bertholet, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Colloquium
Matthias Neuenschwander, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Colloquium
Jürg Röthlisberger, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Colloquium
Iris Otter / Viktor Gjorgjiev	Secretariat

© 2013 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: Roland Herr, HERR PR, Bielefeld/D

Druckvorstufe: A. Sieweke, ess:zett design, Gütersloh/D

Druck: Druckerei Peter Pomp GmbH, Bottrop/D

Auflage: 800 Exemplare

ISBN 978-3-033-03920-9

Swiss Tunnel Congress 2013 – Fachtagung für Untertagbau

Umschlagfoto: Tunnelverzweigung Sedrun / Sedrun Tunnel Bifurcation Chamber (Copyright: ARGE TRANSCO)

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.

Anagnostou, Georg	Prof. Dr., Institut für Geotechnik, ETH Hönggerberg, Zürich/CH
Belloli, Alberto	Dr. sc., Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ/CH
Bertholet, François	Marti Tunnelbau AG, Moosseedorf/CH
Borradori, Marco	Già Consigliere del Canton Ticino, Bellinzona/CH
Bosshard, Martin	Präsident, FGU Fachgruppe für Untertagbau, Esslingen/CH
Chiaverio, Flavio	A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel/CH
Collomb, Daniel	BG Ingénieurs Conseils, Lausanne/CH
Debie, Cyril	BG Ingénieurs Conseils, Lyon/F
Ehrbar, Heinz	Heinz Ehrbar Partners GmbH, Herrliberg/CH
Ferrari, Alessandro	B+S AG, Bern/CH
Filippini, Raffaele	Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca/CH
Gollegger, Johannes	Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH
Gruber, Luzi R.	Swiss Tunnel Holding Ltd., Esslingen/CH
Gut, Thomas	Marti Contractors Ltd., Moosseedorf/CH
Häfliger, Philipp	Walo Bertschinger AG, Zürich/CH
Kovári, Kalman	Prof. Dr., Beratender Ingenieur, Zürich/CH
Lacroix, Alain	SPIE Batignolles TPCI, Boulogne-Billancourt/F
Lieb, Rupert H.	Dr. sc. techn., AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Massignani, Sergio	Marti Tunnelbau AG, Moosseedorf/CH
Matsch, Stefan	Dr. sc. techn., Ernst Basler + Partner AG, Zürich/CH
Meili, Paul	Ehem. Leiter Nationalstrassenbau Kanton Zürich, Schönenberg/CH
Neuenschwander, Matthias	Lombardi AG, Minusio/CH
Patret, Philippe	Vinci Construction Grands Projet, Ruell-Malmaison/F
Ramoni, Marco	Dr. sc., Basler & Hofmann AG, Esslingen/CH
Rossi, Francesco	G. Dazio & Associati SA, Cadenazzo/CH
Sala, Alex	Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH
Santarelli, Stelvio	Dr.-Ing., Consorzio Condotte Cossi, Sigirino/CH
Schneider, Alex	Dr. sc. techn., Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH
Seiler, Wolfgang	AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Simoni, Renzo	Dr. sc. techn., AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Soll, Annette	Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH
Steiner, Walter	Dr. sc., B+S AG, Bern/CH
Tanner, Simon	Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH
Theiler, Andreas	Lombardi AG, Luzern/CH
Weiss, Roland	VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums/CH
Wick, Raphael	Gähler und Partner AG, Ennetbaden/CH
Witschi, Tobias	B+S AG, Bern/CH

6	Bosshard, Martin	Vorwort – Preface
10	Borradori, Marco	Allocuzione introduttiva – Gallerie e nuovi territori <i>Welcoming Address – Tunnels Offer New Living Spaces</i>
Gotthard-Basistunnel – Gotthard Base Tunnel		
14	Simoni, Renzo	Bilanz des weltweit längsten Eisenbahntunnels <i>Balance of the World's longest Rail Tunnel</i>
16	Simoni, Renzo	Herausforderungen auf dem Weg zum Weltrekord <i>Challenges en Route to the World Record</i>
28	Lieb, Rupert H. Matsch, Stefan Weiss, Roland	Innovationen bei der Materialtechnologie <i>Innovations for Material Technology</i>
42	Sala, Alex Wick, Raphael	Projektierung in bisher unbekannt Dimensionen <i>Planning in hitherto unknown Dimensions</i>
58	Ehrbar, Heinz Seiler, Wolfgang Neuenschwander, Matthias Wick, Raphael	Vertragsmanagement – ein wichtiger Erfolgsfaktor für Grossprojekte <i>Contract Management – an Important Success Factor for Major Projects</i>
76	Gruber, Luzi R.	Lohnt sich ein Werkvertrag für ein Megabauros? <i>Is it worth signing a Mega Contract?</i>
88	Simoni, Renzo	Innovationsschub auf allen Ebenen <i>Innovations at all Levels</i>
Grossprojekte – Major Projects		
90	Ferrari, Alessandro Witschi, Tobias Steiner, Walter	CEVA Tunnel de Champel – 1,6 km innerstädtischer Tunnelvortrieb im Lockergestein <i>CEVA Tunnel de Champel – 1.6 km Urban Tunnelling in Soft Soil</i>
102	Massignani, Sergio	Tunnel de Choindéz – Unterschiedliche Vortriebsverfahren im Faltenjura <i>Tunnel de Choindéz – Different Driving Methods in folded Jura</i>
120	Gut, Thomas	Wasserkraftstollen in Bhutan – Logistische Herausforderungen beim Bau <i>Hydropower Tunnel in Bhutan – Logistical Challenges during Construction</i>



- 134** Gollegger, Johannes
Ramoni, Marco
Soll, Annette
Follo Line Project, Oslo/N – Drill & Blast versus TBM
- 140** Collomb, Daniel
Debie, Cyril
Lacroix, Alain
Patret, Philippe
Tunnel de Saverne – LGV Est-Européenne deuxième Phase
The Saverne Tunnel – HSL East European Second Phase
- 152** Belloli, Alberto
Santarelli, Stelvio
Ceneri-Basistunnel – Kombination von Flexibilität und Produktivität dank hoher Mechanisierung der konventionellen Hauptvortriebe
Ceneri Base Tunnel – Combining Flexibility and Productivity by substantial Mechanization of the main conventional Headings

Swiss Tunnel Colloquium 2013

Wahl der Tunnelbaumethode – Choice of Tunnelling Method

- 166** Anagnostou, Georg
Bertholet, François
Einführung – *Introduction*
- 168** Meili, Paul
Westumfahrung Zürich – Uetlibergtunnel
Zurich West Bypass – Uetliberg Tunnel
- 178** Häfliger, Philipp
Wahl der Vortriebsmethodik im Lockergestein – Tunnel der Umfahrung Biel Ostast
Choice of Driving Methods in soft Ground – Biel East Bypass Tunnel
- 202** Chiaverio, Flavio
3. Röhre Belchentunnel – Wahl der Vortriebsverfahren
3rd Tunnel Bore of Belchen Tunnel – Choice of Driving Methods
- 220** Schneider, Alex
Tanner, Simon
Eyholztunnel – Reduktion bautechnischer Risiken
Eyholz Tunnel – Reducing Engineering Risks
- 236** Rossi, Francesco
Filippini, Raffaele
Kovári, Kalman
Ceneri-Basistunnel – Kaverne unter einem Autobahndamm
Ceneri Base Tunnel – Cavern beneath a Motorway Embankment
- 250** Theiler, Andreas
Quarzstaub und Gesundheitsschutz – Einfluss auf Projekt und Vortriebsverfahren
Quartz Dust and Protecting Health – Influence on Project and Driving Methods





© Monika Schläppi

Vorwort • Preface

Martin Bosshard

Präsident der
Fachgruppe für Untertagbau

President of the
Swiss Tunnelling Society

Einmal mehr belegt der vorliegende zwölfte Tagungsband des Swiss Tunnel Congress (STC), dieses Jahr eingebettet in den World Tunnel Congress (WTC) in Genf, welche anspruchsvollen Tunnelbauprojekte in der Schweiz realisiert werden. Auch im Ausland sind herausfordernde Projekte in Planung oder in der Ausführung, von denen wir einige mit Schweizer Beteiligung vorstellen.

Am Mittwoch, 5. Juni 2013, wird die Swiss Session durch den Präsidenten und durch den Staatsrat des Kantons Tessin, Marco Borradori, eröffnet. Der Titel seines Eröffnungsvortrags lautet „Tunnel bieten neue Lebensräume“. In diesem Jahr ist der Grossteil des Vormittags bei der Swiss Session dem Gotthard-Basistunnel (GBT) gewidmet. Bei den Vorträgen werden Highlights der Planung und des Baus des längsten Eisenbahntunnels der Welt dargestellt und die erzielten Erfolge sowie die gemachten Erfahrungen, die „Lessons Learnt“, aufgezeigt.

Die Präsentationen reichen von frühen Projektphasen über die umgesetzten Innovationen des 152 km langen Vortriebs und erläutern die gefundenen Lösungen zu Vertragsfragen und zur Streitschlichtung. Ebenfalls geschildert werden die Herausforderungen aus Sicht des Bauunternehmers. Im Fokus aller Vorträge steht einerseits die Darstellung von Daten und Fakten, andererseits unser Stolz auf die geleistete Arbeit: ja, wir haben es geschafft!

Schweizer Projekte sowie ausländische Projekte mit schweizerischer Beteiligung werden am Nachmittag vorgestellt. Die Tagung beginnt mit dem CEVA-Projekt in Genf. Die nächsten Projekte sind Strassentunnel bei Choindéz im Schweizer Jura und bei Saverne in Frankreich. Weitere Präsentationen stel-

The current twelfth proceedings of the Swiss Tunnel Congress (STC), this year embedded in the World Tunnel Congress (WTC) in Geneva, once again testify to the sophisticated tunnelling projects being accomplished in Switzerland. There are also outstanding projects in progress abroad as well, some of which we are presenting with Swiss involvement.

On Wednesday, June 5, 2013, by the Swiss Session will be opened by the president and by the federal councillor of the Canton of Ticino, Marco Borradori. His opening lecture is captioned “Tunnels offer new Living Spaces”. This year, the bulk of the morning is devoted to the Gotthard Base Tunnel (GBT). The papers will concentrate on highlights in planning and construction of the world’s longest rail tunnel and deals with the successes achieved as well as the findings obtained, the “lessons learnt”.

The presentations range from early project phases by way of the innovations introduced for the 152 km long drive and explain the solutions found for contractual issues and for settling disputes. The challenges seen from the contractor’s viewpoint are also described. All lectures are primarily focused on presenting data and facts and also on our pride in the work we performed, in other words: yes we did it!

Swiss projects as well as foreign projects with Swiss involvement will be presented in the afternoon. The Congress first deals with the CEVA project in Geneva. The next projects are road tunnels near Choindéz in the Swiss Jura and at Saverne in France. Further presentations look at an interesting hydro power project in the Kingdom of Bhutan in the Himalayas and the planned rail tunnel between Oslo and Ski, currently the longest rail tunnel in Norway. The decision between a

len ein interessantes Wasserkraftprojekt im Königreich Bhutan im Himalaya und den geplanten Eisenbahntunnel zwischen Oslo und Ski, dem derzeit längsten Eisenbahntunnel in Norwegen vor. Dem Entscheid zwischen einem konventionellen Vortrieb und dem TBM Vortrieb gingen lange und intensive Diskussionen voraus. Im letzten Vortrag werden die verschiedenen Aspekte des konventionellen Hochleistungsvortriebs im Ceneri-Basistunnel (CBT) erläutert.

Am Nachmittag des Vortages, 4. Juni 2013, findet das Colloquium statt zum Thema „Wahl der Tunnelbaumethode“. Es wird eine breite Palette von Projekten präsentiert, die von bereits abgeschlossenen Bauvorhaben wie etwa dem Uetlibergtunnel bis hin zu laufenden Projekten wie dem Längholtunnel (Biel), Eyholtunnel (Visp) und Ceneri-Basistunnel (CBT) reicht.

Im Colloquium wird die Wahl des Bauverfahrens und der Ausbruchmethode aus Sicht des Bauherrn, des Ingenieurs und des Bauunternehmers erörtert. Dabei werden die wesentlichen Aspekte wie Kosten, Bauprogramm, Qualität und Sicherheit angesprochen, die in einem Spannungsverhältnis zu Gesichtspunkten aus Genehmigungs-, Umwelt-, Sicherheits- und Arbeitsschutzbestimmungen stehen. Der Bereich „Arbeitsschutz“ wird derzeit im Zusammenhang mit der Quarzstaubbelastung bei Tunnelvortrieben intensiv bearbeitet. Die Ergebnisse dieser Arbeit fliessen in eine zukünftige Richtlinie ein.

Im Colloquium wird aufgezeigt, wie man in der Schweiz bei der Optimierung grosser Infrastrukturprojekte vorgeht: sämtliche Prozessbetroffenen werden zu Prozessbeteiligten gemacht und in die Konzeption, die Genehmigung und den Bau mit eingebunden.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei den Referenten, Tagungsleitern, Organisatoren mit ihren Helfern, Ressortleitern des Vorstandes, Bauherren und Baustellen sowie natürlich auch bei den grosszügigen Sponsoren bedanken. Nur dank ihnen gelang es, den World Tunnel Congress 2013 in der Schweiz auszurichten sowie jedes Jahr den Swiss Tunnel Congress organisieren und durchführen zu können.

Ich wünsche Ihnen einen spannenden Kongress und eine anregende Lektüre.

conventional and the TBM excavation was preceded by long and intensive discussions. In the final paper, the various aspects of the high-performance conventional drives in the Ceneri Base Tunnel (CBT) are explained.

The afternoon of the previous day, June 4, 2013, will be devoted to the Colloquium on “Choice of Tunnelling Method”. A wide range of projects will be examined, from construction schemes that have already been concluded, such as the Uetliberg Tunnel for example, right up to ongoing projects such as the Langholz Tunnel (Biel), Eyholz Tunnel (Visp) and the Ceneri Base Tunnel (CBT).

At the Colloquium, the choice of construction method will be discussed seen from the angle of the client, the engineer and the contractor. Towards this end, the main aspects such as costs, construction programme, quality and safety, which have to perform a balancing act with aspects relating to approval, environmental, safety and occupational safety regulations, will be tackled: The field of “Occupational Safety” is currently being intensively researched in conjunction with the impact of quartz dust in tunnel drives. The outcome of these activities will be integrated in a future guideline.

At the Colloquium it will be demonstrated how we approach the optimisation of major projects in Switzerland: all those the process affects become involved in the process and are included at the conception, approval and construction stages.

At this point, I should like to express my warmest thanks to the lecturers, Congress managers, organisers together with their assistants, section heads on the board, clients and construction sites as well of course, to the generous sponsors. You made it possible for the World Tunnel Congress 2013 to be staged in Switzerland as well as to organise and hold the Swiss Tunnel Congress on an annual basis.

I wish you all a stimulating Congress and exciting reading.



Martin Bosshard, President

Hauptsponsoren • Main Sponsors

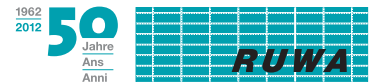


Consorzio TAT



Hauptsponsoren • Main Sponsors

 **Lombardi**



SFS unimarket



transtec  *gotthard*



woertz 

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
Agir Aggregat AG, Affoltern am Albis
Avesco AG, Langenthal
Dörken AG, Arlesheim
Kiener + Wittlin AG, Zollikofen
Liebherr Baumaschinen AG, Reiden
Locher Ingenieure AG, Zürich

Mauerhofer & Zuber SA, Renens
Minova AG, Birmensdorf
Nationale Suisse, Basel
PORR Suisse AG, Altdorf
RODIO Geotechnik AG, Urdorf
Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, Aarau
Solexperts AG, Mönchaltorf

Marco Borradori, Avvocato, già Consigliere di Stato del Canton Ticino, Bellinzona/CH

Allocuzione introduttiva

Gallerie e nuovi territori

Le gallerie non sono solo opera di mobilità, ma mutano profondamente la natura degli spazi collegati, creando nuovi territori. Il Ticino si trasformerà con la trasversale ferroviaria del San Gottardo: infatti, le due metà del Cantone tenderanno a essere un'unica città. Con il tunnel di base del Monte Ceneri, la galleria Vedeggio-Cassarate getta le basi per la nascita di un intero nuovo quartiere a Lugano.

Welcoming Address

Tunnels Offer New Living Spaces

Tunnels are not only projects for mobility. They also profoundly alter the nature of connected spaces, creating new areas. Ticino has been transformed by the Gotthard Railway Tunnel. In fact, the two halves of the canton are becoming a single city. Along with the Ceneri Base Tunnel, the Vedeggio-Cassarate Tunnel paves the way for the birth of a whole new district in Lugano.

Un evento che trova la sua collocazione ideale nell'ambito del World Tunnel Congress, organizzato quest'anno qui in Svizzera.

Siamo il Paese giusto, direi, perché le opere di alta ingegneria sono parte integrante della Confederazione elvetica, una nazione dal territorio frastagliato e dai numerosissimi rilievi. In particolare, le costruzioni in sotterranea, sono necessarie per addomesticare la difficile morfologia del nostro territorio e per salvaguardare spazio prezioso.

Un obiettivo, quest'ultimo, in linea con gli scopi della International Tunnelling and Underground Space Association (ITA), che dal 1974 si prefigge di incoraggiare l'uso del sottosuolo a favore del pubblico, dell'ambiente e dello sviluppo sostenibile.

Ma facciamo un balzo indietro. Nel 1708 venne inaugurato quello che probabilmente è il primo traforo alpino: il famoso Urnerloch (Buca d'Uri), sotto la direzione dell'ingegnere ticinese Pietro Morettini.

Era un tunnel di soli 64 m, realizzato in meno di un anno di lavoro, eppure per l'epoca fu importante quanto, nel 1882, l'apertura della galleria ferroviaria del San Gottardo e, circa un secolo dopo, di quella autostradale. Altrettanto fondamentale sarà, tra pochi anni, la messa in esercizio del tunnel di base di AlpTransit, il cui ultimo diaframma è caduto il 15 ottobre 2010 nei tempi e costi previsti. Con i suoi 57 km di lunghezza il tunnel di base del San Gottardo sarà la galleria ferroviaria più lunga del mondo!

This is a development which is ideally reflected in the World Tunnel Congress, organized here in Switzerland this year.

I would say that we are the right country for the event because high-tech engineering projects are an integral part of the Swiss Confederation, a country with a rugged territory



Grussbotschaft

Tunnel bieten neue Lebensräume

Tunnel verbessern nicht nur die Mobilität, sondern bewirken eine tiefgreifende Veränderung der miteinander verbundenen Gebiete und schaffen neue Lebensräume. Mit der Bahnstrecke der Gotthard-Transversale hat sich der Tessin verändert. Die 2 Kanton-Bereiche werden zu einer Stadt zusammenwachsen. Mit dem Ceneri-Basistunnel legt der Tunnel Vedeggio-Cassarate die Grundlagen für die Entstehung eines vollständig neuen Stadtteils in Lugano.

Marco Borradori

Avant-propos

Les tunnels offrent de nouveaux espaces de vie

Les tunnels n'améliorent pas seulement la mobilité, ils ont pour effet de modifier profondément les territoires qu'ils relient entre eux et de créer de nouveaux espaces de vie. Avec la nouvelle transversale ferroviaire du Saint-Gothard, le Tessin a changé de visage. Les 2 parties du canton vont se rejoindre et former une ville. Avec le tunnel de base du Ceneri, le tunnel Vedeggio-Cassarate pose les bases du futur développement d'un quartier entièrement nouveau à Lugano.

Marco Borradori

La Buca d'Uri, infatti, facilitò molto il transito lungo l'asse già allora internazionale del San Gottardo, così come aveva fatto circa cinque secoli prima l'ardito Teufelbrücke, realizzato nelle impervie gole della Schöllenen.

Ma non si tratta solo di mobilità, anzi! Queste opere di ingegneria aprirono spazi e crearono – non è esagerato affermarlo – nuovi territori, ben più ampi di quelli toccati direttamente dalle infrastrutture medesime. Cambiando così, profondamente, la vita delle popolazioni.

Come noto, i primi confederati si unirono attorno alla Via delle Genti: essa è stata la chiave di volta della nascita di un intero Paese, che con le sue diverse culture si è saldato attorno al San Gottardo.

L'apertura della linea ferrovia ottocentesca attraverso il massiccio centrale elvetico avvicinò finalmente il Ticino al resto della Svizzera, diede il via al movimento turistico e a una profonda trasformazione territoriale, sociale, economica e culturale.

Un secolo dopo, il tunnel autostradale unì ulteriormente il nostro Cantone al resto del Paese, favorì ancor di più il turismo da Nord e fece del Ticino, con il costante incremento del traffico merci, una piattaforma d'interscambio e di logistica nell'interesse di tutta la Confederazione.

L'incremento del trasporto merci su gomma è poi andato oltre qualsiasi previsione: da qui l'esigenza – in realtà accolta un po' tardivamente – di realizzare l'asse ferroviario di base di AlpTransit.

Questa grande opera è la risposta primaria alla forte crescita della mobilità e, in particolare, alle nuove esigenze di politica sostenibile in materia di trasporto merci. Un traffico che va indirizzato nella massima misura possibile sulla via ferrata, togliendolo dalla strada.

and numerous mountain peaks. In particular, underground construction is necessary in order to tame the difficult morphology of our territory and to safeguard valuable space.

The latter goal is in line with the aims of the International Tunnelling and Underground Space Association (ITA), which, since 1974, has sought to encourage the use of the subsurface for the public, for the environment and for sustainable development.

But let us take a step back in time. In 1708, the famous Hole of Uri, built under the direction of Ticino engineer Pietro Morettini and probably the first Alpine road tunnel, was inaugurated.

The tunnel was only 64 m long and was constructed in less than a year, and yet, for its time, it was just as important as the opening of the Gotthard Railway Tunnel in 1882, and of the motorway tunnel about a century later. Equally fundamental will be the commissioning, in a few years, of the AlpTransit Base Tunnel whose last diaphragm wall fell on 15 October 2010, on time and within budget. With its 57 km of length, the Gotthard Base Tunnel will be the longest railway tunnel in the world!

In fact, the Hole of Uri greatly facilitated transit along the already international Gotthard axis, just as the daring Devil's Bridge in the impassable gorges of the Schöllenen had done about five centuries before.

But this is about more than mobility. Much more! These feats of engineering opened up spaces, creating what can be referred to, without exaggeration, as new territories, far more extensive than those directly affected by the infrastructure itself, thus profoundly changing the lives of the inhabitants.

As we know, the first confederates were united around Via delle Genti, and this was the keystone for the birth of an

Naturalmente, per raggiungere questo obiettivo, AlpTransit dovrà essere realizzata nella sua interezza, non fermandosi a Lugano ma proseguendo a sud, verso il Nord Italia.

La Svizzera, dunque, si è via via aggregata attorno a un asse di comunicazione dove le gallerie sono elementi unificatori indispensabili. Non solo il grande traforo ma tutte: basti pensare alla geniale intuizione dei tunnel elicoidali, che permettono ai treni di superare dislivelli apparentemente impossibili.

Il tema dell'unione fra le parti, tra l'altro, vale anche per il Ticino, Cantone per il quale a lungo ho diretto il Dipartimento del territorio.

Siamo un Cantone diviso da un monte, il Ceneri, che per il piccolo Ticino ha rappresentato nei secoli passati un ostacolo non minore, rendendo più difficile uno sviluppo integrato ed equilibrato tra Sopra e Sottoceneri.

Ebbene, tra pochi anni è prevista, con AlpTransit, l'apertura di una galleria di base di una quindicina di chilometri sotto il Monte Ceneri, che permetterà di realizzare un sistema metro e avvicinare notevolmente i poli del Cantone. Questo a sua volta contribuirà all'integrazione del nuovo territorio della Città-Ticino. Un intero Cantone come un'unica città in divenire, con le sue zone verdi e di svago, i suoi quartieri multifunzionali e quelli specializzati, il centro degli affari e dei commerci, la sede amministrativa, le aree produttive, gli spazi per le proposte culturali ...

Sono passato dalla Svizzera al Ticino, da un massiccio come il San Gottardo al Monte Ceneri: ora scendo ancora di scala, fino al piano regionale e a una semplice collina.

È infatti interessante osservare come, a determinate condizioni, un tunnel possa aprire nuovi territori, anche se si tratta di un'opera di meno di tre km come la galleria di circonvallazione dell'agglomerato di Lugano, inaugurata poco meno di un anno fa.

Essa, infatti, non solo unisce due aree della città attraversando la collina che separa le valli del Vedeggio e del Cassarate, ma è un tassello primario dello sviluppo della Nuova Lugano. E lo è perché pensata e progettata nell'ambito di un Piano dei trasporti che ha coniugato mobilità, ambiente e urbanizzazione.

Di ciò è simbolo il futuro Nuovo Quartiere di Cornaredo (NQC), che si estenderà su circa un milione di metri quadri e diventerà una qualificata porta di accesso al polo urbano, rispondendo al tempo stesso a importanti esigenze funzionali derivanti dalla nuova circonvallazione dell'agglomerato, ossia strutture intermodali e posteggi d'attestamento.

Il NQC sarà quindi, nelle sue varie parti: paesaggio, infrastruttura e luogo pubblico; uno spazio per strutture ed eventi;

entire country which, with its diverse cultures, coalesces around the Gotthard.

The opening of the nineteenth-century railway line through the Swiss Massif Central finally brought Ticino close to the rest of Switzerland and sparked the tourist movement and a profound regional, social, economic and cultural transformation.

A century later, the motorway tunnel has given our canton an even greater connection with the rest of the country, fostering even more tourism from the north and, with the constant increase in freight transport, has transformed Ticino into a hub for trade and logistics that benefits the entire confederation.

The increase in road haulage then exceeded all expectations, giving rise to what was a somewhat belatedly acknowledged need to build the AlpTransit railway base axis.

This great project is the primary response to a strong increase in mobility and, in particular, to the new requirements of a sustainable policy on freight transport, specifically for traffic that is routed as far as possible off the road onto the railway.

Of course, in order to achieve this goal, AlpTransit should be implemented fully, not stopping in Lugano, but continuing south to the north of Italy.

Switzerland has gradually congregated around an axis of communication of which the tunnels are indispensable unifying elements, not only the large tunnel but all of them. As an example, we need only think of the intuitive genius of spiral tunnels, which allow trains to overcome seemingly impossible gradients.

The theme of unifying areas also applies to the canton of Ticino, where I have long presided over the regional land use department.

We are a canton divided by a mountain, the Ceneri, which has represented no small obstacle for tiny Ticino in past centuries, making an integrated and balanced development of both cantonal halves on either side of the mountain difficult to achieve.

And yet, the opening of a Base Tunnel some 15 km long below Monte Ceneri, which will enable the establishment of a metro system and bring the poles of the canton significantly closer together, is expected within a few years, thanks to AlpTransit. This in turn will help integrate the new area of Ticino City, creating an entire canton as a single city in the making, with its green spaces and recreational areas, its multifunctional and specialized neighbourhoods, a centre for business and commerce, an administrative headquarters, productive areas, and spaces for culture ...

I have gone from Switzerland to Ticino and from a massif like the Gotthard to Monte Ceneri. I will now downscale to the regional level and a simple hill.

un'area per i settori terziario e amministrativo; un luogo, anche se in modo più contenuto, per la residenza. Un "nuovo territorio" in equilibrio tra la dimensione costruita e quella naturale.

Il NQC ne è il simbolo, ma tutta la Città, una nuova città, beneficerà della galleria nel suo riassetto e sviluppo territoriale-urbanistico. Ciò perché alla Veduggio-Cassarate e alle altre opere infrastrutturali, si accompagnano le misure del Piano della viabilità del polo.

Misure che toccano la gerarchia stradale, il rafforzamento dei trasporti pubblici, l'ampliamento della rete di mobilità lenta, lo stazionamento dei veicoli privati e la gestione semaforica.

Un rapido sguardo, infine, a un'opera del futuro, che ben rientra nell'obiettivo primario della ITA, al quale desidero riallacciarmi in conclusione.

Mi riferisco alla strada di collegamento tra il polo di Locarno e l'autostrada del San Gottardo. Già oggi un significativo tratto di questa bretella è in galleria (la Mappo-Morettina, di quasi 6 km).

Per la parte ancora da realizzare, il Parlamento ticinese ha chiesto alla Confederazione, responsabile della costruzione, che il tracciato sia interrato là dove coincide con aree edificabili. Ciò proprio allo scopo di preservare prezioso territorio di superficie nell'interesse di tutti.

Vi ringrazio e auguro a tutti voi, con vivo piacere, buon lavoro.

Il tuo Marco Borradori

It is interesting to note that, under certain conditions, a tunnel can open up new spaces, even if it is a project of less than 3 km like the Lugano urban centre bypass tunnel, which opened less than a year ago.

This tunnel not only links two areas of the city through the hill that separates the valleys of Veduggio and Cassarate, but is a primary component of the development of the New Lugano. This is because it has been conceived and designed as part of a transport plan that brings together mobility, environment and urbanization.

A symbol of this project is the future New Cornaredo District (NCD), which will be developed over approx. 1 million m² and will become a gateway to the urban centre while addressing important functional requirements arising from the new urban centre bypass, i.e. intermodal structures and adjoining parking spaces.

With its various sections, landscape, infrastructure and public places, a space for facilities and events, an area for the service and administrative sectors, and a comparatively small residential area, the NCD will be a "new territory" with an equilibrium between its built and natural aspects.

The NCD is the symbol, but the whole city with its new character will benefit from the tunnel and its associated rural and urban restructuring and development. This is because the Veduggio-Cassarate and all the other infrastructure projects are guided by the centre's traffic and mobility plan.

These measures affect the hierarchy of roads, the strengthening of public transport, the expansion of the slow-moving traffic network, parking for private vehicles and the management of traffic lights.

In conclusion, I would like to take a quick glance at a future project which is well within the primary objectives of the ITA.

I am referring to the link road between the centre of Locarno and the Gotthard motorway. Even today, a significant portion of this link is made up of tunnels (the nearly 6 km-long Mappo-Morettina tunnel).

For the section that is yet to be realized, the Ticino Parliament has asked the federal government, which is responsible for the construction, that the route be underground wherever it coincides with building areas. This is specifically in order to preserve valuable surface area in the interests of everyone.

I thank you and wish all of you, with great pleasure, every success in your work.

Marco Borradori

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

Gotthard-Basistunnel

Bilanz des weltweit längsten Eisenbahntunnels

Der diesjährige World Tunnel Congress (WTC), zumal er in der Schweiz stattfindet, bietet Gelegenheit, die Planung und den Bau des längsten Eisenbahntunnels der Welt noch einmal umfänglich Revue passieren zu lassen. Nebst einigen fachspezifischen Beiträgen zu Einzelthemen im Rahmen der „Technical Sessions“ bietet der Mittwoch-Block der „Swiss Sessions“ nochmals einen Gesamtüberblick über 20 Jahre Projektgeschichte aus unterschiedlichen Blickwinkeln und von verschiedenen Beteiligten: Vertreter aller wichtigen Partner, nämlich der Bauherrschaft (AlpTransit Gotthard AG), der Projektingenieure (Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Nord sowie Süd) und der Baukonsortien (Transco, TAT) ziehen Bilanz aus ihrer Sicht und bieten den Lesenden und Zuhörenden einen Gesamtüberblick über das grösste Infrastrukturprojekt der Schweiz.

Den Anfang macht der übergeordnete Gesamtüberblick über das Projekt aus Sicht der Bauherrschaft.

Gotthard Base Tunnel

Balance of the World's longest Rail Tunnel

This year's World Tunnel Congress (WTC), especially as it is being staged in Switzerland, affords the opportunity to once more subject the planning and construction of the world's longest rail tunnel to extensive scrutiny. In addition to a number of specific reports dealing with individual topics within the scope of the "Technical Sessions", the "Swiss Session" block on the Wednesday will enable an overall overview of the more than 20 years' history of the project to be examined from various angles by different parties involved: representatives of all important partners, in other words the client (AlpTransit Gotthard AG), the project engineers (Ingenieurgesellschaft Gotthard Base Tunnel North and South) and the contractors (Transco, TAT) take stock from their point-of-view and provide readers and listeners with an overall balance of Switzerland's biggest ever infrastructure project.

Let us start with the superordinated overview on the project as seen by the client.

Le tunnel de base du Saint-Gothard

Bilan du plus long tunnel ferroviaire du monde

Cette année, le Congrès mondial des tunnels (WTC) nous offre l'occasion, d'autant plus qu'il a lieu en Suisse, de passer encore une fois en revue la planification et la construction du plus long tunnel ferroviaire du monde. En plus de quelques contributions spécifiques sur des thèmes divers dans le cadre des «Technical Sessions», le bloc du mercredi des «Swiss Sessions» propose encore une fois un tour d'horizon général sur 20 ans d'histoire du projet, vu sous différents points de vue et par différentes personnes impliquées: les représentants de tous les partenaires importants, à savoir de la maîtrise d'ouvrage (AlpTransit Gotthard AG), des ingénieurs du projet (Groupements d'ingénieurs du Tunnel de base du Saint-Gothard Nord et Sud) et des consortiums de construction (Transco, TAT), font leur bilan du projet et présentent aux lecteurs et aux auditeurs une synthèse complète sur le plus grand projet d'infrastructure de la Suisse.

Elle débute par une vue d'ensemble supérieure du projet, dans l'optique de la maîtrise d'ouvrage.

Galleria di base del San Gottardo

Bilancio della galleria ferroviaria più lunga al mondo

Il World Tunnel Congress (WTC) di quest'anno, tanto più che si svolge in Svizzera, offre l'opportunità di passare in rassegna dettagliatamente la progettazione e la costruzione della galleria ferroviaria più lunga del mondo. Oltre ad alcuni contributi di carattere tecnico su singoli argomenti offerti nell'ambito delle "Technical Sessions" il blocco del mercoledì delle "Swiss Sessions" offrirà ancora una volta una panoramica sui 20 anni di storia del progetto da vari punti di vista e da diverse persone coinvolte nel progetto. I rappresentanti di tutti i partner più importanti, e cioè del committente (AlpTransit San Gottardo SA), degli ingegneri progettisti (Ingegneri associati Galleria di Base del San Gottardo Nord e Sud) e dei consorzi di costruzione (Transco, TAT), fanno il bilancio dal loro punto di vista ed offrono ai lettori ed agli uditori una panoramica complessiva del più grande progetto di infrastruttura realizzato in Svizzera.

Ad iniziare sarà una panoramica generale del progetto dal punto di vista del committente.

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

Gotthard-Basistunnel

Herausforderungen auf dem Weg zum Weltrekord

Die Schweiz verfolgt eine nachhaltige und zukunftsweisende Verkehrspolitik, die sich vor allem am alpenquerenden Verkehr verdeutlichen lässt. Herausragend ist hierbei das NEAT Projekt Gotthard-Basistunnel mit dem längsten Eisenbahntunnel der Welt.

Gotthard Base Tunnel

Challenges en Route to the World Record

Switzerland is pursuing a sustainable and future-oriented transport policy, which is particularly evident for traffic passing through the Alps. The NEAT project (New Railway Link through the Alps – NRLA) Gotthard Base Tunnel with the world's longest rail tunnel represents an outstanding feature of this.

1 Erste Flachbahn durch die Alpen

Mit dem Projekt NEAT Achse Gotthard entsteht die erste Flachbahn durch die Alpen. Sie führt mit minimalen Steigungen und Kurven von Altdorf im Norden bis nach Lugano im Süden. Der höchste Punkt liegt auf 550 m ü. M.. Der Gotthard-Basistunnel, mit 57 km der längste Eisenbahntunnel der Welt, wird 2016 in Betrieb gehen. 2019 soll der Ceneri-Basistunnel die Flachbahn durch die Alpen vervollständigen. Die Flachbahn verkürzt den Weg von Basel nach Chiasso von bisher 330 km um 40 km und kommt mit einer Steigung von maximal 12 ‰ aus. Deutlich weniger als die bestehende 130-jährige Gotthard-Bergstrecke mit 26 ‰ (Bild 1).

Es gibt wesentliche Punkte, die das Projekt AlpTransit charakterisieren und den Unterschied zu anderen modernen Eisenbahninfrastrukturprojekten ausmachen. Beispielsweise ist ein Mischbetrieb vorgesehen. Die Personenzüge werden im längsten Tunnel der Welt mit maximalen Geschwindigkeiten von 250 km/h verkehren, die Güterzüge fahren mit bis zu 160 km/h. Eine weitere Herausforderung ist die Personensicherheit im Tunnel. Der Gotthard-Basistunnel besteht aus 2 voneinander getrennten Einspurröhren. Diese sind alle 325 m durch Querschläge verbunden. Zudem unterteilen 2 Multifunktionsstellen in Sedrun und Faido die Tunnelröhren in etwa 3 gleich lange Abschnitte. In den Multifunktionsstellen befinden sich die Nothaltestellen für Evakuationen und je 2 Spurwechsel. Sie ermöglichen Wechsel von Zügen von einer Röhre in die andere.

Die maximale Kapazität beträgt 50 bis 80 Personen- sowie 220 bis 260 Güterzüge pro Tag, je nach Betriebsregime. Der Transport von Lkw bis zu einer Eckhöhe von 4,20 m ist gewährleistet (Bild 2).

1 First flat trajectory Rail Link through the Alps

The NEAT project Gotthard axis represents the first flat trajectory railway through the Alps. It runs with minimal gradients and bends from Altdorf in the north to Lugano in the south. Its highest point is located at 550 m ASL. The Gotthard Base Tunnel, the world's longest rail tunnel with 57 km, will open in 2016. In 2019 the Ceneri Tunnel is intended to complete this flat trajectory railway through the Alps. The railway will shorten the distance from Basle to Chiasso from the present 330 km by 40 km with a maximum gradient of 12 ‰. This is substantially less than the 26 ‰ for the existing 130 year old Gotthard mountain route (Fig. 1).

Various aspects characterise the AlpTransit project and differentiate it from other modern rail infrastructure projects. For example a mixed operation is foreseen. The passenger trains will travel through the world's longest rail tunnel at speeds of up to 250 km/h with goods trains reaching a maximum of 160 km/h. A further challenge is the safety of people in the tunnel. The Gotthard Base Tunnel comprises 2 separate single-track bores. These are linked every 325 m by cross-passages. Furthermore 2 multi-function centres in Sedrun and Faido divided the tunnel into 3 sections of roughly the same length. The emergency facilities for evacuation and 2 track changeover points are located in the multi-function centres. The latter enable trains to switch from one bore to the other.

The maximum capacity amounts to 50 to 80 passengers trains as well as 220 to 260 goods trains per day, depending on scheduling. Lorries up to a corner height of 4.20 m can be transported (Fig. 2).

Le tunnel de base du Saint-Gothard

Défis sur la route qui mène au record mondial

La Suisse applique une politique durable et visionnaire en matière de transports, qui se concrétise notamment dans le trafic transalpin. En tête de liste, le projet du tunnel de base du Saint-Gothard de la NLFA, avec le plus long tunnel ferroviaire du monde.

Galleria di base del San Gottardo

Sfide verso il record mondiale

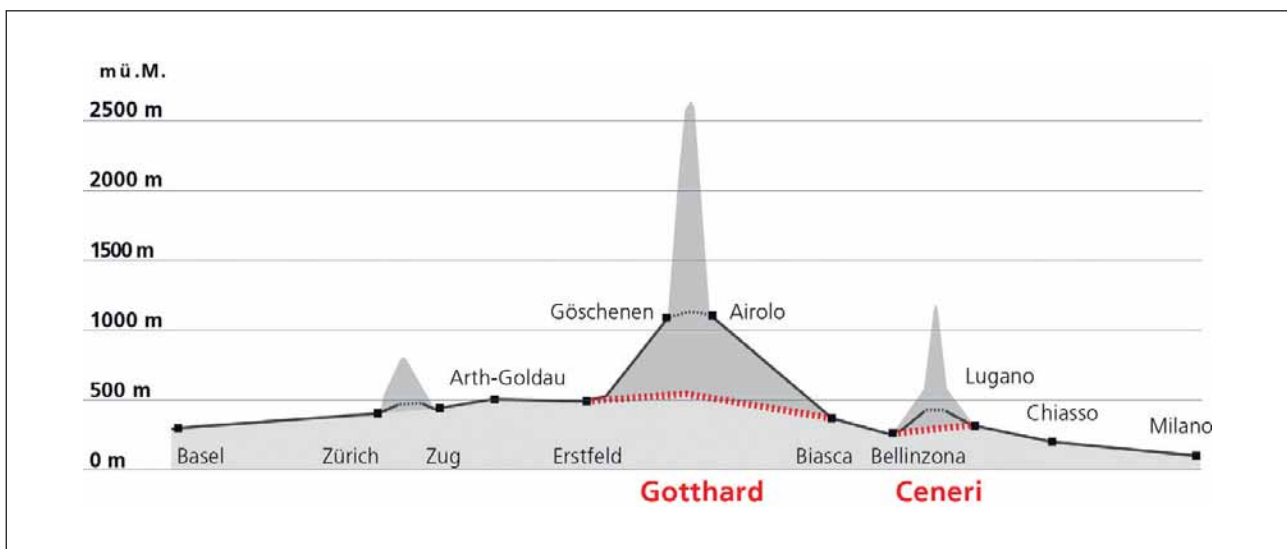
La Svizzera segue una politica dei trasporti sostenibile e all'avanguardia come può essere dimostrato soprattutto con l'esempio del traffico transalpino. In questo contesto emerge lo straordinario progetto NFTA della Galleria di Base del San Gottardo con il tunnel ferroviario più lungo al mondo.

2 Nachhaltige und zukunftsweisende Verkehrspolitik

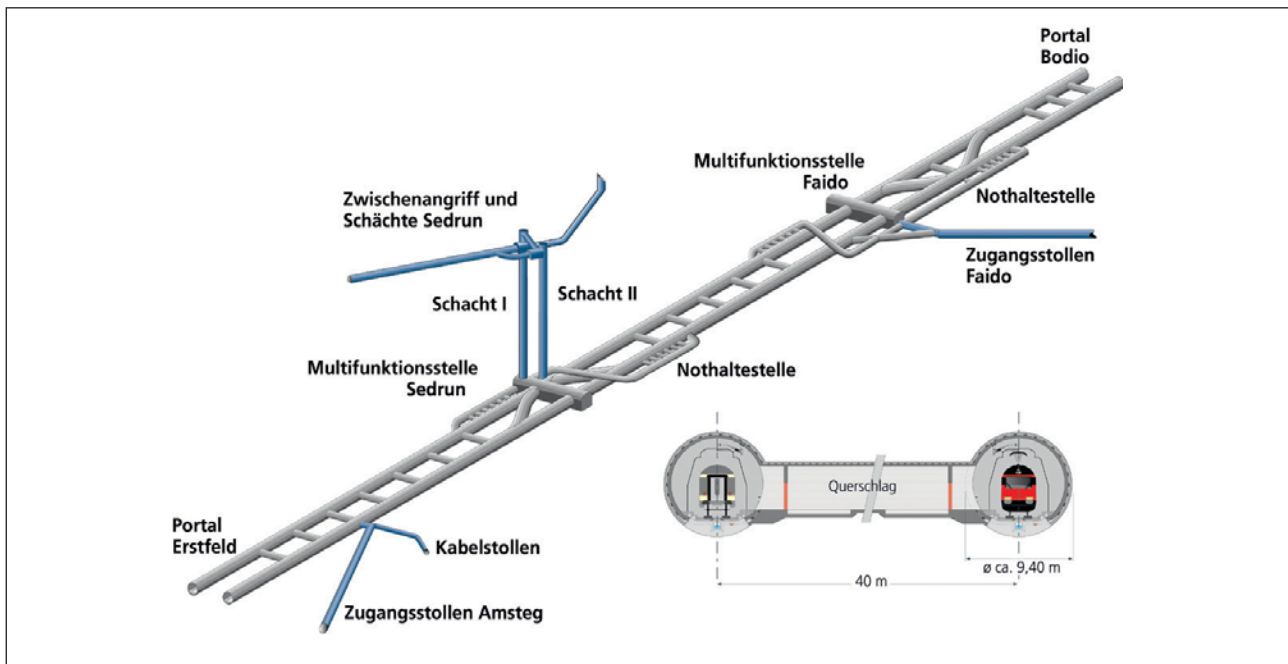
Die Schweiz verfolgt mit ihrer Verkehrspolitik bezüglich des alpenquerenden Verkehrs zwei Ziele. Diese Ziele wurden nicht top down als eine Art Regierungserklärung definiert, sondern vom Schweizer Volk in verschiedenen Volksabstimmungen 1992, 1994 und 1998 festgelegt bzw. bestätigt. Das erste Ziel ist die Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene. Zurzeit durchqueren jedes Jahr weit über 1 Mio. Lkw die Alpen in der Schweiz. Diese Zahl soll nach der Eröffnung des Gotthard-Basistunnels auf 650 000 reduziert werden. Damit diese Reduktion jedoch überhaupt erreicht werden kann, müssen die entsprechenden Kapazitäten auf der Schiene geschaffen werden. Erst dann kann die Schweiz im Dialog mit Europa der Forderung nach Verlagerung Nachdruck verschaffen. Das Weissbuch der europäischen Verkehrspolitik ist 2012 zu ähnlichen Grundthesen gekommen. Die zukunftsweisende Schweizerische Verkehrspolitik hatte also schon viel früher die entsprechenden Weichen in eine nachhaltige Güterverkehrs-Entwicklung gestellt, die nun mit Nachdruck umgesetzt wird.

2 Sustainable and future-oriented Transport Policy

Switzerland is pursuing two aims with its transport policy regarding traffic crossing the Alps. These targets were not defined from the top as a kind of government statement but determined or confirmed by the people of Switzerland in various referendums in 1992, 1994 and 1998. The first aim is to relocate goods traffic from road to rail. Currently well over 1 million trucks cross the Alps in Switzerland every year. Once the Gotthard Base Tunnel is opened, this number is scheduled to drop to 650,000. However in order to ensure that this reduction can be attained, corresponding capacities must be arrived at on rail. Only then will it be possible for Switzerland to forge ahead with this call for relocation in conjunction with Europe. The White Book on European Transport Policy arrived at similar conclusions in 2012. The future-oriented Swiss transport policy set the scene at a far earlier stage through sustainable development of goods traffic, which is now being put effectively into practice.



1 Die erste Flachbahn durch die Alpen
The first flat trajectory railway through the Alps



2 *Tunnelsystem des Gotthard-Basistunnels*
Tunnel System of the Gotthard Base Tunnel

Das zweite Ziel ist die Förderung der Attraktivität für den Personenverkehr. Mit dem Bau der Neuen Eisenbahn-Alpen-transversalen (NEAT) integriert sich die Schweiz ins wachsende europäische Hochgeschwindigkeitsbahnnetz. Hier ist insbesondere die Gotthard-Achse und damit der Nord-Süd-Verkehr angesprochen. Die Wirtschaftszentren beidseits der Alpen rücken dank der zukunftsgerichteten Bahnverbindung näher zusammen. Die Flachbahn am Gotthard schafft neue Perspektiven für den Bahnverkehr durch die Alpen. Mit den Neubauten auf der Gotthardstrecke stellt die Bahn eine echte Alternative zum Auto- und Luftverkehr dar. Im Einzugsgebiet zwischen Süddeutschland und Norditalien können mehr als 20 Mio. Menschen davon profitieren. Für Reisende bedeutet die NEAT am Gotthard einen Quantensprung. Die fahrplanmäßige Fahrzeit zwischen Zürich und Mailand beträgt zur Zeit 4 Stunden und 20 Minuten. Mit den beiden Basistunneln an Gotthard und Ceneri werden die Voraussetzungen geschaffen, die Fahrzeit auf weniger als 3 Stunden zu verkürzen (Bild 3).

3 Legitimation durch Volksentscheide

Im September 1992 hat das Schweizer Volk mit einem Ja-Stimmen-Anteil von rund 63 % die NEAT-Vorlage zum Bau der beiden neuen Bahnlinien an Gotthard und Lötschberg angenommen. Damit waren gleichzeitig auch die finanziellen Mittel für die Planung verfügbar. Diese sah vor, 1993 mit dem Vorprojekt, 1994 mit dem Auflageprojekt und 1996 mit der Bauausführung zu beginnen.

Im Laufe der ersten Planungsjahre mehrten sich dann zunehmend Zweifel daran, dass sich die Investition aus Betriebserträgen verzinsen und amortisieren lassen würde. Somit musste nachträglich eine andere Finanzierungslösung

The second target is to encourage the attractiveness of passenger traffic. Through building the new routes through the Alps (NEAT), Switzerland is becoming integrated in the growing European high-speed network. The Gotthard axis and in turn, north-south traffic is of particular significance in this respect. The economic centres on both sides of the Alps are drawing closer together thanks to the future-oriented rail link. The flat trajectory railway at the Gotthard creates new perspectives for rail traffic through the Alps. Through the new structures along the Gotthard route, rail provides a genuine alternative to car and air travel. More than 20 million people will profit from this in the catchment area between south Germany and north Italy. For travellers the NEAT at the Gotthard signifies a quantum leap. At present the scheduled travelling time between Zurich and Milan amounts to 4 hours and 20 minutes. Thanks to the 2 base tunnels at the Gotthard and Ceneri the prerequisites will be created to cut the travelling time to less than 3 hours (Fig. 3).

3 Legitimation through Referendums

In September 1992 the Swiss people approved with 63 % in favour the NEAT draft proposals for construction of the 2 new rail lines at the Gotthard and Lötschberg. This meant that the financial resources were made available for the planning process. This foresaw the start of the preliminary project in 1993, the detailed project in 1994 with construction commencing in 1996.

During the course of the first years of planning doubts grew whether the investment from operating incomes would bear interest and amortise itself. As a result another solution for financing the project had to be subsequently sought. The so-



3 Südportal des Gotthard-Basistunnels in Bodio
Gotthard Base Tunnel south portal at Bodio

gesucht werden. Die gefundene Lösung war verfassungsrelevant, womit sie dem obligatorischen Referendum unterstand. Dies bedeutete, dass 1998 eine zweite Volksabstimmung unter dem Titel „Vorlage über Bau und Finanzierung der Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs (FinöV)“ zur NEAT und für weitere Grossprojekte abgehalten werden musste. Auch diese Vorlage wurde mit 57 % Ja-Stimmen klar angenommen.

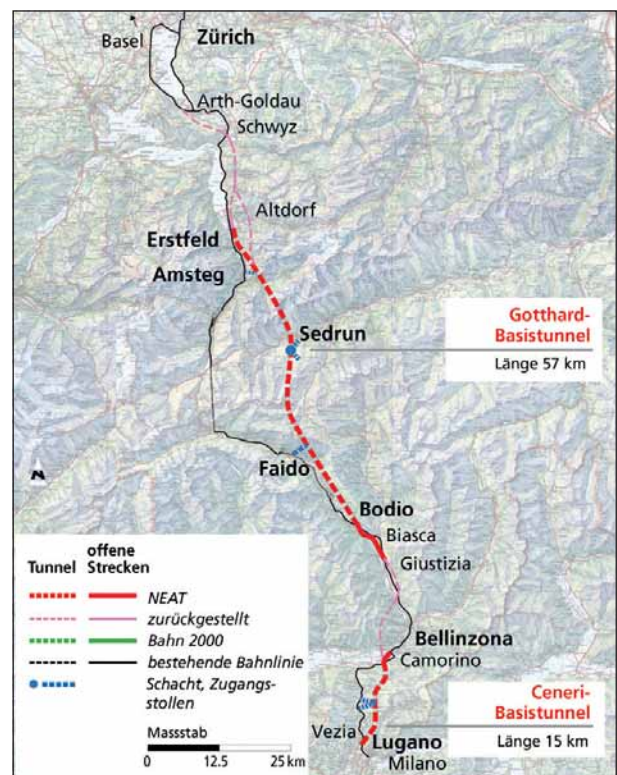
Mit der neuen Finanzierungslösung ging eine zeitliche Etappierung des Projekts Achse Gotthard einher. So mussten in der Folge einzelne Teile wie der Zimmerberg-Basistunnel II oder die Umfahrung Bellinzona zurückgestellt werden. Letztlich blieben für die sofortige Realisierung der Gotthard- sowie der Ceneri-Basistunnel übrig. Nichtsdestotrotz wird damit die erste Flachbahn durch die Alpen Realität.

Nach der erfolgreichen zweiten Volksabstimmung waren die politischen Grundsatzdiskussionen vom Tisch, was für ein Projekt dieser Grössenordnung nicht hoch genug einzuschätzen ist (Bild 4).

4 Finanzierung

Kern des Finanzierungskonzepts von FinöV ist die Fondslösung. Der Fonds wird durch Mittel aus der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe LSVA, der Mineralölsteuer und Teilen der Mehrwertsteuer alimentiert. Knapp die Hälfte dieses Fonds wird für Planung und Realisierung der NEAT-Achsen an Gotthard und Lötschberg verwendet. Zudem gewährleistet er die verlässliche Finanzierung von 3 weiteren Grossprojekten. Gemäss Abstimmungsvorlage handelt es sich um einen zeitlich beschränkten Fonds, der mit dem

lution that was found was of relevance to the Constitution so that it was subject to the obligatory referendum. This meant that in 1998 a second referendum captioned “Draft Proposal on Building and Financing the Public Transport Infrastructure (FinöV)” for the NEAT and for further major projects had to be held. This proposal was clearly accepted with 57 % in favour.



4 Linienführung Achse Gotthard
Gotthard axis route alignment

ausschliesslichen Zweck geschaffen wurde, diese vorab definierten Projekte zu finanzieren. Nach Abschluss der Projekte soll der Fonds geschlossen werden.

Der Vorteil dieser Lösung liegt auf der Hand. Es gibt eine bestmögliche Planungssicherheit. Das Projekt ist nicht permanent Budgetdiskussionen unterworfen, nicht mehr Teil des alljährlichen Verteilungskampfs der Geldmittel auf Bundesebene. Damit können sich die Verantwortlichen auf das Projekt konzentrieren, was mit Sicherheit ein wesentlicher Erfolgsparameter ist.

Zurzeit finden in der Schweiz weitere politische Diskussionen über nächste Investitionspakete zugunsten der Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs statt, bei denen ähnliche Lösungen für Projekte der nächsten Generationen angedacht werden (Bild 5).

5 Neues Modell mit schlanker Organisation

Die Projektverantwortlichen waren mit unterschiedlichsten Herausforderungen konfrontiert. Unter anderem galt es, ein geeignetes und effizientes Organisationsmodell für die Leitung des Projekts zu finden.

Mit der Planung und Realisierung von Bahn-Infrastrukturprojekten in der Schweiz werden im Normalfall die Schweizerischen Bundesbahnen direkt vom Bund beauftragt. Die SBB tragen somit die ganze Verantwortung inklusive der Risiken. Im Fall der NEAT wählte der Bund ein anderes Modell: Mit Ausgliederung der Verantwortung an die AlpTransit Gotthard AG konnte eine klare Trennung zwischen Ersteller und Betreiber erreicht werden. Das bringt verschiedene Vorteile.

Die AlpTransit Gotthard AG, eine überschaubare Einheit mit rund 170 Mitarbeitenden, ist verantwortlich für das Management dieses Projektes. Als reine Projektmanagementgesellschaft übt sie die direkte Kontrolle über die Vertragspartner für Planung einerseits und Ausführung des Projekts andererseits aus. Für die Bundesverwaltung als Vertreterin des Bestellers ist es einfach, eine so überschaubare Organisation zu kontrollieren. Die schlanke und effiziente Projektorganisation ermöglicht im Weiteren rasche Entscheidungen dank kurzer Entscheidungswege.

Ein weiterer Vorteil ist die erhöhte Transparenz im Projekt durch die parlamentarische Kontrolle. Dafür hat der Bund eine spezielle Kommission eingesetzt. Die NEAT-Aufsichtsdelegation (NAD), der je 6 Vertreter beider parlamentarischer Kammern angehören, ist eine ad-hoc-Kommission. Sie hat die Aufgabe, das Jahrhundertprojekt AlpTransit Gotthard kritisch zu begleiten, zu kontrollieren und zu beaufsichtigen. Die Verantwortlichen der ATG rapportieren dieser Kommission rund ein halbes Dutzend Mal jährlich direkt und teilweise auch vor Ort auf den Baustellen. Schliesslich erstattet die Kommission dem Gesamt-Parlament jährlich Bericht.

The new solution for financing the project was accompanied by a rescheduling of the timetable for the Gotthard axis. Consequently individual elements such as the Zimmerberg Base Tunnel or the Bellinzona Bypass had to be postponed. In the end only the Gotthard and the Ceneri Base Tunnels had to be tackled. Nonetheless this meant that the first flat trajectory railway through the Alps became a reality.

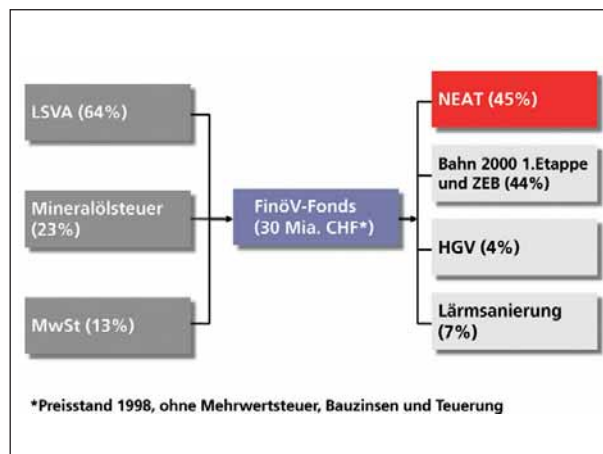
Following the successful second referendum the political fundamental debates were no longer an obstacle, something which has been of immense importance for implementing a project of this magnitude (Fig. 4).

4 Financing

The core of the FinöV financing concept takes the form of a fund. The fund is serviced through resources obtained from the performance-linked levy on heavy traffic (LSVA), the mineral oil tax and VAT contributions. Almost the half of this fund is used for planning and accomplishing the NEAT axes at the Gotthard and Lötschberg. In addition it ensures that 3 further major projects are reliably funded. In keeping with the premise on which the referendum was based the fund is time-limited, created with the sole purpose of financing the projects defined in advance. The fund will be closed once the projects are concluded.

The advantage of this solution is evident. The best possible security for planning is provided. The project is not subjected to permanent budget discussions, no longer part of the annual battle for allocation of resources at national level. In this way those responsible can concentrate on the project, something which is certainly a considerable parameter for success.

At present further political discussions are taking place in Switzerland relating to the next investment packages for the public transport infrastructure, in the case of which similar solutions for future generation projects are being contemplated (Fig. 5).



5 Finanzierungskonzept FinöV
FinöV financing concept

Als Bauherrschaft steht die AlpTransit Gotthard AG im direkten Spannungsfeld diverser Interessenspartner. Dies ist nicht ganz unproblematisch, spielen doch die Partner teilweise mehrere Rollen. So ist der Bund nicht nur Besteller und Geldgeber, sondern auch gleichzeitig Aufsichtsbehörde und Verfahrensführer. Dadurch gilt es, hohe Anforderungen an die Rollenwahrnehmung zu erfüllen. Hinzu kommen die Schweizerischen Bundesbahnen einerseits als künftige Betreiberin und andererseits als vom Bund bezeichnete Systemführerin für das ETCS (European Train Control System). Damit legen sie die Standards fest, auf dessen Basis eine neue Bahnlinie ausgestattet werden muss.

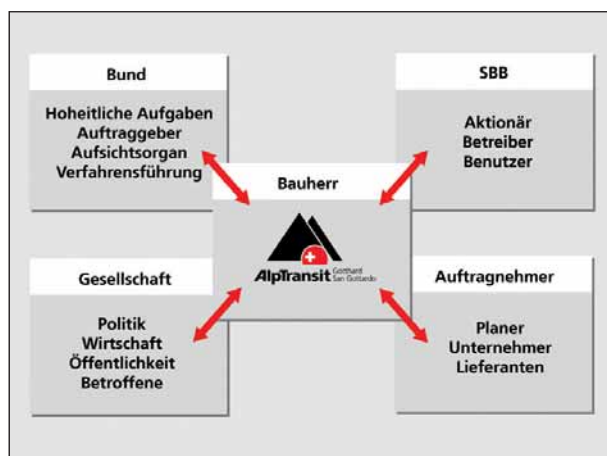
Selbstverständlich steht die AlpTransit Gotthard AG aufgrund der Grösse und Wichtigkeit des Projekts auch im Blickfeld von Politik, Medien, Wirtschaft und direkt Betroffenen. Hinzu kommen die werkvertraglichen Verhältnisse zu den privaten Ingenieurbüros und den zumeist internationalen Baukonsortien (Bild 6).

6 Politische Akzeptanz

Nicht unterschätzen durfte die AlpTransit Gotthard AG die politische Akzeptanz des Projekts, die je nach betroffener Region sehr unterschiedlich ausgeprägt war.

Bevor die Plangenehmigungsverfügung des Bundes und die Baufreigabe vorlagen, entstand im Nordteil der Strecken im offenen Bereich zwischen Nordportal und Anschluss an die bestehende Linie ein erbitterter Streit über die Linienführung. Für diesen Anschluss wird im Norden eine rund 5 km lange Strecke benötigt, die im Kanton Uri liegt. Es handelt sich hier um einen relativ engen Talkessel, ein klassisch Gletscher geformtes U-Tal. Der ganze produktive Lebensraum ist mehr oder weniger in diesem Bereich konzentriert. Dementsprechend ist die Nutzungskonkurrenz sehr hoch und die Linienführung sehr sensibel.

Jahrelange Diskussionen zwischen dem Bund, dem Standortkanton Uri und der AlpTransit Gotthard AG als Bauherrschaft



6 Interessenspartner der AlpTransit Gotthard AG
The AlpTransit Gotthard AG's business partners

5 New Model with lean Organisation

Those responsible for the project found themselves confronted with the most varied challenges. Amongst other things it was necessary to come up with a suitable and efficient organisational model for managing the project.

Under normal circumstances the Swiss Federal Railways are commissioned directly by the state to plan and execute rail infrastructure in the country. In this way the SBB carry the complete responsibility including the risks. In the case of the NEAT the state selected a different model: by allocating the responsibility to the AlpTransit Gotthard AG a clear division between builder and operator was achieved. This results in a number of advantages.

The AlpTransit Gotthard AG, a transparent unit with some 170 staff members, is responsible for managing the project. As a pure project management company it exercises direct control over the contractual partners for planning on the one hand and executing the project on the other. It is easy for the federal administration as representative of the client to control such a lean organisation. This lean and efficient project organisation furthermore enables speedy decisions to be reached thanks to short decision-making paths.

A further advantage is the increased transparency in the project through parliamentary control. The state set up a special commission for this purpose. The NEAT supervisory board (NAD), which is made up of 6 representatives from each of the 2 chambers in parliament, is an ad hoc commission. It is charged with subjecting the project of the century AlpTransit Gotthard to critical scrutiny and controlling and monitoring it. Those in charge at the ATG report back to the commission half a dozen times a year directly, in some cases on the spot at the construction sites. Then the commission tables an annual report to parliament.

The AlpTransit Gotthard as principal finds itself in the direct field of conflict of various business partners. This is not completely without its problems after all the partners play partly multiple roles. The state for instance not only commissions and finances the project but also acts as the authority responsible for supervision and judicial procedures. Consequently high demands on fulfilling these commitments were required. In addition there are the Swiss Federal Railways on the one hand as the future operator and on the other hand as the system coordinator for the ETCS (European Train Control System) appointed by the state. As a result, the SBB determine the standards on the basis of which the new rail line has to be equipped.

It goes without saying that the AlpTransit Gotthard AG also finds itself at the centre of attention from politics, the media, industry and those directly affected on account of the size and importance of the project. Add to this the contractual

waren nötig, um eine optimale Lösung zu finden. Der Kanton Uri hatte lange gefordert, dass der ganze Talboden unberührt belassen werden muss. Logische Konsequenz wäre gewesen, dass der Tunnel nicht in Erstfeld enden darf, sondern unterirdisch weitergeführt werden müsste. Das hätte bedeutet, dass der Gotthard-Basistunnel nochmals zwischen 15 und 20 km länger geworden wäre. Schliesslich kam es zu folgendem Kompromiss: Der Kanton Uri war mit einer optimierten Linienführung im Talboden einverstanden. Er verlangte jedoch vom Bund die Zusage, in der nächsten Generation mit einem Folgeprojekt diese Tunnelverlängerung doch noch zu realisieren bzw. die baulichen Voraussetzungen dafür zu schaffen, um dies zu ermöglichen.

Im Hinblick darauf wurden im Gotthard-Basistunnel in Portalnähe bereits 2 unterirdische Abzweigungstunnel mit einer Länge von 400 m gebaut. Damit kann der Basistunnel in einer späteren Phase Richtung Norden verlängert werden, ohne dass der Betrieb stark behindert wird. Die Kosten für diese Massnahme betragen rund 65 Mio. CHF. Diese Vorinvestition in eine unsichere Zukunft war jedoch unabdingbar, um eine politische Einigung bezüglich der Linienführung zu erzielen und damit die Baubewilligung erwirken zu können.

Der ursprüngliche Kostenrahmen musste um mehrere 100 Mio. CHF und das Gesamtterminprogramm um mehrere Jahre angepasst werden. Ohne konsensuale Lösungsfindung wäre das Projekt jedoch grundsätzlich gefährdet gewesen (Bild 7).

relationships with private engineering offices and what are usually international construction consortia (Fig. 6).

6 Political Acceptance

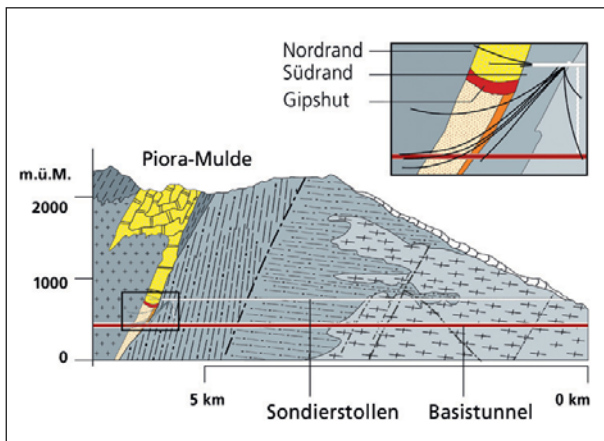
On no account was the AlpTransit Gotthard AG able to neglect the project's political acceptance, which varied immensely from region to region.

Before the planning approval order from the state and the green light for building were available, a bitter dispute broke out in the northern route sector in the open area between the north portal and the link with the existing line with respect to the route alignment. A roughly 5 km long section is needed for this link, which is located in the Canton of Uri. It involves a relatively narrow valley basin, a classical U-valley formed by a glacier. The entire productive living space is more or less established in this area. As a result, there is great competition regarding which it is put thus making the route alignment a very touchy matter.

Protracted discussions lasting for years between the state, the affected Canton of Uri and the AlpTransit Gotthard AG as client were required in order to come up with an optimal solution. For a long time the Canton of Uri insisted that the entire valley floor be left untouched. The logical consequence would have been that the tunnel could not have emerged at Erstfeld, but would have had to be continued further un-



7 Blick auf die Linienführung im Kanton Uri und den Installationsplatz Erstfeld
View of the route alignment in the Canton of Uri and the Erstfeld installation yard



8 Herausforderung Piora-Mulde
The challenging Piora Basin

7 Bau in Etappen und mit Zwischenangriffen

Erst nach Klärung dieser übergeordneten Fragen konnte an die Realisierung gedacht werden. Das Bauprogramm war darauf ausgelegt, die gesamte Bauzeit und damit den Zeitraum zwischen Investition und Betriebsaufnahme zu minimieren. Der Baubeginn erfolgte deshalb in Etappen. Bereits 1993 begann man beispielsweise im Gotthard-Massiv mit einem Sondierstollen eine geologische Störzone zu erkunden, die so genannte Piora-Mulde (Bild 8).

1996 wurde die zweite NEAT-Baustelle am Gotthard eröffnet. Die Mineure begannen mit dem Auffahren des Schachtes in Sedrun. Aus einem Hochtal im Bündner Oberland auf einer Höhe von 1300 m ü. M. wurde ein rund 800 m tiefer Schacht bis auf das Tunnelniveau abgeteuft. Von diesem Zwischenangriff aus wurde dann sowohl Richtung Norden wie auch Süden der Vortrieb des Gotthard-Basistunnels aufgenommen. Ziel dieses Zwischenangriffes war es, die Bauzeit zu verkürzen. Im Herbst 1999 erfolgte die erste Sprengung beim Zwischenangriff in Amsteg. Im Sommer 2000 wurden auch auf der Südseite des Gotthards beim Südportal in Bodio die ersten Arbeiten für den Vortrieb der beiden Einspurttunnel Richtung Norden vorgenommen.

Im Jahr 2005 gab es Probleme bei der Vergabe des Hauptlooses in Erstfeld im Norden des Gotthard-Basistunnels. Der Baubeginn wurde wegen eines Rekurses blockiert. Es ist nicht vermeidbar, dass eine unterlegene Bietergemeinschaft eine Bauvergabe anfechtet. Ein solcher Gang an die richterlichen Instanzen zeitigt aber auch Konsequenzen. So wurde im Fall Erstfeld die Arbeitsaufnahme um etwa 2 Jahre verzögert, was schliesslich Auswirkungen auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Gotthard-Basistunnels hatte.

8 Herausforderung Geologie

Eine geologische Schlüsselstelle war die bereits erwähnte Piora-Mulde. An der Oberfläche neben der Strasse über den Lukmanierpass, etwa 1500 m über dem Tunnelniveau, sind

derground. This would have meant that the Gotthard Base Tunnel would have had to be some 15 to 20 km longer. At long last the following compromise was reached: the Canton of Uri agreed to an optimised route alignment in the valley basin. However it demanded that the state agreed to tackle the tunnel extension in the form of a subsequent project in the next generation and to cater for the constructional prerequisites in order to achieve this.

As a result 2 underground tunnel forks each 400 m in length were produced close to the portal of the Gotthard Base Tunnel. In this way the Gotthard Base Tunnel can be extended northwards during a subsequent phase, without operations being seriously impeded. The costs for this scheme amounted to roughly 65 million CHF. However this prior investment in an uncertain future was absolutely essential in order to arrive at political agreement concerning the route alignment so that permission for building could be attained.

The original cost framework had to be adjusted by several 100 million CHF and the overall scheduling programme revamped. However without finding a consensual solution to the project, it would have essentially been endangered (Fig. 7).

7 Construction in Stages and with intermediate Points of Attack

These superordinated issues first had to be clarified prior to tackling the execution of the project. The construction programme was drafted in such a manner that the complete construction period and in turn the period between investment and starting operations were minimised. As a consequence building took place in stages. For instance back in 1993 the investigation of a geological fault zone in the Gotthard Massif, the so-called Piora Basin, began by producing an exploratory tunnel (Fig. 8).

The second NEAT construction site was opened at the Gotthard in 1996. First of all the shaft at Sedrun was tunnelled. From a high valley in the Bündner Oberland at a height of 1,300 m ASL a roughly 800 m deep shaft was sunk to tunnel level. The Gotthard Base Tunnel was then driven from this intermediate point of attack towards north and south. The aim of this intermediate point of attack was to cut down on the construction time. The first drill & blast cycle took place at the intermediate point of attack at Amsteg in autumn 1999. In summer 2000 initial activities for driving the 2 single-track tunnels towards the north were also undertaken at the south side of the Gotthard at the south portal.

In 2005 problems ensued in conjunction with the award of the main contract section at Erstfeld in the north of the Gotthard Base Tunnel. The start of construction was held up on account of an appeal. It cannot be avoided that a defeated bidding consortium challenges the awarding of a contract. However such an approach involving courts of

Aufschlüsse von weisslichem, zuckerkörnigem Dolomitmarmor zu finden. Die Mulde selber wurde als loses, wasserführendes Material in einer Zapfenform bis weit in die Tiefe vermutet. Man traf denn auch beim Vortrieb des 6,5 km langen Versuchsstollens, der sich 300 m über dem Basistunnelniveau befindet, auf diese Zone und bohrte hinein. Tatsächlich trat zuckerkörniger Dolomit unter hohem Wasserdruck aus und sandete die Tunnelbohrmaschine ein. Das weisslich eingefärbte Wasser-Sand-Gemisch floss durch den Stollen hinaus und überzog schliesslich die Kantonstrasse in der Leventina mit einer sandigen Schicht. Die Medien berichteten darüber mit der Schlagzeile „D-day at Piora Beach“ und beschworen damit das Ende des Projektes herauf.

In der Folge gelang es, die Austrittsstelle zu versiegeln. Es wurden Schrägbohrungen bis auf Basistunnelniveau durchgeführt, um die Materialbeschaffenheit zu erkunden. Glückliche Umstände wollten es, dass man dort auf harten, kompakten Dolomitmarmor ohne Wasser gestossen ist. Die Geologen stellten die These auf, dass in den 300 Höhenmetern zwischen Erkundungstunnel und Basistunnel geologisch etwas stattgefunden haben muss. Wahrscheinlich handelt es sich um einen verfestigten Gipschut, der diese 2 verschiedenen Formationen voneinander trennt.

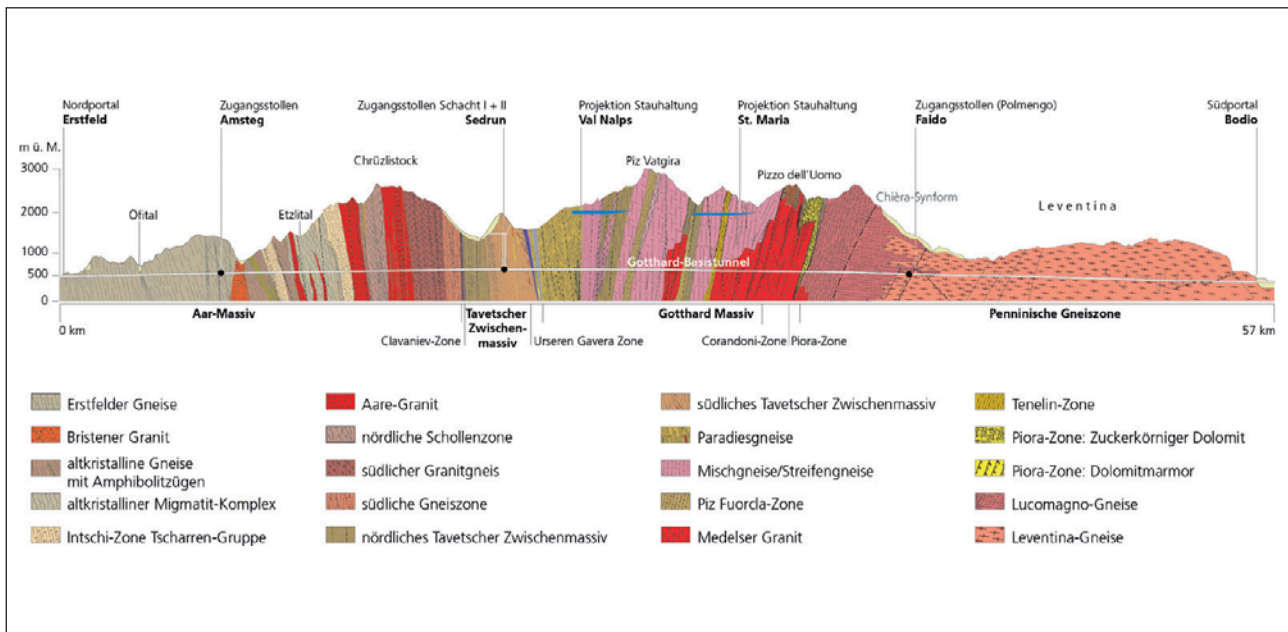
law also has consequences. As a result work in the case of Erstfeld was delayed by 2 years, something which ultimately exerted an influence on the point in time regarding opening the Gotthard Base Tunnel.

8 Challenging Geology

The Piora Basin, which was already mentioned, played a key role regarding the geology. Outcrops of whitish, sugary Dolomite marble are to be found on the surface alongside the road above the Lukmanier Pass, some 1,500 m above tunnel level. The basin itself was perceived as a loose, water-bearing material shaped like a cone extending to a great depth. This zone was then encountered when driving the 6.5 km long exploratory tunnel, which is located roughly 300 m above the level of the main tunnel and it was penetrated. In actual fact sugary Dolomite under high water pressure was released enveloping the tunnel boring machine. The whitish pigmented water-sand mixture flowed through the tunnel and ultimately covered the cantonal road in the Leventine valley with a sandy layer. The media reported on the incident employing the caption “D-Day at Piora Beach” and conjured up the end of the project.



9 Sondierbohranlage auf der Tunnelbohrmaschine vor der Piora-Mulde
Exploratory drilling unit on the tunnel boring machine in front of the Piora Basin



10 Geologisches Längensprofil Gotthard-Basistunnel
Geological longitudinal profile of the Gotthard Base Tunnel

10 Jahre später ist man dann beim effektiven Vortrieb ohne Probleme durch diese umstrittene Zone hindurchgefahren. Sie war auf Tunnelniveau etwa 150 m dick und wurde mit einer Vortriebsleistung von etwa 10 m/Tag durchörtert. Die ganze Kampagne kostete rund 100 Mio. CHF. Sie wurde getätigt, bevor man gewusst hat, ob man dieses Projekt überhaupt bauen kann und die Finanzierung des Gesamtprojekts gesichert hatte (Bild 9, 10).

9 Kosten

Der definitive Kostenrahmen wurde vom schweizerischen Parlament am 18. September 2008 festgelegt. Für die Achse Gotthard, d. h. für beide Basistunnel am Gotthard und Ceneri, stehen demgemäß 13.157 Mrd. CHF (auf Preisbasis von 1998 ohne MWSt, Zinsen und Teuerung) zur Verfügung. Rund 10 Mrd. CHF entfallen davon auf den Gotthard-Basistunnel.

Per Ende 2012 steht die Endkostenprognose für das Gesamtprojekt bei rund 12.4 Mrd. CHF. Dazu werden jedoch noch quantifizierte Risiken im Gesamtumfang von 1.2 Mrd. CHF ausgewiesen. Daraus wird ersichtlich, dass das Projekt aus heutiger Sicht noch nicht am Ziel ist und der Beherrschung der finanziellen Risiken nach wie vor höchste Priorität zukommt.

10 Ausblick

Der Gotthard-Basistunnel wird Ende Mai 2016 von der ATG via Bund an die Betreiberin SBB übergeben, verbunden mit der provisorischen Betriebsbewilligung. Ab diesem Datum sollen die ersten Güter- und Personenzüge durch den Tunnel rollen können. Rund 3 Jahre später folgt 2019 dann die Inbe-

Consequently it was possible to seal the leak. Directional drilling was carried out down to the level of the Base Tunnel in order to investigate the nature of the material. Fortunately hard, compact Dolomite marble without water was encountered there. The geologists put forward the hypothesis that something must have occurred in geological terms within the 300 m between the exploratory tunnel and the Base Tunnel. Probably the cause was a consolidated gypsum cap rock, which separated these 2 different formations from each other.

Ten years later this controversial zone was penetrated without difficulty during the actual drive. At tunnel level it was roughly 150 m thick and was excavated at a rate of some 10 m/day. The entire undertaking cost around 100 million CHF. It was executed before it was actually known whether the project could be accomplished and the financing secured (Figs. 9 + 10).

9 Costs

The definitive cost framework was laid down by the Swiss parliament on September 18, 2008. Accordingly 13.157 billion CHF (based on 1998 levels without VAT, interest and inflation) is available for the Gotthard axis i.e. the 2 base tunnels at the Gotthard and Ceneri. Around 10 billion CHF of this total is accounted for by the Gotthard Base Tunnel.

As of late 2012 the prognosis for the final costs for the total project amounted to roughly 12.4 billion CHF. However quantified risks amounting to a total of 1.2 billion CHF must be added. This shows that currently the project has still not reached its target and mastering the financial risks still enjoy utmost priority.



11 Fertig ausgerüsteter Tunnelabschnitt Faido-Bodio West
Completely equipped tunnel section Faido-Bodio West

triebnahme des Ceneri-Basistunnels. Damit wird die AlpTransit Gotthard AG ihre Aufgabe als Erstellerin der NEAT-Achse Gotthard und somit der ersten und bis dato einzigen Flachbahn durch die Alpen erfüllt haben (Bild 11).

11 Fazit

- Um die europäische Verkehrspolitik und die verkehrliche Entwicklung zu ihren Gunsten zu beeinflussen, musste die Schweiz in Vorleistung gehen.
- Die breite politische Abstützung auf nationaler Ebene hat der NEAT den Weg geebnet.
- Die Spezialfinanzierung via separatem, zweckgebundenem Fonds hat Planungssicherheit geschaffen und damit der Kostenoptimierung gedient.
- Das erstmals im modernen Infrastrukturbau in der Schweiz angewandte Besteller-Ersteller-Betreiber-Modell hat sich als Erfolgsfaktor für das Projekt erwiesen.
- Der frühe Einbezug der Interessenvertreter vor Ort und das damit verbundene harte Ringen um Kompromisse mit letztlich konsensualen Lösungen war die Basis für den Durchbruch des Projekts.
- Die Investitionen für Baugrunderkundungen im einstelligen Prozentbereich der Investitionssumme hat sich als zielführend erwiesen und bildete die Basis für ein realistisches Gesamtterminprogramm.
- Etwa die Hälfte der Mehrinvestitionen und Mehrkosten im Vergleich zum ursprünglichen Kostenziel ist auf erhöhte Anforderungen an die Sicherheit sowie die Entwicklung des Standes der Technik zurückzuführen.

10 Outlook

The Gotthard Base Tunnel will be handed over to the operator SBB at the end of May 2016 by the ATG via the state in conjunction with the provisional operating permit. From this date the first goods and passenger trains will be able to run through the tunnel. The Ceneri Base Tunnel will open some 3 years later in 2019. This will signify that the AlpTransit Gotthard AG has fulfilled its task of producing the NEAT Gotthard axis – so far the only flat trajectory railway through the Alps (Fig. 11).

11 Conclusion

- Switzerland had to adopt a trail-blazing approach in order to influence European transport policy and develop traffic favourably.
- Broad political support at national level paved the way for the NEAT.
- Special financing by means of separate, tied funding created planning security also serving the optimisation of costs.
- The buyer-builder-operator model applied for the first time in modern infrastructure construction in Switzerland emerged as a factor for the success of the project.
- The early inclusion of representatives of interests on the spot and the resultant tough battle for compromises ultimately arrived at by consensual solutions represented the basis for the project's success.
- Investments for ground explorations involving single digit percentages of the investment sum turned out to be productive and formed the basis for a realistic overall schedule.
- Roughly the half of the extra investments and added costs in comparison to the original cost target is attributable to enhanced safety requirements and state of the art development.

*Rupert H. Lieb, Dr. sc. techn., Dipl. Ing. TU Graz, Leiter Risikocontrolling, AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Stefan Matsch, Dr. sc. techn., Dipl. Werkstoffing. ETH/SIA, Projektleiter und Experte Ernst Basler + Partner AG, Zürich/CH*

Roland Weiss, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Leiter Zentrum für Baustofftechnologie, VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums/CH

Gotthard-Basistunnel

Innovationen bei der Materialtechnologie

Aufgrund der speziellen Anforderungen, wie riesige Materialmengen, extrem hohe Überlagerung mit entsprechend hohen Gebirgstemperaturen, warme und mineralisierte Gebirgswässer sowie geforderte lange Nutzungsdauer, wurden bei der Realisierung des Gotthard-Basistunnels neue Wege in der Materialtechnologie beschritten. Einiges davon ist mittlerweile zum Standard geworden oder in die Schweizer Normung eingeflossen.

Gotthard Base Tunnel

Innovations for Material Technology

New paths in material technology were embarked on for producing the Gotthard Base Tunnel on account of the special demands involved such as giant quantities of material, extremely thick overburden with correspondingly high rock temperatures, warm and mineralised underground water as well as the long service life. Some of these have become standardised in the interim or are included in Swiss norms.

1 Einleitung

Projektierung, Bau und Finanzierung der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) sind zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Bund) als Besteller und der AlpTransit Gotthard AG (ATG) als Ersteller in einer Vereinbarung geregelt. Teil der Vereinbarung sind die Standards für den Gotthard-Basistunnel (GBT). In diesen Standards ist für die Tunnelverkleidung eine Nutzungsdauer von 100 Jahren festgelegt.

Die Gebirgsüberlagerung liegt beim GBT teilweise bei über 2500 m. Daraus resultieren Felsursprungstemperaturen von über 40° C auf knapp 1/3 des Tunnels sowie etwa gleich warmes Bergwasser (Bild 1). Dies stellt enorme Herausforderungen sowohl an die Konzeption und Erstellung des Bauwerks als auch die Qualität und Dauerhaftigkeit der eingesetzten Materialien. Dabei muss die Verkleidung des Tunnels als System aus Untergrund, Schutz des Bauwerks gegen schädliche Wasserzutritte und eigentlichem Tragwerk in Form der Betoninnenschale betrachtet werden. Der Abdichtung und der Betonqualität kommt besondere Bedeutung zu. Einen wesentlichen Einfluss auf die Betonqualität haben die in der Herstellung verwendeten Gesteinskörnungen [1]. Diese wurden den Tunnelbauunternehmen von der ATG zur Verfügung gestellt. Um das hohe Qualitätsziel zu erreichen und

1 Introduction

Planning, construction and financing the New Rail Links through the Alps (NRLA/NEAT) are regulated in an agreement between the Swiss Federation (state) as client and the AlpTransit Gotthard AG (ATG) as producer. The standards for the Gotthard Base Tunnel (GBT) represent a part of this agreement. A service life of 100 years is laid down in these standards for the tunnel lining.

The rock overburden for the GBT in some cases amounts to over 2,500 m. This accounts for original rock temperatures in excess of 40° C along almost 1/3rd of the tunnel as well as equally warm underground water (Fig. 1). This places enormous challenges both on the conception and production of the structure as well as the quality and sustainability of the materials used. In this connection the tunnel lining must be considered as a system comprising the subsurface, protection of the structure against harmful inflows of water and the actual supporting structure in the form of the concrete inner shell. Waterproofing and concrete quality are of particular importance. The aggregates used in production have a substantial influence on the concrete quality [1]. These were made available to the tunnelling contractors by the ATG. In order to attain the high quality target and master the logistical challenges during production, new paths were embarked on in the field of material technology.

Le tunnel de base du Saint-Gothard

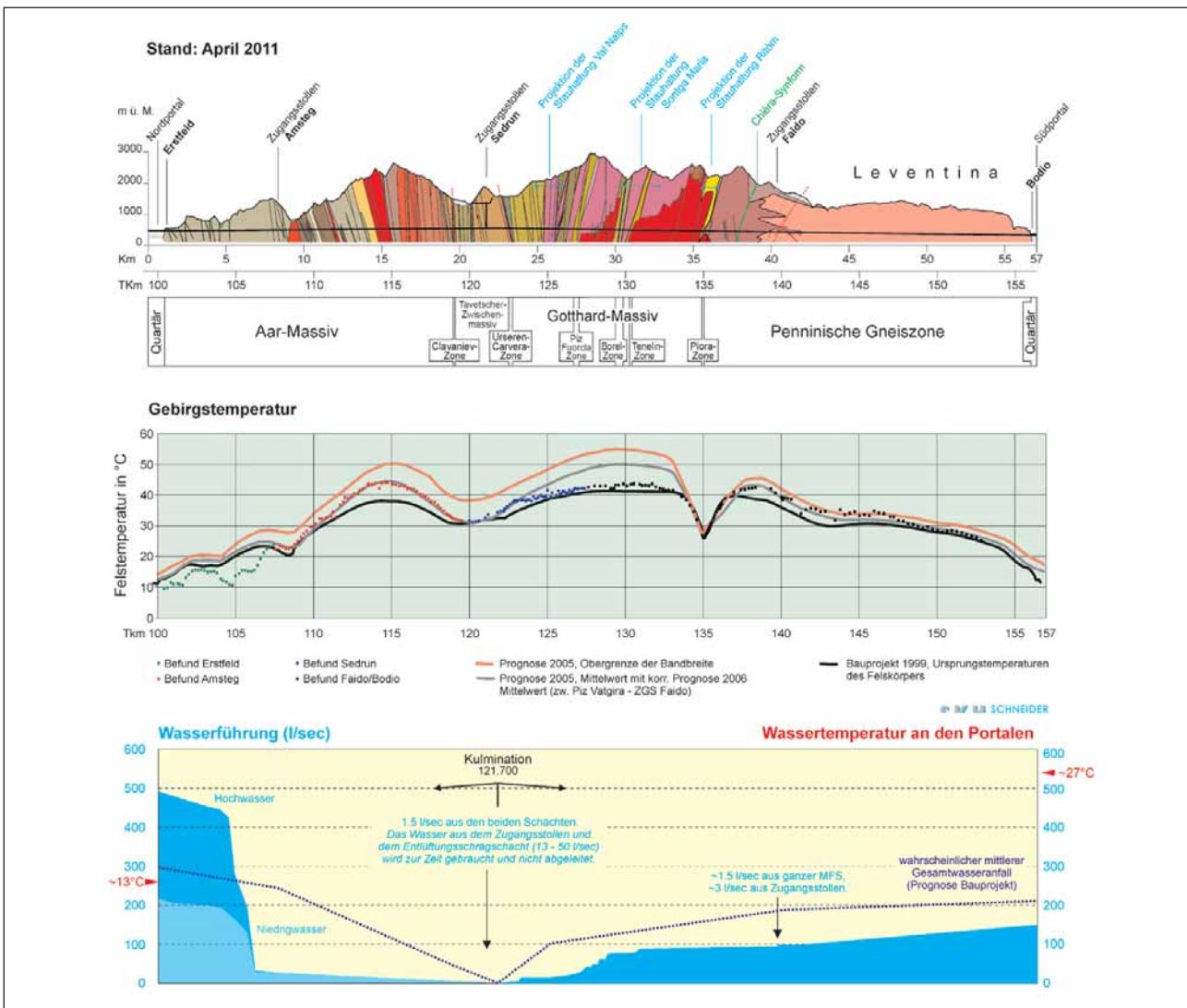
Innovations dans la technologie des matériaux

Les exigences spécifiques posées par le tunnel de base du Saint-Gothard, comme les énormes quantités de matériaux, la couverture rocheuse extrêmement élevée avec des températures de massif d'autant élevées, des eaux de montagne chaudes et minéralisées, ainsi que la longue durée d'exploitation exigée, ont amené les responsables de la réalisation à s'engager dans de nouvelles voies en termes de technologie des matériaux. Certaines de ces technologies sont devenues entre-temps des standards ou ont été intégrées dans les normes suisses.

Galleria di base del San Gottardo

Innovazioni in campo di tecnologia del materiale

Viste le speciali esigenze – come ad esempio le immense quantità di materiale, la sovrapposizione estremamente alta con conseguenti elevate temperature della roccia, l'acqua calda e mineralizzata della montagna come anche la lunga durata in servizio richiesta – per la realizzazione della Galleria di Base del San Gottardo sono state imboccate strade nuove in campo di tecnologia del materiale. Alcune di queste novità nel frattempo sono state adottate come standard oppure hanno trovato riscontro nella normazione svizzera.



1 Geologisches Längsprofil GBT mit Gebirgstemperaturen und Wasserführung
 Geological longitudinal profile of GBT with rock temperatures and water conditions

die logistischen Herausforderungen bei der Erstellung zu meistern, wurden im Bereich der Materialtechnologie neue Wege beschritten.

Im März 1995 wurde ein AlpTransit-Seminar zum Thema „Aspekte der Dauerhaftigkeit von Tunnelbauten“ [2] durchgeführt. Die dabei erkannten Fragestellungen führten dazu, dass die beiden Erstellergesellschaften, die BLS AlpTransit AG (BLS AT) und die ATG, 1996 gemeinsam die Arbeitsgruppe für Materialtechnik (AGMT) ins Leben riefen. In Teams, zusammengesetzt aus Vertretern der Erstellergesellschaften, Projektingenieuren und Experten, wurden die Themen Materialbewirtschaftung, Beton und Abdichtung behandelt. Im Folgenden werden die wichtigsten mit diesen Themen zusammenhängenden Fragestellungen, Lösungsansätze und Erfahrungen zusammengefasst.

2 Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials

Am GBT wurde ein Tunnel- und Stollensystem von fast 152 km Gesamtlänge ausgebrochen. Dabei fielen rund 28,2 Mio. t Ausbruchmaterial an (Bild 2). Die Bewirtschaftung dieser enormen Gesteinsmassen war eine grosse Herausforderung, die nur mit innovativen Techniken sowie einer ausgeklügelten Logistik und Organisation bewältigt werden konnte. Dabei waren folgende Anforderungen zu beachten:

- Die Materialbewirtschaftung durfte nicht zum leistungsbestimmenden Faktor werden.
- Die Verwertung des anfallenden Materials sollte maximiert werden.
- Die Belastungen der Umwelt sollten minimiert werden.
- Die Materialbewirtschaftungskonzepte mussten wirtschaftlich sein.

2.1 Wiederverwertbarkeit von Ausbruchmaterial

Zur Schonung der natürlichen Ressourcen und Vermeidung langer Transportwege wurde eine möglichst hohe Wiederverwertung des Ausbruchmaterials angestrebt. So konnte auch eine möglichst vollständige Selbstversorgung der ATG-Baustellen erreicht werden. Zumindest im Teilabschnitt Sedrun wäre es nur schon aus logistischen Gründen unmöglich gewesen, eine durchgehende Fremdversorgung mit Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton und Spritzbeton sicherzustellen. Auch der Abtransport von nicht verwendetem Ausbruchmaterial wäre in einzelnen Teilabschnitten nicht möglich gewesen. Beim Bau des GBT wurden mehr als 9 Mio. t Ausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen aufbereitet.

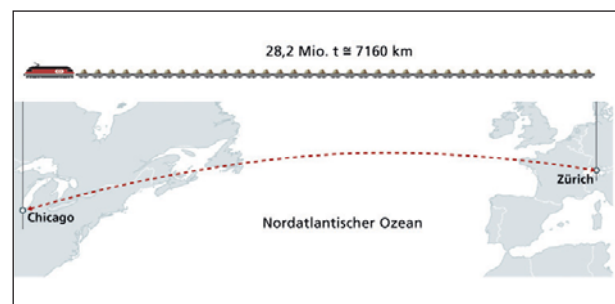
Die grundsätzliche Eignung von aufbereitetem Ausbruchmaterial (insbesondere TBM-Material) zur Herstellung von Beton und vor allem Spritzbeton mit hohen Anforderungen wurde mit der Dissertation von C. Thalmann an der ETH Zürich nachgewiesen [3]. Dort flossen auch die Erfahrungen aus früheren Projekten wie dem Bau von Staumauern und Autobahnen sowie der TBM-Vortriebe Vereina Nord und Cleuson-Dixence ein. Speziell für den GBT mit den unterschiedlichen geologischen Formationen wurden Aufbereitungsversuche

In March 1995 an AlpTransit seminar was staged on “Aspects of Sustainability of Tunnels” [2]. As a result of the issues raised the 2 constructor companies, the BLS AlpTransit AG (BLS AT) and the ATG, jointly established the Working Group for Material Technology (AGMT) in 1996. Teams made up of representatives from the constructor companies, project engineers and experts discussed the topics material management, concrete and waterproofing. The most important issues, approaches to solutions and findings related to these topics will be dealt with in the following.

2 Managing the excavated Material

A tunnel and heading system with a total length of almost 152 km was excavated at the GBT. As a result around 28.2 million t of excavated material accumulated (Fig. 2). Managing this enormous amount of rock represented a big challenge, which could only be mastered by means of innovative techniques as well as intricate logistics and organisation. The following demands had to be met in the process:

- Material management was not allowed to become a governing factor.
- Recycling the resultant material had to be maximised.
- Environmental impacts had to be minimised.
- The material management concepts had to be economic.



2 Das Ausbruchmaterial aus dem Gotthard-Basistunnel füllt einen Zug der Länge Zürich-Chicago
The excavated material from the Gotthard Base Tunnel would fill a train extending from Zurich – Chicago

2.1 Recyclability of excavated Material

As high a recyclability factor as possible was strived for to conserve natural resources and avoid lengthy transportation routes. Thus it was also possible to ensure that the ATG construction sites were practically self-sufficient. However in the Sedrun part-section at least it would have been impossible for logistical reasons to secure a continuous external supply of rock aggregates to produce concrete and shotcrete. The removal of unused excavated material would also not have been feasible in individual part-sections. During the construction of the GBT in excess of 9 million t of excavated material was used to prepare aggregates.

The fundamental suitability of prepared excavated material (especially TBM material) for producing concrete and above all shotcrete with high demands was verified by C. Thalmann's dissertation at the ETH Zurich [3]. Findings from

u.a. mit Lucomagno- und Leventinagneisen des Sondierstollens Pollmengo und Material aus dem Umbau des Kraftwerks Amsteg durchgeführt. Zur Sicherstellung der vereinbarten Qualität wurde ein Prüfplan für die Gesteinskörnungen aus Tunnelausbruchmaterial entwickelt. Dieser enthielt sowohl Prüfungen am Rohmaterial als auch an den aufbereiteten Gesteinskörnungen. Die Mindestanforderungen an die mechanischen und petrographischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials wie z.B. Gesteinshärte oder Glimmeranteil sowie die zeitlichen Abhängigkeiten bezüglich Materialanfall und -bedarf begrenzten die Möglichkeiten der Selbstversorgung.

In Sedrun wurde zur Steigerung der Selbstversorgung als technische Neuheit eine Glimmerflotationsanlage in die Aufbereitungsanlage (Kieswerk) integriert. Die im Tavetscher Zwischenmassiv Süd erwarteten und auch angetroffenen Glimmergneise und Schiefergneise sind aufgrund des hohen Glimmeranteils normalerweise nur bedingt verwendbar. Der Einsatz der Glimmerflotation führte zur Reduktion des Glimmergehalts im Sand 0 bis 1 mm. Die Flotation ist ein Sortierprozess in der mechanischen Verfahrenstechnik. Dabei werden durch Zugabe von chemischen Reagenzien die unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften der Einzelkomponenten verstärkt und zur Separierung genutzt. Die in Sedrun durchgeführte Abtrennung von Glimmer aus einem silikatischen Feinsand ist bisher einmalig. Unter Beigabe eines Sammlerreagenzes (Flotat) wird durch Rühren und Luftzuführung eine Schaumschicht erzeugt. Diese Schaumschicht bindet die Glimmerteilchen und wird mit einem Paddel abgezogen. Als Flotat wurde ein Etheramin verwendet, welches biologisch abbaubar ist. Das Verfahren hat sich bewährt und der Glimmeranteil konnte auch mit minimalem Flotateinsatz halbiert werden. In 6253 Betriebsstunden wurden fast 220 000 t entglimmerter Sand produziert.

2.2 Logistische Herausforderung

Eine grosse logistische Herausforderung war die Bewirtschaftung der anfallenden Ausbruchmaterialien und die Versorgung mit Gesteinskörnungen. Die Materialbewirtschaftung durfte nicht zum leistungsbestimmenden Faktor für Vortrieb, Innenausbau oder Schüttungen werden. Dies zu gewährleisten war äusserst schwierig. Denn sowohl für Rohmaterial als auch für Gesteinskörnungen standen zur Pufferung der einzelnen Abläufe nur beschränkt Zwischenlagerungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Das Ausbruchmaterial wurde schon im Vortriebsbereich hinsichtlich der Eignung zur Aufbereitung vorklassiert. Der Transport im untertägigen Bereich erfolgte entweder per Förderband (Erstfeld, Amsteg und Sedrun Süd) oder mit Schutterzügen (Bodio, Faido sowie Multifunktionsstelle und Sedrun Nord). Im ersten Fall wird das Material vor der Aufgabe auf das Förderband von Brecheranlagen zerkleinert. Bei gleisgebundenem Transport erfolgt das Vorbrechen des Rohmaterials im Anschluss an die Entleerung der Schutterwagen. Insgesamt wurden rund 70 km Förderbänder instal-

former projects such as the building of dams and motorways as well as the Vereina North and Cleuson-Dixence TBM drives were taken into account. Preparation tests were undertaken among other things with Lucomagno and Levantine gneisses from the Pollmengo exploratory tunnel and material from redeveloping the Amsteg power plant especially for the GBT with different geological formations. A test plan for the aggregates from excavated material was drawn up to secure the predetermined quality. This contained tests of the raw material as well as for the prepared rock aggregates. The minimum requirements on the mechanical and petrographic properties of the excavated material as well as scheduling accumulated and required material restricted opportunities for being self-sufficient.

A glimmer flotation unit was integrated in the preparation plant (gravel plant) as a technical novelty in Sedrun to increase self-sufficiency. The glimmer gneisses and slate gneisses, which were encountered as anticipated in the Tavetsch Intermediate Massif South, are normally only utilisable to a limited extent on account of the high proportion of glimmer. Application of glimmer flotation led to reducing the amount of glimmer in 0 to 1 mm sand. Flotation represents a sorting process in mechanical process technology. By adding chemical reagents the various surface properties of the individual components are enhanced and exploited for separation purposes. The separation of glimmer from a siliceous fine sand as carried out at Sedrun is so far unique. A frothy layer is created by stirring and adding air through the addition of a collector reagent (flotation collector). This frothy layer absorbs the glimmer particles and is removed via a paddle. An etheramine, which is biologically degradable, is used as the flotation collector. The method has proved itself and the amount of glimmer was halved with minimal application of flotation collector. Almost 220,000 t of sand with a reduced glimmer content was produced in 6,253 hours of operation.

2.2 Logistical Challenge

A major logistical challenge was represented by the management of the prevailing excavated materials and supplying aggregates. On no account was material management allowed to become the determining factor for the drive, furnishing the interior or fills. It was extremely difficult to assure this. For only limited intermediate storage facilities were available for buffering the individual sequences both for raw material and aggregates.

The excavated material was already preclassified in the excavation area regarding its suitability for preparation. It was transported underground either by belt conveyor (Erstfeld, Amsteg and Sedrun South) or mucking trains (Bodio, Faido as well as the multi-function station and Sedrun North). In the first case the material is reduced by crushers prior to being placed on the conveyor. When transported by rail the raw material is crushed after the mucking cars are emptied. Altogether some 70 km of belt conveyors was installed. In

liert. Damit war ein möglichst umweltgerechter Transport entweder direkt zu den Materialbewirtschaftungsanlagen oder den Ablagerungen bzw. Zwischenlagern über- und untertägig möglich (Bild 3). Übertage erfolgten längere Transporte bei Bedarf per Bahn (z.B. zwischen Erstfeld und Amsteg). Nur in Ausnahmefällen kam es zu Strassentransporten. Für den Förderbandtransport des nicht aufbereitbaren Ausbruchmaterials vom Installationsplatz Bodio zur Ablagerung Buzza di Biasca im Blenioal wurde ein Schutterstollen von 3,2 km Länge und 5 m Durchmesser ausgebrochen (Bild 4).

In den Kieswerken wurde das geeignete Rohmaterial zu Gesteinskörnungen mit konstant hoher Qualität für die Beton- und Spritzbetonproduktion verarbeitet. Das Rohmaterial wurde in Kornfraktionen getrennt und aufbereitet. Im sogenannten Hurricane wurde das Material zusätzlich gerundet.

Eine besondere Herausforderung entstand, wenn durch die Projektentwicklung gegenüber den ursprünglichen Prognosen zeitliche und/oder mengenmässige Veränderungen eintraten. Die wesentlichsten Einflussfaktoren sind dabei die Verwertbarkeit des Ausbruchmaterials und die Vortriebsgeschwindigkeit sowie der zeitliche Abstand zwischen Materialanfall und Materialbedarf. Sowohl die Verwertbarkeit als auch der Materialanfall pro Zeiteinheit (z.B. Monat) sind von den angetroffenen Baugrundverhältnissen abhängig und können in kürzester Zeit erhebliche Schwankungen erfahren (z.B. durch Anfahren einer ausgedehnten Störzone). Für den Materialbedarf sind die geplanten Bauprogramme massgebend, sei es bei den Betonierprogrammen oder aber bei den Schüttprogrammen für die Dämme im Bereich der offenen Strecken im Norden und Süden. Der wesentlichste

this way environmentally-compatible transportation was possible either directly to the material management facilities or to storage points or intermediate storage points on the surface or underground (Fig. 3). Longer transports on the surface were effected by train as required (e.g. between Erstfeld and Amsteg). Road transportation was only utilised in cases of exception. A 3.2 km long and 5 m diameter mucking tunnel was excavated from the Bodio installation yard to the Buzza di Biasca dump in the Blenio valley for transporting the unprepared excavated material (Fig. 4).

Suitable raw material was processed in the gravel plants to form aggregates with constant high quality for producing concrete and shotcrete. The raw material was divided and prepared into grain fractions. The material was then additionally rounded in the so-called Hurricane.

A special challenge had to be faced when time-related and/or quantity-related changes cropped up through the project developing, which diverged from the original prognoses. The determining factors of influence here are the suitability of the excavated material and the rate of advance as well as the time gap between when material becomes available and is required. Both the recyclability as well as the incidence of material per time unit (e.g. month) depends on the ground conditions and can be subject to considerable fluctuations (e.g. by encountering an extensive fault zone). The scheduled construction programmes determine the material requirement. This applies to the concreting programmes or also to the mucking programmes for the embankments of the open sections in the north and south. The main factor of influence for material management is the decision whether the main



3 Materialbewirtschaftungsanlage auf der Baustelle Erstfeld
Material management facility on the Erstfeld construction site

Einflussfaktor für die Materialbewirtschaftung ist der Entscheid, ob die Hauptbetonarbeiten des Innenausbaus (Sohle und Gewölbe) parallel zu den Vortriebsarbeiten ausgeführt werden oder danach. Wird parallel betoniert, so sind die täglichen Betonierleistungen und damit der Bedarf an Gesteinskörnungen aufgrund der Abhängigkeit von den Vortriebsarbeiten deutlich geringer. Dies wirkt sich günstig auf die erforderliche Kapazität der Produktionsanlagen und der Zwischenlager aus. Da ausserdem Spritzbeton und Ortbeton mit unterschiedlichen Sieblinien hergestellt werden, wirkt sich eine Parallelität von Ausbruch und Erstellung des Innengewölbes günstig auf die Produktion der Komponenten aus.

Um möglichst wirtschaftliche Angebote zu erhalten, stellte es die ATG den Tunnelbauunternehmern meist frei, ob parallel zum Vortrieb oder danach das Innengewölbe erstellt wird. Die Lösungen der Unternehmer waren unterschiedlich, haben sich aber grundsätzlich alle bewährt. Es kam aber auch zu nachträglichen Anpassungen. So wurde im Teilabschnitt Sedrun in den Südvortrieben die Parallelität der Arbeiten während der Ausführung deutlich erhöht.

Die Erfahrungen am GBT zeigen, dass bei der Dimensionierung aller Anlagen der Materialbewirtschaftung grosszügige Bandbreiten zu berücksichtigen sind. Alle Prognosen über Vortriebsleistungen, Materialanfall, Verwertbarkeit und Materialbedarf (Menge und Verteilung) sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Soll die Materialbewirtschaftung nicht zum limitierenden Faktor werden, müssen auch Spitzenwerte und nicht nur Durchschnittswerte für die Wahl der Anlagen berücksichtigt werden. Auch die nötigen Zeiten zur Wartung der Anlagen müssen beachtet werden.

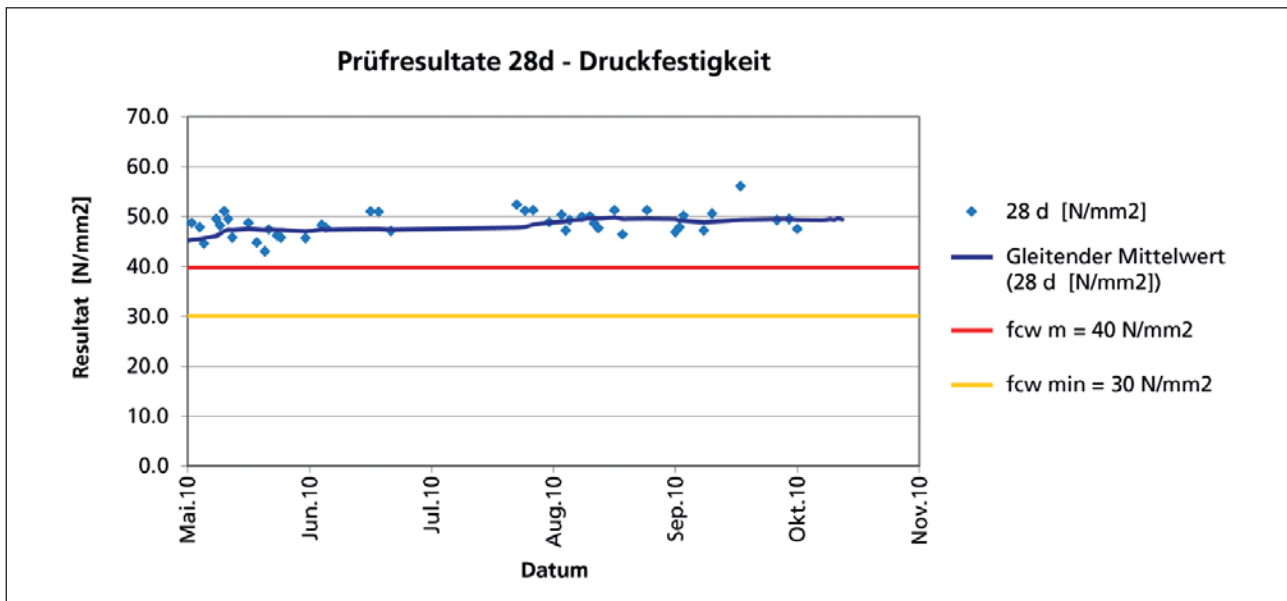
concreting operations for furnishing the interior (invert and vault) are undertaken parallel to the driving activities or afterwards. If the concreting phase is parallel then the daily concreting rates and in turn the need for aggregates are substantially lower as they are geared to the driving operations. This exercises a favourable effect on the necessary capacity for the production facilities and the intermediate storage facility. Furthermore as shotcrete and in situ concrete with different grading curves are produced, if the excavation and production of the inner vault are undertaken parallel to each other, this exerts a favourable influence on the production of the components.

The ATG usually left it to the tunnelling contractors whether the inner vault was produced parallel to the excavation or afterwards in order to obtain offers that were as economic as possible. The companies concerned came up with different solutions. Subsequent adjustments were also forthcoming. In the southern drives for the Sedrun part-section for example the parallelism of activities substantially increased during execution.

The experiences made at the GBT indicate that generous scales for dimensioning all material management facilities must be taken into account. All prognoses relating to rates of advance, incidence of material, recyclability and material requirement (amount and distribution) are subjected to great uncertainty. Peak rather than average values must be considered for selecting the facilities to ensure that material management does not become a limiting factor. The times needed for servicing the facilities must also be lent consideration.



4 *Materialablagerung Buzza di Biasca im Bleniotal*
Buzza di Biasca material dump in the Bleniotal valley



5 Beispiel Qualitätskontrolle Festbetoneigenschaften Druckfestigkeit
 Example of quality control – hardened concrete properties – compressive strength

3 Betontechnologie

3.1 Prüfungssystem für Betonmischungen

Mit dem Einrichten eines Prüfungssystems bezweckte die ATG unter Einbezug der Projektgenieure und der Industrie, dass rechtzeitig auf die Ausschreibung der GBT-Hauptlose hin qualitativ einwandfreie Betonmischungen bekannt waren. Diese sollten mit den GBT-eigenen Gesteinskörnungen die verlangten Betonqualitäten unter den speziellen Herstellungsbedingungen erbringen können [4].

Die internationale Ausschreibung des Prüfungssystems 1996 richtete sich an Hersteller und Lieferanten von Zement, Zusatzstoffen und Zusatzmittel, welche ihre Produkte für den Bau des GBT anbieten wollten. Die Bewerber mussten sich produktübergreifend zu Anbieterteams zusammenschließen und den von der ATG vorgeschriebenen Eignungsnachweis erbringen. Dieses Prüfungssystem war das erste, welches in diesem Umfang in der Schweiz realisiert wurde.

Das Resultat des Prüfungssystems bestand aus Verzeichnissen jener Beton- und Spritzbetonmischungen, welche die verlangten Anforderungen unter den vorgegebenen Randbedingungen erfüllt haben. Diese Verzeichnisse wurden erstmals 1999 publiziert. Die spätere Zulassung von neuen Mischungen war jederzeit möglich. Über die Durchführung des Prüfungssystems und die erreichten Resultate wurde bereits mehrfach berichtet [5, 6]. Die Ziele des Prüfungssystems wurden erreicht. Die Entwicklung neuer Zusatzmittel und der Einsatz von damals für die Schweiz neuer Zemente zeigten, dass mit normalen Vorversuchen – unter dem baustellenüblichen Zeitdruck – die Ziele nicht erreicht worden wären.

Das Prüfungssystem hatte Auswirkungen auf die Werkverträge zwischen dem Bauherrn und den Unternehmern. In den

3 Concrete Technology

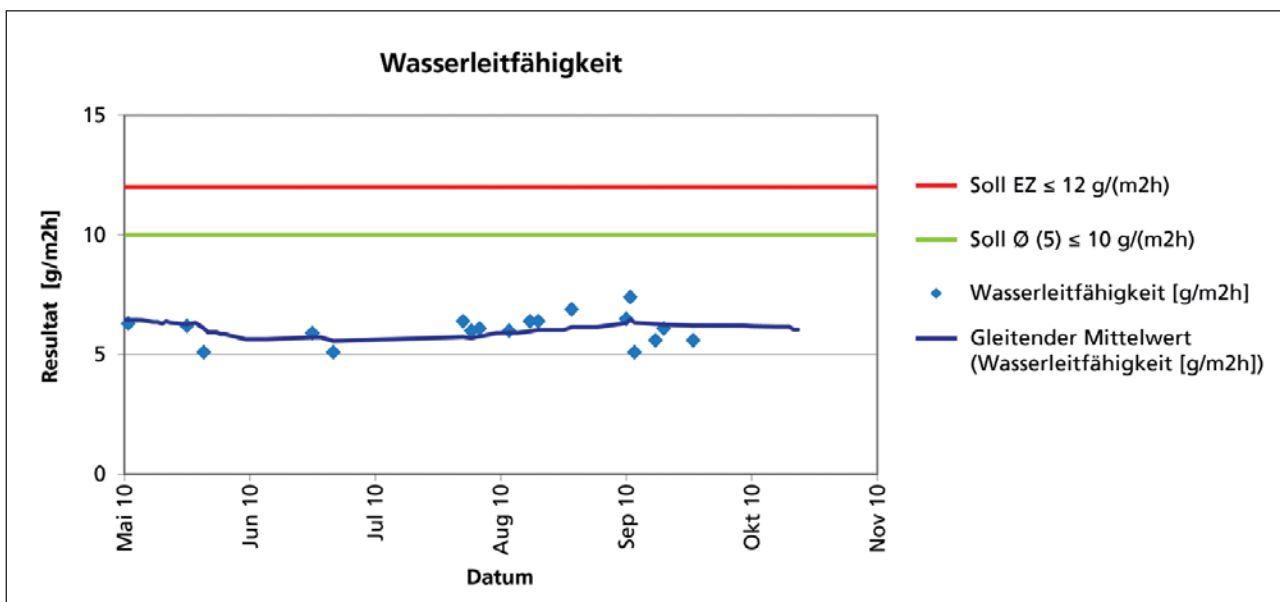
3.1 Test System for Concrete Mixes

By establishing a test system the ATG pursued the aim in conjunction with the project engineers and industry of ensuring that qualitatively indisputable concrete mixes would be available in time for the tendering phase for the GBT main contract sections. These had to be capable of complying with the demanded concrete qualities under the special production conditions with the aggregates obtained from the GBT [4].

The international invitation to tender for the test system in 1996 was directed at producers and suppliers of cement, additives and admixtures, which wished to offer their products for building the GBT. Candidates had to set up across-the-board bidding teams and comply with the prescribed ATG proof of suitability. This test system was the first of this magnitude to be accomplished in Switzerland.

The result of the test system comprises lists of those concrete and shotcrete mixes, which fulfilled the required demands under the prescribed general conditions. These lists were published in 1999 for the first time. New mixes could be approved at any subsequent point in time. Reports on executing the test system and the results attained have already appeared frequently [5, 6]. The targets of the test system were achieved. The development of new admixtures and the application of what were for Switzerland new cements showed that these targets would not have been reached using normal preliminary tests – given the time pressure customary on site.

The test system had its effect on the contracts between the client and the contractors. The modalities for mix adjustments, verifying quality and remuneration were regulated in the “Special Conditions”.



6 Beispiel Qualitätskontrolle Festbetoneigenschaften Wasserleitfähigkeit
 Example of quality control – hardened concrete properties – water conductivity

„Besonderen Bestimmungen“ wurden die Modalitäten für Mischungsanpassungen, die Qualitätsnachweise sowie die Vergütung geregelt.

Die Unternehmer adaptierten bei Bedarf die zugelassenen Mischungen an die sich ändernden baustellen-spezifischen Verhältnisse. Die Einhaltung der Qualitätsanforderungen wurde durch Prüfungen überwacht. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die geforderten Festbetoneigenschaften zuverlässig erreicht wurden, teilweise mit grossen Reserven. Hingegen war das Einstellen der Frischbetoneigenschaften für die notwendige Verarbeitbarkeit oft eine Herausforderung (Bild 5, 6, 7).

3.1.1 Sulfatwiderstand

Die Gefährdung der Dauerhaftigkeit durch die Belastung mit sulfathaltigem Bergwasser war von Anfang ein Schwerpunktthema. Als Massnahmen gegen Sulfatangriff wurde der Schutz vor aggressivem Bergwasser mit einer Abdichtung sowie Beton mit erhöhtem Sulfatwiderstand festgelegt.

In der Schweiz gab es zum Zeitpunkt des Prüfungssystems keine nationale Sulfatprüfung. Die für das Prüfungssystem erarbeitete Prüfung dauerte 720 Tage und war für die Phase des Prüfungssystems geeignet.

Für eine Beurteilung des Sulfatwiderstandes bei Anpassungen der Betonrezeptur während der Ausführung musste eine schnellere Methode gesucht werden.

In einer Studie [7] durch die ETH Zürich wurde eine Analyse der Sulfatprüfung des Prüfungssystems und der Vorgänge beim Sulfatangriff durchgeführt. Auf dieser Studie aufbauend wurde eine verkürzte Prüfung entwickelt und in umfassenden Untersuchungen validiert [8]. Diese neue, verkürzte

The contractors adapted the approved mixes as required to the changing conditions encountered on site. Tests monitored adherence to the quality demands. Altogether it can be ascertained that the required hardened concrete properties were attained in a reliable manner, in some cases with a great deal to spare. However it was often a challenge to arrive at the fresh concrete properties for the required processing (Figs. 5, 6, 7).

3.1.1 Sulphate Resistance

From the outset a major topic was how durability would be endangered by exposure to underground water containing sulphates. Protection against aggressive underground water with a seal and concrete with increased sulphate resistance were determined as measures against sulphate intervention.

There was no national sulphate test in Switzerland at the point in time of the test system. The test devised for the test system lasted 720 days and was suitable for the test system phase.

A faster method had to be developed for assessing the sulphate resistance given adjustments to the concrete recipe during execution.

In a study [7] by the ETH Zurich an analysis of the sulphate test of the test system and the phases during sulphate attack was undertaken. A shortened test was devised on the basis of this study and validated in extensive investigations [8]. This new, shortened sulphate test was incorporated in the execution quality assurance at the GBT.

The shortened sulphate test for the GBT was included in the test for sulphate resistance in SIA 262/1:2003 within the framework of revising the Swiss test norm for concrete.



7 *Betonierte Nische für das Spurwechsellor Nord in der Multifunktionsstelle Faido*
Concreted niche for the North track crossover point in the Faido multi-function station

Sulfatprüfung wurde in die Qualitätskontrolle der Ausführung am GBT übernommen.

Im Rahmen einer Revision der schweizerischen Prüfnorm für Beton wurde die verkürzte Sulfatprüfung vom GBT als Prüfung des Sulfatwiderstandes in die SIA 262/1:2003 aufgenommen. Ab diesem Zeitpunkt wurde diese Prüfmethode auch ausserhalb der GBT-Baustellen eingesetzt.

In einem Forschungsvorhaben des ASTRA [9] wurden Mischungen mit deutlich niedrigeren Zementgehalten, als dies auf den GBT-Baustellen nötig war, untersucht. Das Forschungsvorhaben zeigte auf, dass für diese Betone die Grundprinzipien des Prüfablaufes nur geringfügig anzupassen sind.

Die Anpassungen der Prüfung Sulfatwiderstand wurden 2012 in die Revision der SIA 262/1 aufgenommen.

3.1.2 Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR)

Bereits 1995 wurde erkannt, dass der Einfluss der AAR auf die Dauerhaftigkeit des Betons beachtet werden muss. Es fehlten jedoch die Erfahrungen über die Reaktivität der schweizerischen Gesteine und die betontechnologischen Auswirkungen. Als Massnahme wurde der Ausschluss reaktiver Gesteinskörnungen von der Betonproduktion vorgesehen. Vertiefte Untersuchungen in den Jahren 1996 bis 1999 führten

Henceforth the test method was also applied outside the GBT construction sites.

In an ASTRA research project [9] mixes with considerably lower cement contents than required on the GBT construction sites were examined. The research project indicated that the basic principles for the test cycle only have to be adapted minimally for these concretes.

The adaptations for the sulphate resistance test were included in the revision of the SIA 262/1.

3.1.2 Alkali-Aggregate Reaction (AAR)

It was recognised back in 1995 that the influence of AAR on the durability of concrete had to be observed. However, there was a lack of experience regarding reactivity of Swiss rocks and the concrete technological effects. The exclusion of reactive aggregates from concrete production was foreseen as a measure. More exhaustive investigations from 1996 to 1999 led to new recognitions, which showed that a relevant percentage of the GBT rocks was reactive. The exclusion of all reactive rocks was no longer feasible. Owing to this development, in 2000 a practice-oriented catalogue of measures was devised on behalf of the ATG. This embraced evaluations relating to material management (amount, requirement, new prognoses, reactivity, and triage possibilities), an analysis of hazards on site, working

zur neuen Erkenntnis, dass ein relevanter Anteil der Gesteine des GBT reaktiv sein wird. Der Ausschluss sämtlicher reaktiver Gesteine war nicht mehr umsetzbar. Aufgrund dieser Entwicklung wurde im Jahr 2000 im Auftrag der ATG ein praxisorientierter Massnahmenkatalog entwickelt. Dieser umfasste Abklärungen seitens der Materialbewirtschaftung (Anfall, Bedarf, neue Prognosen Reaktivität, Triagemöglichkeiten), eine Gefährdungsanalyse der Bauteile, die Erarbeitung von betontechnologischen Massnahmen und Anschlussversuche zur Klärung von offenen Fragestellungen (z.B. Untersuchungen an bestehenden Untertage-Bauwerken).

Daraus wurde eine AAR-Strategie für den GBT entwickelt. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wurden moderat reaktive Gesteinskörnungen zugelassen. Das Ausbruchmaterial und die aufbereiteten Gesteinskörnungen wurden auf ihre Reaktivität überwacht. Für den Sohlenbeton und den Sicherungsspritzbeton wurden betontechnologische Massnahmen vorgesehen. Da der GBT durchwegs mit einer Schirmabdichtung gegen Bergwasser geschützt war, wurden für die übrigen Bauteile (Innengewölbe, Bankettbeton) keine zusätzlichen betontechnologischen Massnahmen vorgesehen.

Untersuchungen während der Ausführung bestätigten, dass das AAR-Massnahmenkonzept griff. Die erwarteten reaktiven Gesteinskörnungen im Norden wurden in einem kleineren Ausmass als prognostiziert angetroffen. Die als nicht reaktiv prognostizierten Gesteine des Südens wurden bestätigt. Die betontechnologischen Massnahmen wurden über die Zusammensetzung der eingesetzten Betone überwacht und mit Performance-Prüfungen bestätigt.

In der Zwischenzeit lösten die AAR-Untersuchungen beim GBT eine umfassende Sensibilisierung in der Schweiz aus. Untersuchungen der Hauptvorkommen schweizerischer Gesteinskörnungen zeigten, dass diese mehrheitlich reaktiv sind. Dies bedeutet nicht, dass sie nicht für den Einsatz in Beton geeignet wären, sondern dass objektspezifisch die Gefährdung und Massnahmen bezüglich AAR beurteilt und festgelegt werden müssen. Der SIA publizierte im Oktober 2012 ein Merkblatt für den Umgang mit AAR. Wesentliche Aspekte und Erfahrungen aus dem Massnahmenkonzept vom GBT sind dort eingeflossen.

4 Abdichtung

4.1 Abdichtungs- und Ableitkonzept für den GBT

Aufgrund der hohen Überlagerungen und des dadurch möglichen Wasserdruckes auf dem Niveau des Basistunnels ist die dauerhafte drucklose Ableitung des Bergwassers zwingend notwendig. Das Ableitkonzept des GBT umfasst Massnahmen zur Drainage, Entwässerung und Abdichtung. Ziel ist die Reduktion des Wassereintrags auf 35 g H₂O/kms und der Schutz der Betoninnenschale vor schädlichen Einwirkungen des Wassers (vor allem wenn dieses sehr aggressiv ist).

out concrete technological measures and approaches to clarify unresolved issues (e.g. investigations of existing underground structures).

This resulted in the AAR strategy for the GBT being developed. For reasons designed to safeguard supplies moderately reactive aggregates were approved. The excavated material and the prepared aggregates were monitored to check their reactivity. Concrete technological measures were foreseen for the base concrete and the shotcrete used for supporting. As the GBT was entirely protected by an umbrella seal against underground water, no additional concrete technological measures were foreseen for the other structural parts (inner vault, shoulder concrete).

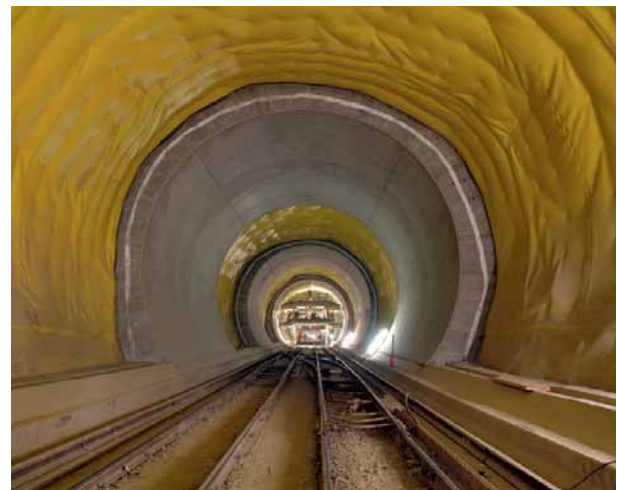
Investigations carried out during execution confirmed that the AAR concept of measures took on. The expected reactive aggregates in the north were encountered to a smaller extent than originally forecast. The prognosis that the rocks in the south were non-reactive was confirmed. The concrete technological measures were monitored via the composition of the applied concrete and confirmed by performance tests.

In the interim the AAR investigations for the GBT have triggered awareness throughout Switzerland. Examinations of the main sources of Swiss aggregates showed that they are largely reactive. This does not mean that they would be unsuitable for application in concrete but that they must be assessed individually and measures determined with regard to AAR. In October 2012 the SIA published an instruction sheet for dealing with AAR. It included substantial aspects and findings from the GBT concept of measures.

4 Waterproofing

4.1 Waterproofing and Drainage Concept for the GBT

Owing to the high overburdens and the resultant possible water pressure at Base Tunnel level it is imperative that underground water is continuously removed pressure-free.



8 Abdichtung im Teilabschnitt Sedrun mit fertigen Gewölbeblöcken
Waterproofing in the Sedrun part-section with prepared vault blocks

4.2 Definition Abdichtungssystem

Am GBT umfasst das Abdichtungssystem folgende Punkte:

1. Einen bezüglich Ebenheit und Rauigkeit definierten Spritzbeton-Untergrund.
2. Eine Drainageschicht, welche in der Fläche das eindringende Bergwasser dauerhaft der Drainageleitung zuführen kann.
3. Eine alterungsbeständige Dichtungsbahn, die den Wassereintrag reduziert und den Schutz der Innenschale sicherstellt.
4. Anforderungen an das Verlegen von Drainageschicht und Dichtungsbahn.

Diese Systemdefinition wurde erstmals 1998 in den Bewerbungsunterlagen der „Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme“ [10] für die AlpTransit-Basistunnel publiziert (Bild 8, 11).

4.3 Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme

Für die Suche nach geeigneten Abdichtungssystemen (ADS) wurde, in Anlehnung an das Prüfungssystem für Betonmischungen, die „Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme“ initiiert. Unter der wissenschaftlichen Leitung der ETH Zürich und unter massgeblicher Mitwirkung der EMPA Dübendorf liessen BLS AT und ATG in den folgenden Jahren insgesamt 67 ADS von 8 verschiedenen Anbietern prüfen.

Ziel der Prüfungen war der Nachweis der geforderten Gebrauchstauglichkeit und Alterungsbeständigkeit der ADS unter den speziellen „AlpTransit-Basistunnel-Bedingungen“, u.a. mit 100 Jahre Einsatzdauer bei Temperaturen bis 45° C bei Kontakt mit unterschiedlich mineralisierten Bergwässern. Entsprechend dieser Zielvorgaben wurden Materialtests an den Komponenten und Systemprüfungen sowie Verlege- bzw. Baustellenversuche durchgeführt.

4.3.1 Material und Systemprüfungen

Die Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) und das Drainagematerial (DrM) wurden einzeln umfassenden Materialprüfungen unterzogen. Zum Nachweis der Beständigkeit wurden Proben vor und nach Lagerungsversuchen bis zu 24 Monaten Dauer in verschiedenen wässrigen Milieus bei Temperaturen bis 70° C geprüft. Ausserdem wurde zusätzlich mit „Autoklaventests“ die Alterung der Materialien in sauerstoffreichem Wasser bei erhöhter Temperatur untersucht (Bild 9).

In den ebenfalls bei der EMPA in Dübendorf durchgeführten Systemprüfungen wurde das Zusammenwirken von DrM und KDB mittels Dauerdruck- und Druck-Schub-Versuchen getestet. Dies erfolgte mit diversen „abstrahierten“ Systemuntergründen. Dabei war die Dichtigkeit u.a. bei erhöhten Temperaturen und Drücken ein zentrales Beurteilungskriterium. Diese Prüfungen lieferten zudem Informationen zur Drainagewirkung und zum Verformungsverhalten. Letztere Resultate erlaubten Rückschlüsse zur Bettung der Innenschale des Tunnels als Grundlage für notwendige statische Nachweise [11].

The GBT drainage concept embraces measures for drainage, dewatering and waterproofing. The aim is to reduce the incidence of water to 35 g H₂O/kms and protect the inner shell against harmful effects caused by water (primarily when it is extremely aggressive).

4.2 Defining the Waterproofing System

The waterproofing system at the GBT includes the following aspects:

1. A shotcrete subsurface defined according to evenness and roughness.
2. A drainage layer, which can continuously conduct ingressing underground water to the drainage line.
3. An age-resistant waterproofing membrane, which reduces access of water and secures the inner shell.
4. Requirements on laying the drainage layer and waterproofing membrane.

This system definition was first published in 1998 in the submission documents for the “Approval Test for Waterproofing Systems” [10] for the AlpTransit Base Tunnel (Figs. 8, 11).

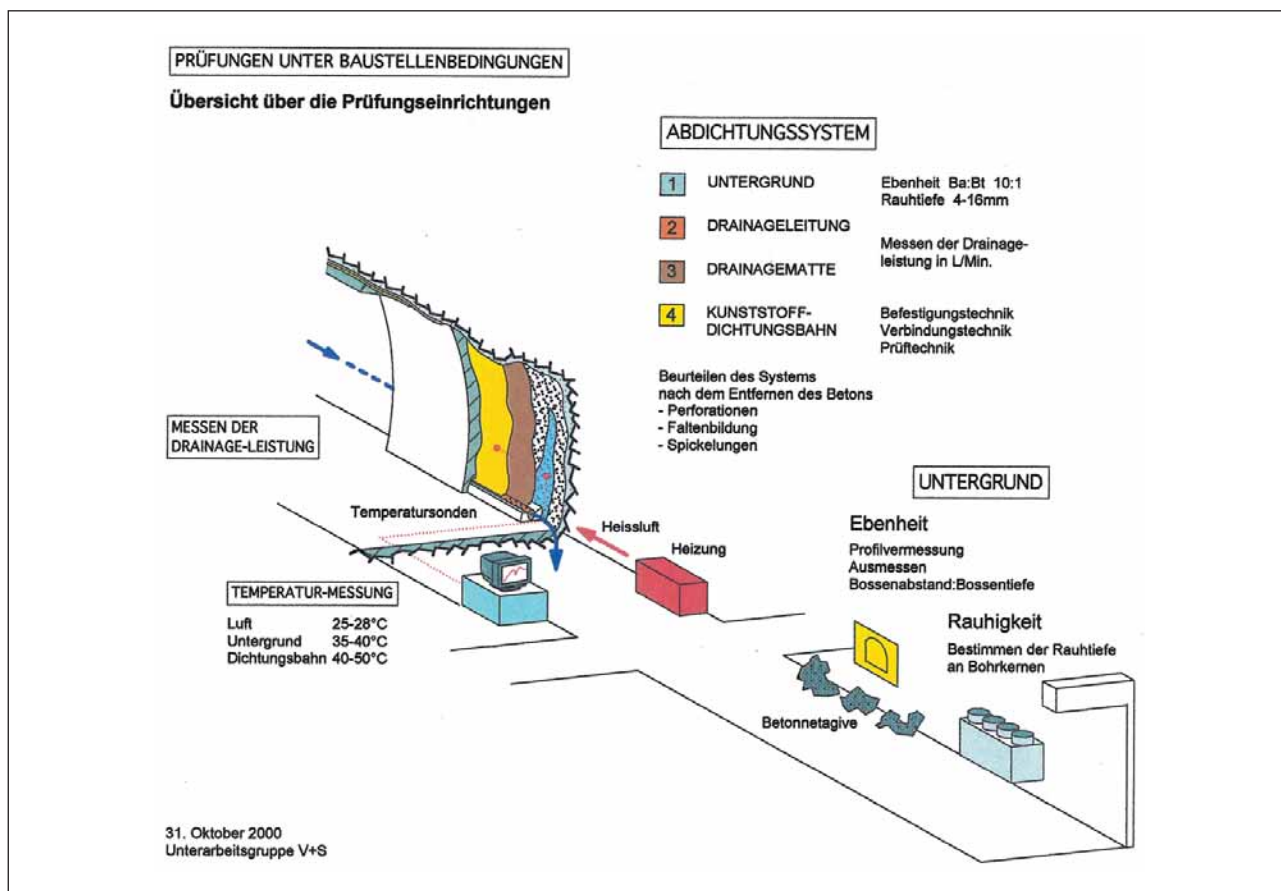
4.3 Approval Test for Waterproofing Systems

The “Approval Test for Waterproofing Systems” was created along the lines of the test system for concrete mixes to find suitable sealing systems (ADS). Under the scientific guidance of the ETH Zurich and invaluable collaboration provided by the EMPA Dübendorf, in the years that followed the BLS AT and ATG had a total of 67 waterproofing systems from 8 different candidates examined.

The aim of the tests was to obtain proof of the required usability and aging resistance of the waterproofing systems under “special AlpTransit Base Tunnel conditions”, including 100 years of service life given temperatures of up to 45° C involving contact with various types of mineralised underground water. Material tests on the components and system tests as well as laying/site tests were carried out in accordance with these objectives.



9 Prüfung der Materialbeständigkeit an der EMPA
Testing material resistance at the EMPA



10 Schema der Prüfungseinrichtungen für Baustellen- bzw. Verlegeversuche
 Diagram of the test facilities for site and laying tests

4.3.2 Baustellen- bzw. Verlegeversuche

Die Prüfung der systemspezifischen Verlegung bzw. Befestigung erfolgte in einem Versuchsstollen unter Baustellenbedingungen. Die ADS und die Innenschale wurden in grossem Massstab eingebaut und die betonierte Innenschale anschliessend wieder abgebrochen, um den Zustand der verlegten Systeme beurteilen zu können. Diese Versuche lieferten wichtige Informationen zur Drainagekapazität sowie zur optimierten Befestigung, um die unerwünschte Faltenbildung der KDB zu vermeiden. Auch die Schweissbarkeit der KDB wurde überprüft (Bild 10).

4.3.3 Resultate und Erkenntnisse aus den Zulassungsprüfungen

Keines der 1998 eingereichten und geprüften ADS konnte alle Anforderungen erfüllen. Es waren mehrere Nachbesserungsrunden nötig, u.a. bei der Stabilisierung bezüglich Dauerhaftigkeit, Drainagefähigkeit unter Druck sowie Verlegung und Schweissbarkeit. Im Sommer 2001 erhielten die ersten ADS die Zulassung [12]. Insgesamt wurden 16 ADS zugelassen, 7 davon wurden im Lötschberg- und im Gotthard-Basistunnel eingesetzt.

Neben materialtechnologischen Verbesserungen hat die Zulassungsprüfung zu weiteren neuen Entwicklungen geführt, wie zum Beispiel den „Klettsystemen“ zur optimierten Befestigung.

4.3.1 Material and System Tests

The plastic waterproofing membranes (KDB) and the drainage material (DrM) were individually put through extensive material tests. Samples were examined in various watery solutions at temperatures of up to 70° C to prove their resistance prior to and after storage tests lasting up to 24 months. In addition aging of the material in oxygen-rich water at increased temperature was investigated by means of “autoclave tests” (Fig. 9).

The interaction of DrM and KDB was tested using constant pressure and pressure-shear tests. This took place with various “abstracted” system subsurfaces. In this connection the tightness was a central assessment criterion at e.g. increased temperatures and pressures. Furthermore these tests provided information on the drainage effect and deformation behaviour. The latter results allowed conclusions to be drawn on bedding the tunnel inner shell as a basis for necessary structural proofs [11].

4.3.2 Construction Site/Laying Tests

Testing of system-specific laying and attaching was undertaken in a test tunnel under on-site conditions. The waterproofing systems and the inner shell were installed on a large scale and the concreted inner shell subsequently demolished in order to assess the state of the laid systems.

tigung der KDB oder den kieshinterfüllten Systemen zur Optimierung des Drainagehohlraums [13].

4.3.4 Kontrollprüfungen beim Einsatz zugelassener Abdichtungssysteme

Um sicher zu stellen, dass die auf die Baustellen gelieferten Materialien mit der Zulassung konform waren und auch der Einbau korrekt erfolgte, wurden regelmässig Kontrollprüfungen durchgeführt. Der Kontrollplan – als Bestandteil des Werkvertrages – bestimmte, wer die Prüfungen durchzuführen hat. Dies erfolgte entweder als Eigenkontrolle des Unternehmers, als Kontrollprüfungen der örtlichen Bauleitung oder als Fremdkontrolle durch ein Prüfinstitut, teils auf der Baustelle und teils im Labor. Es hat sich bewährt, dass die ATG für den ganzen GBT die Fremdkontrolle durch ein akkreditiertes Labor in Auftrag gegeben hat.

4.3.5 Konsequenzen für zukünftige Projekte

Das beim GBT gewählte Vorgehen, u.a. mit dem Festhalten der Anforderung an die Dichtigkeit in der Nutzungsvereinbarung sowie der Festlegung und der konsequenten Umsetzung des Abdichtungskonzepts mit einem geeigneten Abdichtungssystem, ist in folgende Schweizer Normen eingeflossen:

- die Tunnelbaunormen SIA 197:2004 und SIA 198:2004
- die Abdichtungsnormen SIA 270ff, insbesondere SIA 272:2009 „Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagebau“

Es zeigt sich heute, dass die Erkenntnisse der AlpTransit-Projekte sogar über die Landesgrenzen hinaus einen Einfluss auf die Normierung von Tunnelabdichtungen haben.

5 Fazit

Aus den Erfahrungen am GBT können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Bei der Dimensionierung der Materialbewirtschaftungsanlagen müssen grosszügige Bandbreiten und Szenarien berücksichtigt werden. Die Anlagen müssen auf diese Szenarien ausgelegt werden. Damit wird sichergestellt, dass die Materialbewirtschaftung nicht leistungsbestimmend wird.
- Die Grenzen für die Verwertbarkeit von Ausbruchmaterial für die Aufbereitung zu Gesteinskörnungen für Beton wurden deutlich erweitert. Es wäre prüfenswert, dies auch in der Normung zu berücksichtigen.
- Die Systembetrachtung von Zement, Zuschlagstoffen und Zusatzmitteln zur Herstellung von hochwertigem Beton bewährte sich. Ab Beginn der Arbeiten wurden die Qualitätsanforderungen zuverlässig erfüllt.
- Der Bau der NEAT löste einen Innovationsschub aus, der zu einer Welle von betontechnologischen Entwicklungen führte.
- Für die während der Ausführung nicht vermeidbaren Anpassungen der Betonsysteme müssen einfache Regeln in den Vertragsbestimmungen festgelegt sein.
- Die Systembetrachtung für den Abdichtungsuntergrund,

These tests supplied important information on drainage capacity as well as optimised attachment in order to avoid the KDB creating any undesired folds. The weldability of the KDB was also tested (Fig. 10).

4.3.3 Results and Recognitions from the Approval Tests

None of the waterproofing systems that were made available and tested in 1998 could fulfil all the demands. Several series of improvements were necessary including stabilising with respect to durability, drainage capability under pressure as well as laying and weldability. In summer 2001 the first ADS were approved [12]. All together 16 ADS were approved; 7 of them were applied in the Lötschberg and Gotthard Base Tunnels.

Apart from material technological advancements the approval test led to further new developments such as for instance “attachment systems” for optimally fixing KDB or the systems backfilled with gravel to optimise the drainage cavity [13].

4.3.4 Control Tests for Applying approved Waterproofing Systems

In order to ensure that the materials supplied to the site conformed were approved and that installation was also carried out correctly, control tests were executed on a regular basis. The control plan – as an element of the contracts – governed just who was to execute the tests. These were carried out either by the contractor, as control tests by the local site management or by a third party such as a test institute, partly on site and partly in the lab. The practice whereby the ATG commissioned a third party an accredited laboratory to test the entire GBT proved itself.

4.3.5 Consequences for future Projects

The procedure selected for the GBT including complying with the demand for tightness laid down in the user agreement as well as determining and consistently applying the waterproofing concept with a suitable sealing system, has been incorporated in the following Swiss norms:

- Tunnelling norms SIA 197:2004 and SIA 198: 2004
- The waterproofing norms SIA 270 ff, particularly 272:2009 “Waterproofing and Drainage for Structures under the Surface and in Underground Mining”.

It is evident today that the recognitions from the AlpTransit project have exerted an influence on tunnel waterproofing standards far beyond national boundaries.

5 Conclusion

The following conclusions can be drawn from the findings obtained from the GBT:

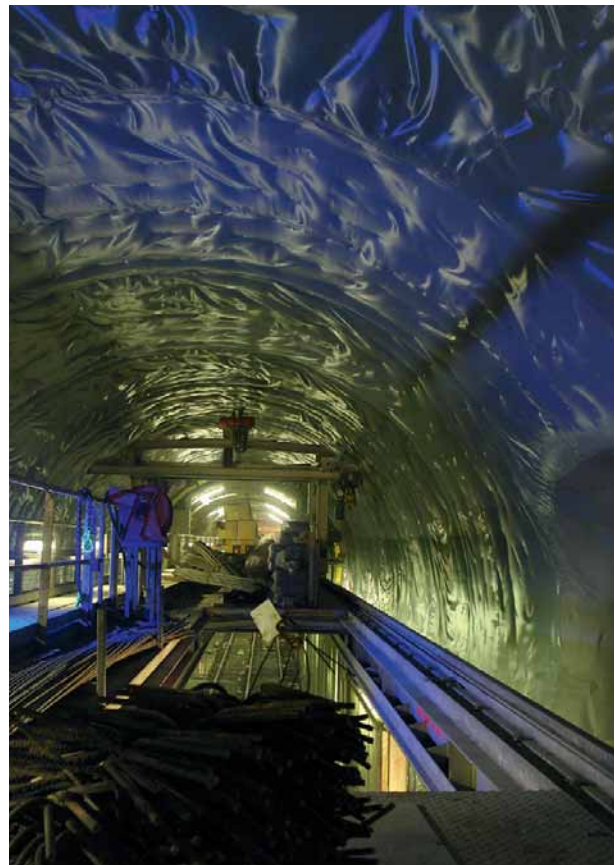
- Generous scales and scenarios must be taken into account for dimensioning the material management facilities. The facilities must be geared to these scenarios. In this way it is ensured that material management does not govern performance.

die Drainageschicht und die Abdichtungsfolie hat sich bewährt. Durch die Abstimmung der spezifischen Eigenschaften wurde ein wesentlicher Beitrag zum Erreichen der geforderten Gebrauchstauglichkeit geleistet.

- Die Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme führte zu Innovationen und zur Entwicklung von verbesserten Materialien und Systemen.
- Wo keine Standardprodukte eingesetzt werden, sind vom Bauherrn beauftragte externe Kontrollprüfungen wichtig für die Qualitätssicherung.
- Wesentliche Erkenntnisse sind in diverse Normen eingeflossen.

Literatur/References

- [1] Gesteinskörnungen: Bezeichnung nach Norm EN 12620:2002+A1; früher „Zuschlagstoffe“
- [2] ETH Zürich: „AlpTransit-Seminar – Aspekte der Dauerhaftigkeit von Tunnelbauten“, Dokumentation zur Tagung vom 30. März 1995 an der ETH Zürich
- [3] C. Thalmann: „Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwendung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen“; ETH Diss. Nr. 11721, 1996
- [4] SBB AlpTransit Gotthard: „Prüfungssystem für Betonmischungen – Bewerbungsunterlagen für die Stufe 1“; Bericht 96096.26-03, 11. März 1996
- [5] H.C. Schmid, P. Zbinden: „Präqualifikation von Beton für den Gotthard-Basistunnel“; Schweizer Baublatt Nr. 17, Februar 2000
- [6] R. Weiss: „Concrete and Shotcrete prequalification for Gotthard Basetunnel“; International Conference on Concrete under Severe Conditions, Vancouver 2001
- [7] Ch. Paglia, W. Studer: „Reaktionsmechanismen und Beständigkeitsvorhersage bei Sulfatangriff auf Beton“; AGMT-Bericht Nr. 96110-16, 7. Juni 2000
- [8] W. Studer: „Sulfat-Kurzprüfung, erste Ergebnisse und Bewertung des Verfahrens Vergleich mit der ATG-Prüfung“; Bericht Nr. 02/043-1, 12. Juli 2001
- [9] FGU 2007/002: „Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis“, August 2011
- [10] BLS AlpTransit Lötschberg und SBB AlpTransit Gotthard: „Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme – Bewerberunterlagen, Informationen und Grundlagen zum Prüfungssystem“; Bericht 97132-01, 11. Januar 1998
- [11] St. Matsch, P. Zwicky, P. Flüeler, W. Schneebeili; „Entwicklung von Abdichtungssystemen für die AlpTransit-Tunnel in der Schweiz“; Felsbau/Rock and Soil Engineering 23 (2005) Nr. 3
- [12] AlpTransit Gotthard AG und BLS AlpTransit AG: „Zulassungsprüfung für Abdichtungssysteme – Schlussbericht“; Bericht Nr. 97132-10A, 21. Juni 2002
- [13] P. Zwicky, U. Blatter, St. Matsch: „Neue Erkenntnisse bei der Anwendung von Abdichtungssystemen für die AlpTransit-Tunnel“; Felsbau/Rock and Soil Engineering 23 (2005) Nr. 3



11 Abdichtung Einspurtunnel und Querschlagenmündung im Teilabschnitt Bodio
Single-track and cross-passage junction waterproofing in the Bodio part-section

- The limits for the recycling of excavated material for preparing concrete aggregates were substantially expanded. It would be worth considering including this in standardisation as well.
- Appraisal of the system of cement, aggregates and additives to produce high-quality cement proved itself. From the very outset the quality demands were reliably fulfilled.
- Construction of the NEAT triggered a boost in innovations, which led to a series of concrete technological developments.
- Simple rules must be laid down in the contractual regulations for the adjustments to the concrete systems that are inevitable during execution.
- The system analysis of the waterproofing subsurface, the drainage layer and the waterproofing membrane proved itself. A substantial contribution towards attaining the required useability was arrived at through harmonising the specific characteristics.
- The approval system for waterproofing systems initiated innovations and the development of improved materials and systems.
- External control tests commissioned by the client are essential for quality assurance where no standard products are utilised.
- Important findings were included in various standards.

Alex Sala, Dipl. Ing. FH, Leiter Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Süd, Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH

Raphael Wick, Dipl. Ing. ETH, Leiter Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Nord, Gähler und Partner AG, Ennetbaden/CH

Gotthard-Basistunnel

Projektierung in bisher unbekannt Dimensionen

Die Bauarbeiten im Gotthard-Basistunnel nähern sich dem Ende. Im Voraus erkannte geologische Probleme wurden ohne grosse Schwierigkeiten beherrscht. Dank guter Vorbereitung konnten aber auch die grossen, unerwarteten bautechnischen Schwierigkeiten erfolgreich gemeistert werden. Die Bewahrung des projektspezifischen Wissens über die lange Planungs- und Bauzeit sowie die vielen Projektänderungen stellten die Projekt Ingenieure aber vor mannigfaltige Herausforderungen.

Gotthard Base Tunnel

Planning in hitherto unknown Dimensions

Construction work in the Gotthard Base Tunnel is nearing its end. Geological problems recognised in advance have been mastered without major difficulties. Thanks to good preparation, major unexpected construction technical difficulties were successfully tackled. The preservation of the project-specific knowledge throughout the protracted planning and execution phases as well as the manifold alterations to the project saw the project engineers faced with all kinds of challenges.

1 Einleitung

Die Rohbauarbeiten am längsten Tunnel der Welt sind praktisch abgeschlossen: Zeit also, Rückschau zu halten auf 25 Jahre anspruchsvoller Planungstätigkeit.

Den Projekt Ingenieuren stellten sich vielfältige Aufgaben. Nebst den bautechnischen Herausforderungen haben die lange Planungs- und Bauzeit, Hunderte von Projektänderungen, die werkvertragliche Diskussionen mit den Bauunter-



1 Grössere Deformationen im Nachläuferbereich des Teilschnitts Faido
Major deformations in the back-up area in the Faido section

1 Introduction

The structural works for the world's longest tunnel are almost finished. Time therefore to cast our minds back on 25 years of sophisticated planning activities.

The project engineers were faced with a variety of tasks. Alongside technical construction challenges, lengthy planning and construction periods, hundreds of alterations to the project, discussions with the contractors regarding contract matters as well as coordination with the companies responsible for the structural works and the installation of the rail technology saw the planners having to surmount immense problems. Then there were the high expectations of the client and, last but not least, the more strictly enforced scheduling requirements as the tunnel had to be operational a year earlier. Today it can be determined that all the challenges were resolved in a constructive manner together with the client, the AlpTransit Gotthard AG, and the contractors.

The geology did not always conform to the prognoses, or the rock's construction technical behaviour differed from what was imagined. Micro-seismic activity in the Faido Multifunction Station (MFS) represents a new phenomenon appearing for the first time to this extent in tunnelling. The Faido MFS had to be completely replanned during the ongoing construction

Le tunnel de base du Saint-Gothard

Une réalisation de projet aux dimensions jusqu'ici inconnues

Les travaux de construction du tunnel de base du Saint-Gothard touchent à leur fin. Les problèmes géologiques identifiés à l'avance ont été maîtrisés sans grandes difficultés. La bonne préparation a également permis de surmonter avec succès les grosses difficultés de construction imprévues. Pourtant, pour préserver le savoir spécifique lié au projet tout au long de la période de planification et du chantier, et pour faire face aux nombreuses modifications du projet, les ingénieurs ont dû relever de multiples défis.

Galleria di base del San Gottardo

Progettazione in dimensioni finora sconosciute

I lavori nella galleria di base del San Gottardo stanno per essere ultimati. I problemi geologici rilevati in anticipo sono stati risolti senza grandi difficoltà. E grazie all'ottima preparazione sono stati superati con successo anche le grandi difficoltà impreviste di carattere tecnico-costruttivo. La conservazione delle conoscenze specifiche del progetto per il lungo periodo di progettazione e costruzione, come anche le numerose modifiche apportate al progetto hanno comunque generato le più svariate sfide per gli ingegneri progettisti.

nehmern sowie die Koordination mit den Firmen für die Rohbauausrüstung und die Bahntechnikinstallation die Planer vor immense Probleme gestellt, ebenso wie die hohen Erwartungen der Bauherrin und nicht zuletzt die nochmals verschärften terminlichen Anforderungen im Zusammenhang mit der um ein Jahr vorverlegten Inbetriebnahme des Tunnels. Heute darf festgestellt werden, dass alle Herausforderungen gemeinsam mit der Bauherrin, der AlpTransit Gotthard AG, und den Unternehmern im konstruktiven Sinne gelöst wurden.

operations. Sustained deformations (Fig. 1) led to reworking the profile in the Faido and Bodio sections [3].

Hydrothermally decomposed rock in the Amsteg section blocked one of the two TBMs and led to an interruption lasting several months. Unexpectedly high water ingresses in the Erstfeld section forced various additions to the project: for instance the support concept for the branch-off construction had to be changed to a double-shell with umbrella seal (Fig. 2).



2 Verzweigungsbauwerk Erstfeld
Erstfeld branch-off construction

Die Geologie hat nicht immer den Prognosen entsprochen bzw. das bautechnische Verhalten des Gebirges war anders, als vorausgesehen worden war. Mikrobeben in der Multifunktionsstelle (MFS) Faido sind als neues Phänomen erstmals im Tunnelbau in dieser Ausprägung aufgetreten. Die MFS Faido musste im laufenden Baubetrieb komplett umprojektiert werden. Lang andauernde Deformationen (Bild 1) haben zu Nachprofilierungsarbeiten in den Teilabschnitten (TA) Faido und Bodio geführt [3].

Im TA Amsteg blockierte hydrothermal zersetztes Gebirge eine der beiden TBM und führte zu einem mehrmonatigen Unterbruch. Unerwartet hohe Wasserzutritte im TA Erstfeld erforderten diverse Projektergänzungen: so musste beispielsweise das Ausbaukonzept des Verzweigungsbauwerks geändert werden (neu zweischalig mit Regenschirmabdichtung) (Bild 2).

Erfreulicherweise trat die grosse Mehrheit der prognostizierten Problemstellen entweder nicht im erwarteten Ausmass auf oder konnte dank der in der Planungsphase durchgeführten sorgfältigen Risikoanalysen mit der Erarbeitung zahlreicher Szenarien ohne grosse Schwierigkeiten beherrscht werden. Die mannigfaltigen, unerwarteten bautechnischen Schwierigkeiten liessen sich dank der im Vorfeld durchgeführten Risikoanalyse meistern, weil eine Reihe von Massnahmen und Lösungsansätzen zur Verfügung stand, welche kurzfristig abrufbar waren und an die neuen Aufgabenstellungen adaptiert werden konnten.

2 Planerische Herausforderungen

Im Gotthard-Basistunnel (GBT) waren nebst den allgemeinen Projektanforderungen Qualität, Termine und Kosten u.a. die folgenden Fakten massgeblich projektbestimmend:

- Die enorme Länge des Tunnels, d.h. der Multiplikationsfaktor von 2 x 57 km Tunnellänge. Jeder Franken, der pro Meter eingespart werden konnte, ergab am Schluss eine Kostenersparnis von 114 000 CHF.
- Die Überlagerung von bis zu 2300 m und der hohe erwartete Gebirgswasserdruck bei gleichzeitig beträchtlicher Bergwassermenge.
- Insgesamt 48 prognostizierte, bautechnisch relevante Störzonen.
- Die hohen Anforderungen an die Dichtigkeit: Zur Erreichung des geforderten Tunnelklimas durfte der maximale Wassereintrag nicht mehr als 35 g/km/s betragen.
- Die Anforderungen an die aerodynamisch freie Querschnittsfläche F_{Air}

Im Folgenden wird erläutert, wie diese Anforderungen im Projekt berücksichtigt wurden.

2.1 Multiplikationsfaktor

In der Vor- und Bauprojektphase wurde der Tunnelquerschnitt optimiert. Es wurden über 100 verschiedene Normalprofile entworfen, bis das optimale Profil gefunden wurde,

Luckily the great majority of the forecasted problems didn't occur to the anticipated degree or could be mastered without major difficulty thanks to the careful risk analyses involving working out numerous scenarios during the planning phase. The manifold of unexpected technical construction difficulties were mastered thanks to the risk analysis which was undertaken in advance. Therefore a number of measures and possible solutions were available, which were at the ready and could be adapted to the new tasks that were being faced.

2 Planning Challenges

In the Gotthard Base Tunnel (GBT) apart from the general project requirements quality, deadlines and costs, the following factors significantly governed the project:

- The enormous length of the tunnel, i.e. the multiplication factor of 2 x 57 km of tunnel length. Every Swiss franc that could be saved per metre resulted in ultimate cost savings of 114,000 CHF.
- The overburden of up to 2,300 m and the expected high formation water pressure combined with a considerable amount of underground water at the same time.
- A total of 48 predicted fault zones technically relevant for construction.
- The high demands placed on tightness. The maximum inflow of water was not permitted to exceed 35 g/km/s to attain the required tunnel climate.
- The demands on the aerodynamic free cross-sectional area F_{Air}

Just how these requirements were dealt with in the project is explained in the following.

2.1 Multiplication Factor

During the preliminary and construction project phases the tunnel cross-section was optimised. More than 100 normal profiles were devised until the optimal one was revealed which fulfilled the demands on minimal costs. However during execution it became evident that the optimisation process had been pursued with such vigour that no profile reserves were left available given the accumulation of variances.

Costs can also be reduced through radially adjustable formworks for the inner vault. It is obvious that the boring diameter can only be varied minimally for a TBM drive. As a result, it must be designed for the case in which the greatest deformations occur in conjunction with the strongest excavation support taking construction tolerances into account. Wherever this combination does not apply the excavated area is too large. So far in such cases the inner concrete thickness was increased, i.e. the excess that had been cut had to be filled with concrete because the formwork possesses fixed geometry.

The planners foresaw adjustable formwork units for the GBT, which meant on the one hand that costs were saved and on



3 Betonetappe im Teilabschnitt Amsteg
Concreting stage in the Amsteg section

das die Anforderungen zu geringstmöglichen Kosten erfüllte. Es hat sich allerdings bei der Ausführung gezeigt, dass die Optimierung des Profils so weit getrieben worden war, dass bei der Kumulation von Abweichungen keine Profilreserven mehr blieben.

Kosten lassen sich auch mit radial verstellbaren Schalungen für das Innengewölbe einsparen. Beim TBM-Vortrieb kann der Bohrdurchmesser bekanntlich nur wenig variiert werden. Dieser ist deshalb – ausgehend von der stärksten Verkleidung – auf den Fall auszulegen, bei dem unter Berücksichtigung der Bautoleranzen die grössten Deformationen in Kombination mit der stärksten Ausbruchsicherung auftreten. Überall dort, wo diese Auslegung nicht zutrifft, ist die Ausbruchfläche zu gross. Bisher wurde in solchen Fällen die Innenbetondicke vergrössert, d.h. das zu viel Ausgebrochene musste mit Beton verfüllt werden, weil die Schalung eine fixe Geometrie aufweist.

Im GBT waren von den Planern grössenverstellbare Schalungen vorgeschrieben, wodurch einerseits Kosten eingespart und andererseits die freie Querschnittsfläche F_{Air} vergrössert werden konnte. Bei der in den TA Erstfeld und Amsteg verwendeten Schalung konnte der Radius in 5 Schritten von 4,06 bis 4,32 m variiert werden. Diese Grundtypen konnten zusätzlich noch in der Höhe (max. +/- 4 cm) und seitlich (max. +/- 10 cm) verschoben werden, so dass sich total 13 mög-

the other that the free cross-sectional area F_{Air} could be enlarged. In the case of the formwork used in the Erstfeld and Amsteg sections the radius could be varied in five steps from 4.06 to 4.32 m. These basic units could also be adjusted in height (max. +/- 4 cm) and sideways (max. +/- 10 cm) so that in total a variety of 13 different formwork configurations was possible. In the Faido section the formwork had seven basic configurations so that the roof height varied between 6.55 and 6.85 m above rail level, whereas the clear width could be selected between 7.72 and 8.32 m. A total of twelve different configurations were ultimately available thanks to intermediate steps of 5 cm each.

On-site, the optimisation was carried out in two steps: first profiles were generated in metre sections on the basis of a surface scanning executed to prove the quality of evenness of the shotcrete shell. Subsequently the site management identified the largest possible formwork configuration per 12 m concrete block, which assured the minimal vault thickness required in this block. Then, considering the neighbouring blocks, the formwork configurations between two cross-passages were then determined on a so-called synopsis plan. In this way some 172,000 m³ of concrete was saved, worth roughly 36 million CHF, e.g. in the single-track bores for the Erstfeld, Amsteg and Faido sections. At the same time the F_{Air} in the Amsteg/Erstfeld section was increased by some 2.41 m² and by 3.25 m² in Faido (Fig. 3).

liche, unterschiedliche Schalungskonfigurationen ergaben. Im TA Faido konnte die Schalung in 7 Grundkonfigurationen gestellt werden, so dass die Firstkote zwischen 6,55 m und 6,85 m über SOK variiert werden konnte, während die lichte Weite zwischen 7,72 m und 8,32 m wählbar war. Mit den Zwischenschritten von jeweils 5 cm ergaben sich schlussendlich 12 verschiedene Konfigurationen.

Auf der Baustelle ging man in 2 Schritten wie folgt vor: Zuerst wurden aus den Flächenscans zum Qualitätsnachweis der Ebenheit der Spritzbetonoberfläche Profile im Meterraster generiert. Anschliessend wurde von der Bauleitung pro 12-m-Betonblock die grösstmögliche Schalungskonfiguration ermittelt, welche die in diesem Block notwendige minimale Gewölbepicke gewährleistet. Zusammen mit den benachbarten Blöcken wurden dann auf einem sogenannten Synopsisplan die Schalungskonfigurationen zwischen 2 Querschlägen festgelegt. Damit konnten z.B. in den Einspurtunnelröhren der TA Erstfeld, Amsteg und Faido rund 172.000 m³ Beton eingespart werden, was einem Wert von rund 36 Mio. CHF entspricht. Zugleich hat sich durch dieses Ausstellen der Schalung das F_{Air} in Amsteg/Erstfeld um durchschnittlich 2,41 m², im TA Faido um 3,25 m² vergrössert (Bild 3).

2.2 Unbewehrte Innenschale

In der Schweiz werden die vorwiegend auf Druck beanspruchten Innenschalen üblicherweise ohne Bewehrung bemessen und ausgeführt. Lediglich in „gestörten“ oder unregelmässigen Querschnitten wie z.B. bei Nischen, Querschlaganschlüssen und Aufweitungen oder bei druckhaftem Gebirge sind Bewehrungen zur Beherrschung von Zugspannungen und zur Rissesicherung vorgesehen.

Im GBT wurden neben den Blöcken mit Querschlaganschlüssen und den Bereichen in den MFS lediglich einzelne Blöcke in Störzonen im TA Amsteg sowie gewisse Strecken in den TA Sedrun (56 Tm), Faido (265 Tm) und Bodio (1360 Tm) bewehrt ausgeführt. Dadurch verringerte sich im GBT der Anteil bewehrter Strecken auf unter 10 %, was zu wesentlichen Kosteneinsparungen führte (Bild 4).

2.3 Wassereintrag bei hoher Wassermenge und grossem Wasserdruck

Aufgrund der hydrogeologischen Prognosen wurden in den TA Amsteg und Sedrun Wasserzuflüsse von mehreren 100 l/s erwartet [10]. In Kombination mit den teilweise sehr hohen Wasserdrücken kam im GBT deshalb nur eine drucklose Ableitung des Bergwassers in Frage (Ableitkonzept). Mit einer sogenannten Regenschirmabdichtung mit aussenliegender Drainageschicht wird zuseckerndes Bergwasser gefasst und zu beidseitigen Gewölbdrainageleitungen geführt. Diese werden je nach Wasseranfall und Wasserchemismus über eine der alle 100 m eingebauten Querableitungen in die Hauptdrainage geleitet.

In der Sohle übernimmt der Sohlbeton die primäre Abdichtungsfunktion. Aussenliegende Fugenbänder in den Querfu-

2.2 Unreinforced Inner Shell

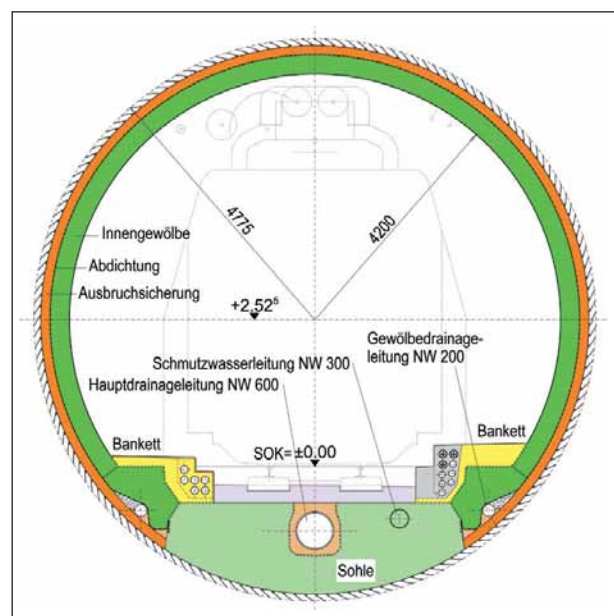
In Switzerland inner shells largely subject to pressure are normally dimensioned and executed without reinforcement. Reinforcements are foreseen merely in “faulty” or irregular cross-sections as e.g. for niches, cross-passage junctions and enlargements or given squeezing rock to master tensile stresses and to secure cracks.

In the GBT apart from the blocks with cross-passage junctions and the areas in the MFS only individual blocks in the Amsteg section, as well as some sectors in the Sedrun (56 Tm), Faido (265 Tm) and Bodio (1,360 Tm) sections were reinforced. As a result the proportion of reinforced drives in the GBT dropped to below 10 %, which led to substantial cost savings (Fig. 4).

2.3 Ingressing Water given High Water Incidence and High Water Pressure

On account of the hydrogeological prognoses water ingresses of several 100 l/s were expected in the Amsteg and Sedrun part-sections [10]. Consequently combined with the in part extremely high water pressures only pressureless drainage of the underground water could be considered for the GBT (drainage concept). Seeping underground water is collected with a so-called umbrella seal with external drainage layer and transferred to vault drainage lines at both sides. These are discharged into the main drainage system via transverse drains installed at 100 m intervals.

In the floor the invert concrete takes over the primary waterproofing function. External joint strips in the lateral joints of the invert concrete prevent water from entering the tunnel cavity through the joints. The water accumulating in the floor area is collected by means of longitudinally running dimpled membranes and conducted to the vault drainage lines located at higher level via dimpled membranes running



4 Normalprofil TBM-Vortrieb im Teilabschnitt Amsteg
Standard cross-section: TBM drive in the Amsteg section

gen des Sohlbetons verhindern, dass Wasser durch die Fugen in den Tunnelhohlraum eintritt. Das im Sohlbereich aufstossende Wasser wird mit längs laufenden Noppenbahnen gefasst und über quer laufende Noppenbahnen zu den höher liegenden Gewölbedrainageleitungen geführt. Dieses Konzept bringt es mit sich, dass die Sohle in Teilbereichen eingestaut ist. Weil die Gewölbedrainageleitungen aber unterhalb der Fahrbahnoberfläche liegen, kann ein Aufstossen des Wassers in den Fahrtraumbereich verhindert werden (Bild 5).

Dieses Abdichtungs- und Entwässerungskonzept wurde als Kompromisslösung nach einem langwierigen Evaluationsprozess unter Beizug von Experten gewählt. Es ist platzsparend, unterhaltsfreundlich und erfordert in der Sohle der TBM-Abschnitte keinen kostspieligen Zusatzausbruch für eine Drainageleitung mit all den negativen Folgen auf die Hohlraumstabilität infolge der Kerbwirkung.

Mit dem Konzept konnten die Anforderungen an den maximalen Wassereintrag von 35 g/km/s eingehalten werden. In Teststrecken im TA Amsteg/Sedrun wurden Werte von ca. 13 g/km/s, im TA Faido/Bodio von ca. 24 g/km/s gemessen.

3 Erwartete geologische Problemzonen

Als grösste Risiken wurden im Vorprojekt die Durchörterung der Intschi-Zone und die Störzonen am Südrand des Aarmassivs im TA Amsteg, des Tavetscher Zwischenmassivs (TZM) Nord und der Clavanievzone im TA Sedrun und der Pioramulde im TA Faido eingeschätzt [4].

Diese Risiken konnten beim Vortrieb relativ problemlos beherrscht werden, da man sie im Vorfeld erkannt, systematisch erforscht und rechtzeitig Lösungen für Ausbruch und Sicherung erarbeitet hatte. In den erkannten Risikoberei-

crosswise. This concept causes the floor being dammed up in some tunnel sections. However as the vault drainage lines are located beneath the track surface the water can be prevented from affecting the track area (Fig. 5).

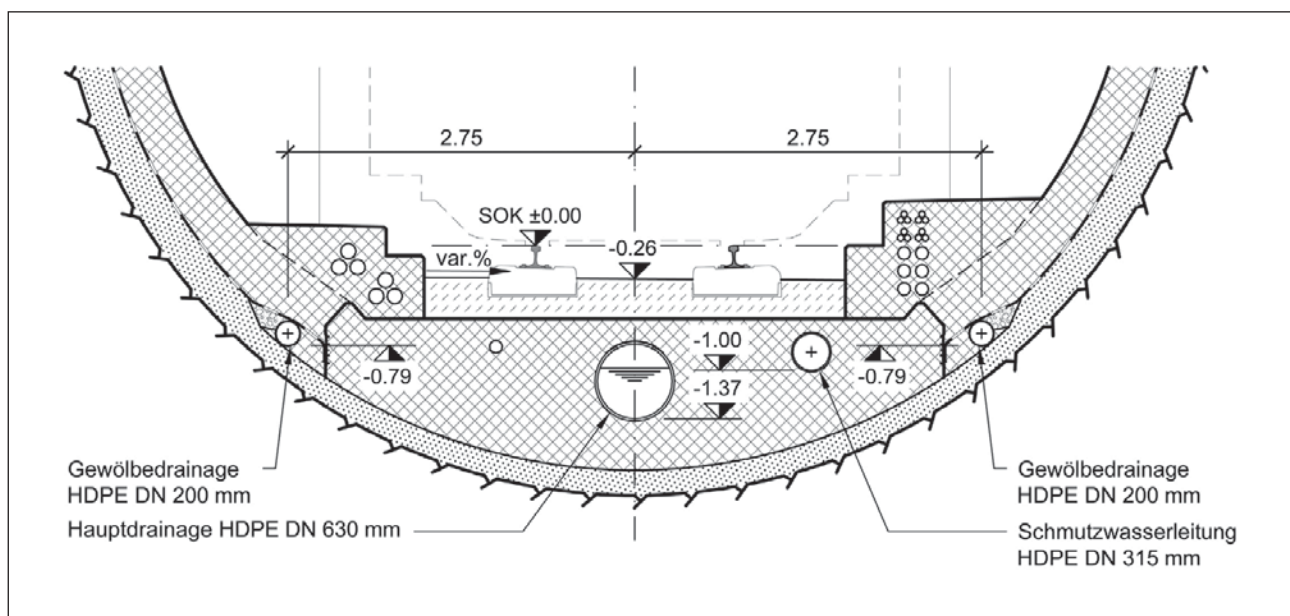
This waterproofing and drainage concept was decided on as a compromise solution following a protracted evaluation process involving experts. It is space-saving, maintenance-friendly and requires no expensive additional excavation for a drainage line in the floor of the TBM sections with all the negative consequences on the stability of the cavern resulting from the notch effect.

Thanks to this concept the requirements on the maximum water inflow of 35 g/km/s could be adhered to. In test sections in the Sedrun/Amsteg sections values of approx. 13 g/km/s and around 24 g/km/s in Faido/Bodio were measured.

3 Expected Geological Problem Zones

Running up to the project, the biggest risks were estimated to be penetrating the Intschi Zone and the fault zones on the southern fringe of the Aar Massif in the Amsteg section, the Tavetsch Intermediate Massif (TIM) North and the Clavaniev Zone in the Sedrun section and the Piora Basin in the Faido section [4].

These risks were mastered with relatively few problems during driving as they had been identified in advance, systematically explored and because solutions for excavating and support had been worked out in time. In the risk zones that were recognised, either explorations were stepped up or special investigations were undertaken by dint of separate contract sections, whose results testified to the feasibility of tunnelling. This approach worked out extremely well.



5 Querschnitt Sohlbereich
Cross-section invert area

chen wurden die Sondierungen verdichtet oder es wurden gar mit separaten Baulosen besondere Erkundungen vorgenommen, deren Ergebnisse die Machbarkeit des Tunnelbaus belegten. Diese Vorgehensweise hat sich bestens bewährt.

3.1 Intschi-Zone

Gemäss Prognose sollten die beiden Tunnelröhren die Intschi-Zone auf einer Länge von ca. 950 m queren. Die Intschi-Zone besteht vorwiegend aus schwach metamorphen, pyroklastischen Gesteinen, ferner treten weiche kohlige Schiefer sowie Phyllite (ausgewalzte pyroklastische Gesteine) auf. Die eigentliche Störzone (duktile Scherzone am Südrand) hat eine Mächtigkeit von 30 bis 50 m und wurde als stark druckhaft erwartet. Zudem musste über eine Länge von rund 60 bis 70 m mit leicht druckhaftem bis druckhaftem Fels im Bereich von feinlagigen, phyllitischen Serizit-Schiefern gerechnet werden.

Auf Grund der sehr ungünstigen petrographischen Eigenschaften wurden zur Durchörterung, neben den normalen Sicherungsmitteln, auf einer Länge von rund 100 m vorausseilende Zusatzmassnahmen vorgesehen wie Spiesse, Rohrschirm und Injektionen. Für das Bauprogramm und den Leistungsbeschrieb wurde zudem vorsichtshalber der Bau eines Umgehungsstollens eingeplant.

Beim Vortrieb zeigte sich, dass die Intschi-Zone mit 444 m weniger als halb so lang war wie befürchtet. Das Gebirge verhielt sich auf den ersten 100 m wie prognostiziert leicht druckhaft. Die sichtbaren Deformationen erreichten maximal 15 cm. Es traten in dieser Zone z.T. verlehnte Serizit-Phyllite bis Serizit-Schiefer auf, kohlige Lagen hingegen nur vereinzelt.

Die vorausseilende TBM Ost wich zu Beginn der Intschi-Zone wegen ungenügender Verspannbarkeit auf einer Strecke von rund 100 m erheblich von der Solllage ab. Maximal wurden horizontale Abweichungen zur Sollachse von 45 cm gemessen. Mittels verstärkter Ausbruchsicherung, insbesondere im Paramentbereich, konnte die Verspannbarkeit der Maschine derart verbessert werden, dass sich die TBM Ost wieder in ihre vorgegebene Achse fahren liess. Der von der Solllage abweichende Abschnitt wurde im Sohlenbereich vor Einbringen der Ortbetonsole nachprofilert, der Gewölbebereich hingegen erst vor dem Einbau des Innengewölbes [14].

Der Vortrieb der TBM West profitierte von den in der Oströhre gemachten Erfahrungen. Das Sicherungskonzept wurde angepasst und in Anlehnung an den für die Clavaniev-Zone bzw. TZM Nord vorgesehenen Ausbau wurden verschiebliche TH-Profile zur Beherrschung der Deformationen eingesetzt [14].

3.2 Störzonen am Südrand des Aarmassivs

Am Südrand des Aarmassivs waren mehrere Störzonen als bautechnisch relevant prognostiziert worden. Es handelte sich dabei um teilweise mehrere Meter mächtige kakiritische und mylonitische Störzonen. Wegen der hohen Überlagerungen, der ungünstigen felsmechanischen Eigenschaften

3.1 Intschi Zone

According to the forecast, the two tunnel bores were to cross the Intschi Zone over a length of some 950 m. The Intschi Zone largely constitutes weak metamorphous, pyroclastic rocks, with soft coaly slates as well as phyllites (surge deposits of pyroclastic rocks). The actual fault zone (ductile shear zone on the southern fringe) is some 30 to 50 m thick and was expected to be highly squeezing. In addition gently squeezing to squeezing rock was anticipated over a length of some 60 to 70 m in an area with finely layered, phyllitic sericite slates.

Due to the extremely unfavourable petrographic characteristics, advance ancillary measures were provided for penetration purposes in addition to normal supporting agents over a length of roughly 100 m including lances, pipe umbrella and injections. Furthermore the construction of a bypass tunnel was planned as a precaution as part of the construction programme and the specification of services.

During the drive it was shown that the 444 m long Intschi Zone was only less than half the length that had been feared. As forecast the rock over the first 100 m was slightly squeezing. The visible deformations reached a maximum of 15 cm. In this zone in some cases loamy sericite-phyllite was present with occasional coaly layers.

The advance TBM East deviated considerably from the intended position over a roughly 100 m long section at the beginning of the Intschi Zone owing to insufficient tensionability. Maximum deviations of 45 cm from the intended axis were measured. Thanks to strengthening the excavation support, particularly in the wall area, the machine's tensionability was improved to such an extent that the TBM East was again able to drive in its predetermined axis. The floor of the section deviating from the intended alignment was reworked prior to placing the in situ concrete base. However the vault area was first tackled prior to installing the inner vault [14].

The TBM West drive profited from the experience gained in the eastern bore. The supporting concept was adapted and relocatable TH profiles were installed to counteract the deformations in keeping with the support measures undertaken for the Clavaniev Zone and the TIM North [14].

3.2 Fault Zones on the Southern Fringe of the Aar Massif

Several fault zones on the southern fringe of the Aar Massif were predicted to be technically relevant for construction. Involved were kakarite and mylonitic fault zones in some case several metres thick. On account of the high overburdens, the unfavourable rock mechanical characteristics of the relatively unstable kakarites and the in part, pronounced initial underground water ingresses, it was figured that considerable difficulties would be encountered during a TBM drive.

der wenig standfesten verlehmtten Kakirite und der teilweise starken initialen Bergwasserzutritte im praktisch kohäsionslosen Material wurde mit erheblichen Problemen bei der Durchörterung mit einer TBM gerechnet.

Da selbst mit umfangreichen, vorausseilenden Bauhilfsmassnahmen (Spiesse, Rohrschirm, Injektionen, Entwässerung der Störzonen) die Durchörterung nicht zweifelsfrei garantiert werden konnte, wurden im Projekt Massnahmen vorgesehen, um einerseits rechtzeitig erkannte Störzonen über

As penetration could not even be absolutely assured by applying extensive, advance ancillary construction measures (lances, pipe umbrella, injections, draining the fault zones), arrangements were seen within the project which were designed on the one hand to tackle fault zones that were identified in time via lateral bypass tunnels driven by conventional means and on the other to release a trapped TBM. These measures were incorporated in the advertised project. A TBM standstill was included per bore both in the scheduling programme as well as the contractual services.



6 Überflutete TBM im Sondierstollen Piora
Flooded TBM in the Piora exploratory tunnel

seitliche Umgehungsstollen vorzubehandeln und konventionell aufzufahren und um andererseits eine verschüttete TBM wieder zu befreien. Diese Massnahmen wurden in das ausgeschriebene Projekt aufgenommen. Sowohl im Terminprogramm als auch bei den ausgeschriebenen Leistungen wurde pro Röhre je ein TBM-Stillstand berücksichtigt.

In Wirklichkeit erwiesen sich diese Störzonen erfreulicherweise als wesentlich weniger kritisch. Sie konnten ohne grössere Schwierigkeiten durchörtert werden. Die Wirksamkeit der geplanten Massnahmen zeigte sich aber, als die TBM der Oströhre an einer anderen, nicht als kritisch eingestuftem Stelle unerwartet verschüttet wurde [12].

3.3 Sondiersystem Piora

Die Sondierung der Piora-Mulde begann bereits 1993, so dass es möglich gewesen wäre, auf den schlimmsten aller Fälle zu reagieren, nämlich das Auffahren einer längeren Strecke aus zuckerartigem Dolomit unter hohem Wasserdruck. Es lag ein Projekt vor, den Haupttunnel mit einem ca.

Fortunately in reality these fault zones turned out to be far less critical. They were cut through without major difficulties. The efficacy of the planned measures was revealed however when the TBM in the eastern bore unexpectedly became trapped in another location that was not regarded as critical [12].

3.3 Piora Exploratory System

Exploration of the Piora Basin began already in 1993 in order that it would have been possible to react to the worst possible scenario, namely driving a lengthy section consisting of sugary dolomite subject to high water pressure. A project existed to develop the main tunnel by means of a roughly 300 m deep vertical shaft and to excavate the Piora Basin from this shaft using a conventional drive, years prior to the arrival of the tunnel boring machines from Faido. As expected from probing with the exploratory system, top-quality dolomite marble was encountered over a distance of 127 m at tunnel level, which was penetrated without any problems by the TBM East from September 28 till October 13, 2008 and then subsequently by the TBM West [4].

300 m tiefen Vertikalschacht zu erschliessen und aus diesem die Piora-Mulde Jahre vor Eintreffen der Tunnelbohrmaschinen aus Faido mit einem konventionellen Vortrieb auszubrechen. Wie aufgrund der Sondierbohrungen aus dem Sondiersystem Piora erwartet wurde, ist dann auf Tunnelniveau auf einer Länge von 127 Tm bester Dolomitmarmor angetroffen worden, welcher vom 28. September bis 13. Oktober 2008 problemlos mit der TBM Ost und später auch mit der TBM West durchfahren werden konnte [4].

Wie sich zuckerkörniger Dolomit unter Wasserdruck verhalten könnte, wurde bei der Durchführung der Sondierbohrungen aus dem Sondiersystem Piora heraus sichtbar. Wegen einer Unachtsamkeit drangen am 31. März 1996 durch ein Bohrloch von 100 mm insgesamt rund 14000 m³ Wasser und zuckerkörniger Dolomit in den vorderen Bereich des Stollens ein und verfüllten diesen bis auf 1,80 m über der Stollensohle (Bild 6).

3.4 Tavetscher Zwischenmassiv (TZM) Nord

Kritische Stimmen bezweifelten im Vorfeld, dass das TZM Nord in Sedrun jemals mit einem Basistunnel durchfahren werden könne. Da klar war, dass die Durchörterung schwierig werden würde, wurde dieser Abschnitt besonders sorgfältig untersucht und man hat sich speziell gründlich mit den zu erwartenden, schwierigen Verhältnissen auseinandergesetzt. Mit umfangreichen felsmechanischen Berechnungen wurde versucht, die Realität zu simulieren und an einem Modell zu ermitteln, wie sich der Fels verhalten würde.

Schon bald erkannte man, dass nur ein Vollvortrieb mit nachgiebigem Ausbau und Brustankerung zum Ziel führen würde. Der nachgiebige Ausbau, der im Bergbau gang und gäbe ist, wurde in diesem Ausmass im Tunnelbau unseres Wissens zum ersten Mal eingesetzt. Um das Funktionieren der Massnahme zu prüfen, wurde vor Ort ein Teststand errichtet und ein Bogeneinbau im Massstab 1:1 untersucht.

Im Vortrieb hat sich das Konzept bewährt: es konnten in einem sicheren Baubetrieb täglich durchschnittlich 1,10 m Tunnel bei maximalen radialen Deformationen von 70 cm aufgeföhren werden [2].

4 Unerwartete geologische Probleme

Die wichtigsten unerwarteten Probleme ergaben sich

- beim Auflager des Tagbautunnels Erstfeld am Übergang zum bergmännischen Tunnel
- infolge sehr hoher Wasserzutritte im TA Erstfeld [5]
- bei der Verschüttung der TBM Ost im TA Amsteg [12]
- bei einer 120 m langen Störzone im Südvortrieb Sedrun [6]
- bei den Störzonen und den Mikrobenen in der MFS Faido [9]
- bei den Nachprofilierungen Bodio und Faido [3]
- beim Niederbruch in der Weströhre im TA Faido
- wegen Setzungen in der Tagbaustrecke Bodio

Just how sugary dolomite can react under water pressure became evident when carrying out the exploratory probes from the Piora exploratory system. Due to carelessness, a total of 14,000 m³ of water and sugary dolomite swamped the front area of the tunnel through a 100 mm hole on March 31, 1996 filling it to a height of 1,80 m above the tunnel floor (Fig. 6).

3.4 Tavetsch Intermediate Massif (TIM) North

In the run-up to the project, critics voiced the opinion that the TIM North in Sedrun could never be penetrated by a base tunnel. As it was obvious that penetration would be very tricky, this section was inspected with particular care and the expected difficult conditions that prevailed were given lengthy appraisal. An attempt was made through extensive rock mechanical analyses to simulate reality and devise a model to determine how the rock would behave.

It was soon realised that only a full-face excavation with yielding support and face anchorage would help attain this goal. The yielding support, which is commonplace in mining, was, as far as we are aware, used in tunnelling for the first time to such an extent. A test stand was set up on the spot and the installation of arches on a 1:1 scale was examined so that the functionality of the measure could be assessed.

The concept proved itself during driving: an average of 1.10 m of tunnel given maximal radial deformations of 70 cm was safely driven per day [2].

4 Unexpected Geological Problems

The most significant unexpected problems resulted

- for the Erstfeld cut-and-cover tunnel at the junction to the mined tunnel
- owing to high water ingresses in the Erstfeld section [5]
- when the TBM East was trapped in the Amsteg section [12]
- in a 120 m long fault zone in the Sedrun southern drive [6]
- in the fault zones and the micro-quakes at the Faido MFS [9]
- during reworking the cross-sections at Bodio and Faido [3]
- during the cave-in in the western bore in the Faido section
- owing to settlements in the Bodio cut-and-cover section

Most incidents have been presented in detail at past Swiss Tunnel Congresses (References). The manner in which such problems were solved is displayed on the basis of the two so far unpublished incidents.

4.1 Overcoming the Cave-in at the Faido Section

During the night from March 3 to 4, 2010, a cave-in occurred in the Faido section western bore in the Tenelin Zone at Tkm 230.312 when a 6 m thick, steeply inclined fault zone consisting of kakarite, cataclasite and broken rock was encountered. This point had been penetrated by the eastern bore months before without tangible problems.

Die meisten Ereignisse sind detailliert an den bisherigen Swiss-Tunnel-Kongressen vorgestellt worden (Literaturverzeichnis). Nachfolgend ist für 2 bisher nicht publizierte Ereignisse beispielhaft dargestellt, wie solche Probleme gelöst wurden.

4.1 Bewältigung des Niederbruchs im TA Faido

In der Nacht vom 3. auf den 4. März 2010 ereignete sich in der Weströhre des TA Faido in der Tenelin-Zone bei TKm 230,312 durch das Anfahren einer 6 m dicken, steil stehenden Störzone aus Kakirit, Kataklasit und zerbrochenem Fels ein Niederbruch. Diese Stelle war mit der Oströhre Monate zuvor ohne nennenswerte Probleme durchfahren worden.

Umfangreiche Schlag- und Kernbohrungen liessen einen Hohlraum von insgesamt ca. 2700 m³ vermuten. Nachdem der Vortrieb in der Weströhre eingestellt worden war, wurden hinter dem Bohrkopf der festgefahrenen TBM vier Spiessschirme gebohrt und erste Injektionen ausgeführt. Nach mehreren erfolglosen Versuchen, den Verbruch mit diesen Massnahmen zu durchfahren, wurden die Arbeiten am 13. März 2010 eingestellt (Bild 7).



7 Niederbruch bei TKm 230,312
Cave-in at TKm 230.312

Bei der Bewältigung dieses Niederbruchs kam die vorausschauende Planung zustatten: Um gewappnet zu sein gegen allfällige geologische Überraschungen, hatte der Bauherr vor Beginn des TBM-Vortriebs eine Expertengruppe eingesetzt, in die auch der Unternehmer einbezogen wurde. Zusammen mit diesen Sachverständigen wurde vom Projektingenieur ein Massnahmenplan erarbeitet, in dem alle potenziellen Gefahren und Chancen des Vortriebs analysiert wurden. Je nach Eintretenswahrscheinlichkeit hat man Massnahmen im Sinne vorbehaltener Entschlüsse vorbereitet und mit der Unternehmung abgestimmt. Gewisse Installationen wie z.B. Injektionsgeräte und Gerätschaften für den Bau von Umgehungsstollen wurden vorsorglich beschafft, um im Ereignisfall die Reaktionszeit zu verkürzen. Zudem wurde für kurze Entscheidungswege auf der Baustelle gesorgt, sodass die Oberbauleitung jeweils innert kürzester Zeit über Anträge der örtlichen Bauleitung entscheiden konnte.

Extensive percussion and core drilling came up with the concept of a roughly 2,700 m³ cavity. Once the drive in the western bore was ceased, four lance umbrellas were drilled behind the cutterhead of the trapped TBM and the first injections carried out. After several unsuccessful attempts to pass through the cave-in by these means, work was brought to a halt on March 13, 2010 (Fig. 7).

This cave-in was mastered thanks to resourceful advance planning: in order to be able to contend with all possible geological surprises prior to the TBM drive, the client established a group of experts, which also included the contractors. A catalogue of measures was drawn up by the project engineer in collaboration with these experts, in which all potential hazards and chances for the drive were analysed. Depending on the probability factor, measures in the form of conditional resolutions were prepared and coordinated with the contractor. Certain installations such as e.g. grouting units and equipment for constructing bypass tunnels were procured to be on the safe side so that the reaction time should an incident occur could be minimised. In addition, it was ensured that decisions could be made swiftly on-site so that the central site management could always decide on applications submitted by the local site supervision.

This astute foresight undoubtedly contributed substantially to the fact that it was possible after only a few days following an initial exploratory phase to backfill the cave-in point from a niche in the other bore by means of injections when the concrete incident occurred. A counter-drive was arranged in the apex area from the other bore to speed things up. It was absolutely essential that the drive in the advance tunnel bore was not impeded by this work save for a few inevitable short interruptions. After all, the intention was to drive the remaining section of the eastern bore to the breakthrough point as soon as possible (Fig. 8).

The excavation and support of the 15 m long and 7 m wide drilling and grouting niche took 18 days. 135 up to 32 m long holes with a diameter of 76 mm and a total of roughly 2,600 drilled metres were produced from this niche.

Parallel operated injection tests on rock samples came up with the most practical injection method and the most suitable grouting agent. Gel injections were carried out at the cutterhead in order to avoid blocking. Then cement injections were executed to consolidate the cave-in followed by contact injections to strengthen the peripheral areas of the caving. Altogether 103 m³ of gel and 70 t of cement were injected. This operations lasted 36 days (Fig. 9).

The roughly 80 m long counter-drive from the neighbouring bore was undertaken parallel to the cave-in point. Only the crown was excavated for the tunnel bore and strengthened by a lance umbrella in the caving zone. On July 23, 2010, in

Diese kluge Vorausschau hat beim konkreten Ereignis sicher wesentlich dazu beigetragen, dass nach einer ersten Erkundungsphase bereits nach wenigen Tagen festgelegt werden konnte, die Niederbruchsstelle von einer Nische in der Gegenröhre aus mittels Injektionen zu verfüllen. Als terminsichernde Massnahme wurde zudem ein Gegenvortrieb in den Scheitelbereich aus der Gegenröhre angeordnet. Es war absolut zwingend, durch diese Arbeiten den Vortrieb in der vorausseilenden Tunnelröhre bis auf einige wenige unumgängliche kurze Unterbrechungen nicht zu behindern, denn man wollte so schnell als möglich die Reststrecke der Oströhre bis zum Durchschlagspunkt auffahren (Bild 8).

Der Ausbruch und die Sicherung der 15 m langen und 7 m breiten Bohr- und Injektionsnische dauerte 18 Tage. Aus dieser Nische heraus wurden 135 bis zu 32 m lange Bohrungen mit 76 mm Durchmesser und insgesamt rund 2600 m Bohrmeter erstellt.

Parallel dazu wurden Injektionsversuche an Felsproben durchgeführt, um das zweckmässigste Injektionsverfahren und das am meisten geeignete Injektionsgut zu ermitteln. Um den Bohrkopf nicht zu blockieren, wurden im unmittelbaren Bohrkopfbereich Gelinjektionen ausgeführt, anschliessend Zementinjektionen für die Konsolidierung des Verbruchs und danach Kontaktinjektionen zur Verfestigung des Randbereichs des Niederbruchs. Gesamthaft wurden 103 m³ Gel und 70 t Zement injiziert. Diese Arbeiten dauerten 36 Tage (Bild 9).

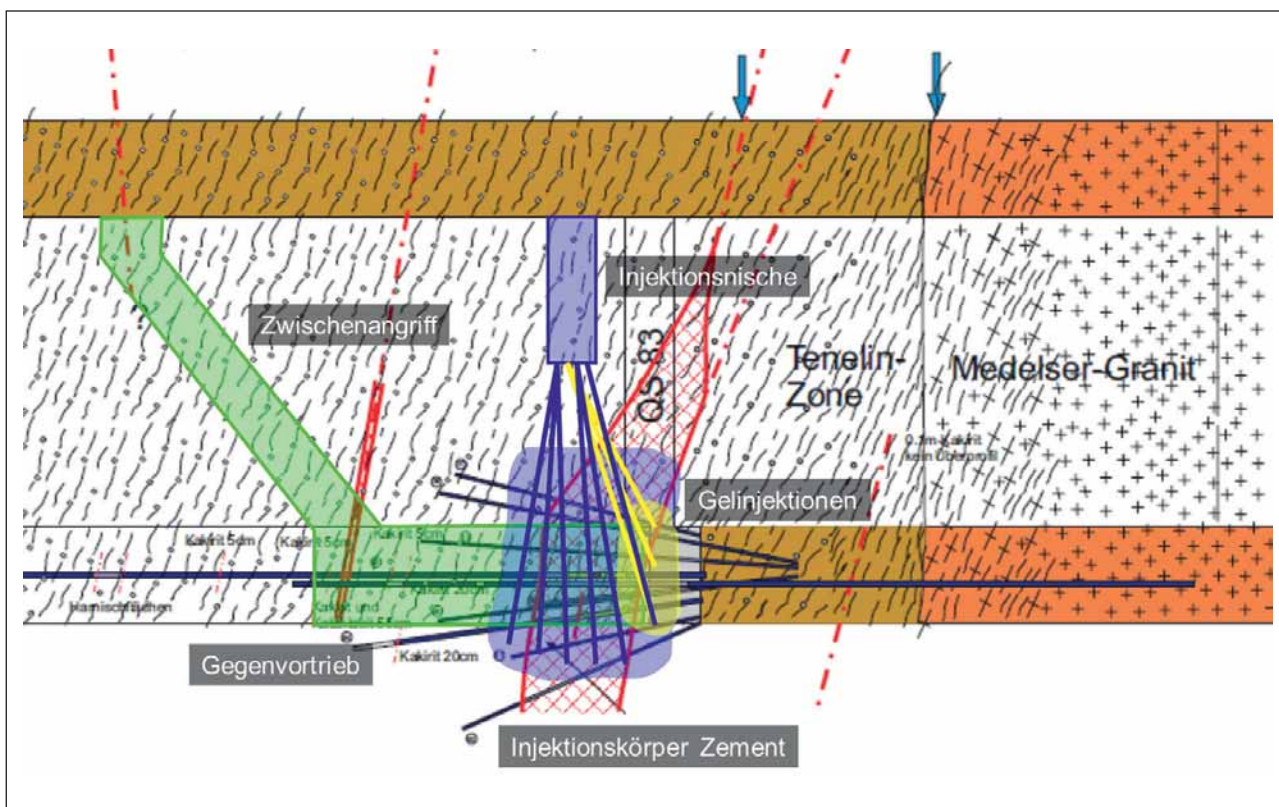
other words 20 weeks after the cave-in, the TBM was able to commence operating again in the western bore and the fault zone was passed through without incident.

4.2 Artificial Abutment for the Erstfeld Cut-and-Cover Tunnel at the Bedrock Portal

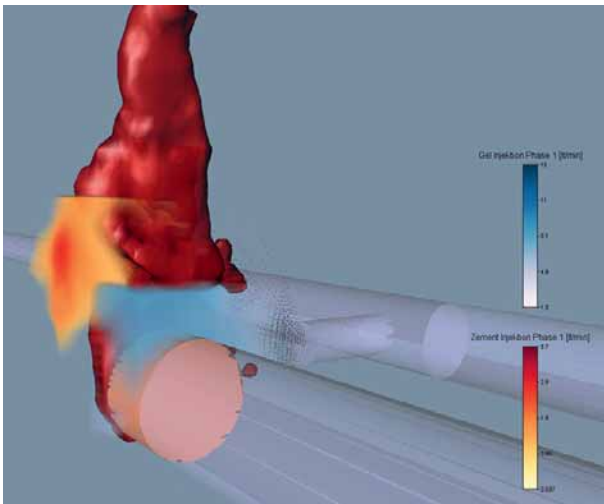
To the north of the bedrock portal, the cut-and-cover tunnel (CCT) crosses through the rock waste cone of the Wyertal and the Leidtalbach torrents in an excavation pit up to 25 m deep. In the project it was intended to remove the rock in the Erstfeld precut excavation pit up to the lower edge of the excavated floor of the mined tunnel in order to create a rock ledge to provide a settlement-free foundation for the cut-and-cover tunnel.

After sinking the pit it was revealed however that the rock surface at the trenchless portal – contrary to the prognosis – was practically perpendicular so that the intended CCT foundation on a rock abutment was not possible. On account of the high pressures exerted by the up to 15 m thick rock covering material neither a flat nor a piling foundation in the waste rock would have been capable of hindering impermissible CCT settlements at the junction to the mined tunnel (differential settlements between the CCT and mined tunnel of 8 to 9 cm according to calculations).

The problem was solved by means of a cantilever arm made of concrete. This solidly reinforced structure was integrated in the reinforced base slab of the starting bore for the



8 Situationsplan Niederbruch, Injektionsnische und Gegenvortrieb
Situation plan of cave-in, injection niche and counter-drive



9 Darstellung des Injektionskörpers in 3D
Presentation of the injection body in 3D

Der rund 80 m lange Gegenvortrieb aus der Nachbarröhre zur Niederbruchstelle wurde parallel zu den Bohrarbeiten ausgeführt. Im Bereich der Tunnelröhre wurde lediglich die Kalotte ausgebrochen und im Niederbruchbereich durch einen Spiessschirm verstärkt. Am 23. Juli 2010, also 20 Wochen nach dem Niederbruch, konnte die TBM den Vortrieb in der Weströhre wieder aufnehmen und die Störzone problemlos durchörtern.

4.2 Künstliches Auflager für den Tagbautunnel Erstfeld am bergmännischen Portal

Nördlich des bergmännischen Portals durchquert der Tagbautunnel (TBT) den Schuttkegel des Wyertal- und des Leidtalbachs in einer bis zu 25 m tiefen Baugrube. Im Projekt war vorgesehen, in der Baugrube des Voreinschnitts Erstfeld den Fels bis Unterkante Ausbruchsohle des bergmännischen Tunnels abzutragen und dort einen Felsvorsprung zur setzungsfreien Fundierung des Tagbautunnels zu schaffen.

Beim Abteufen der Baugrube zeigte sich jedoch, dass die Felsoberfläche beim bergmännischen Portal – entgegen der Prognose – nahezu senkrecht einfällt, weshalb die vorgesehene Fundation des TBT auf einem Felsauflager nicht möglich war. Wegen der hohen Auflasten der bis zu 15 m mächtigen Überschüttung hätte weder eine Flach- noch eine Pfahlfundation im Schotter unzulässige Setzungen des TBT am Übergang zum bergmännischen Tunnel zu verhindern vermocht (differenzielle Setzungen zwischen TBT und bergmännischem Tunnel gemäss Berechnungen in der Grössenordnung von 8 bis 9 cm).

Gelöst wurde das Problem mit einem Kragarm aus Ortbeton. Diese massiv bewehrte Konstruktion ist in die verstärkte Bodenplatte der Startröhre des bergmännischen Tunnels eingebunden. Dadurch kann sowohl die gewaltige Auflagerlast von bis zu 44 000 kN aus der Überschüttung in den Felsuntergrund abgeleitet als auch die Kippsicherheit gewährleis-

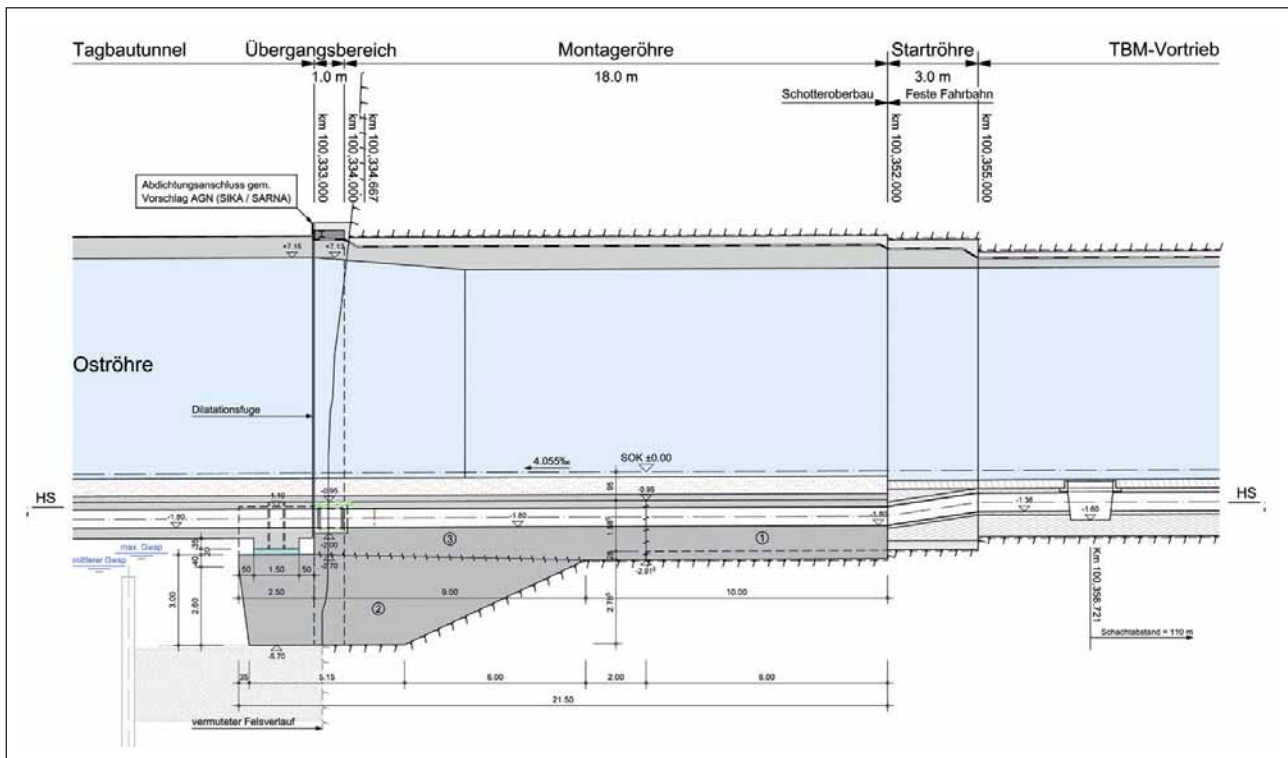
trenchless tunnel. In this way the huge abutment load of up to 44,000 kN from the covering can be diverted into the bedrock and stability against overturning is secured. In addition it was not necessary to support the cantilever arm in the rock at its sides (Fig. 10).

The constraint forces resulting from the covering were restricted so that the structural height of the cantilever arm was reduced to a feasible size. A further reason for this was that it would have led to cracks in the cut-and-cover tunnel. This was achieved by permitting limited settlements of the CCT bores in the abutment during covering. For this purpose a soft intermediate layer had been embedded in between the cantilever plate and the CCT. Once the settlements died away or upon reaching the 4 cm settlement level defined as the permitted maximum value, the intermediate layer was removed and the structure secured with special mortar.

As the waterproofing and the inner furnishing of the tunnel were produced prior to backfilling, the junctions of these elements had to be aligned to the movements. Towards this end, the waterproofing connection had to be capable of bearing a twist of 0.2° and a temperature-related change in length of 3 to 5 cm of the uncovered CCT apart from the maximum settlement level in the transition joint. This was facilitated by installing foam hoses as “space forming” elements and with a suitable arrangement of several layers of sheeting. Furthermore the loosely laid seal had to be especially protected in this area against the covering earth masses. Movements in the shafts were permitted for the main drainage line and the wastewater line; the cable blocks were attached only after the abutment in the transition area had been fixed in place.

5 Preserving Knowledge given a Lengthy Planning Period

Planning the project of the century, the Gotthard Base Tunnel, lasted a long time, indeed almost a generation. This meant that the client and the planners were faced with the hitherto unknown challenge of having to preserve the knowhow related to the project over many years and pass it on. It goes without saying that all important decisions relating to the project are clearly documented and archived for posterity. However behind each decision there are countless thought processes, deliberations and discussions, which did not find their way into a document and are thus not available in written form. This immense store of knowledge is only to be found in the heads of those directly involved. The number of those involved from the very beginning has constantly diminished during the course of the project. They can be ticked off on two hands both on the client's side and the planning side. Consequently an important lesson for future major projects is that such projects should not simply be reserved for senior engineers: young engineers must be involved from the very beginning and be encouraged to commit themselves for many years.



10 TBT Erstfeld: Konzept der Auflagerkonstruktion
CCT Erstfeld: Abutment structure concept

tet werden. Zudem erübrigte sich die seitliche Einspannung des Kragarms im Felsen (Bild 10).

Um die Konstruktionshöhe des Kragarms auf ein machbares Mass zu verringern, wurden die aus der Überschlüttung resultierenden Zwängungen beschränkt; ein weiterer Grund dafür war, dass sie in den Tagbautunnelröhren zu Rissen geführt hätten. Dies gelang durch das kontrollierte Zulassen von Setzungen der TBT-Röhren im Auflager während der Überschlüttung. Dazu wurde im Auflager zwischen der Kragplatte und dem TBT in einer ersten Phase eine weiche Zwischenschicht eingebaut. Nach Abklingen der Setzungen bzw. nach Erreichen des als maximal definierten Setzungsmasses von 4 cm wurde die Zwischenschicht entfernt und das Lager mit Spezialmörtel fixiert.

Da die Abdichtung und der Innenausbau des Tunnels noch vor der Aufschüttung erstellt wurden, waren auch die Übergänge dieser Elemente auf die Bewegungen auszurichten. Der Abdichtungsanschluss sollte dabei neben dem maximalen Setzungsmass in der Übergangsfuge auch eine Verdrehung von 0,2 Grad und eine temperaturabhängige Längenänderung von 3 bis 5 cm des nicht eingeschütteten TBT ertragen. Das wurde ermöglicht durch die Einlage von Schaumstoffschläuchen als „raumbildende“ Elemente und mit geeigneter Anordnung mehrere Folienschichten. Zudem musste die lose verlegte Abdichtung gegen die Erdmassen der Überschlüttung in diesem Bereich besonders geschützt werden. Für die Hauptentwässerungsleitung und die Schmutzwasserleitung wurden die Bewegungen in

6 Dealing with Project Alterations

More than 20,000 plans were drafted during the planning phase. Therefore it is essential that the basic principles are clearly documented. The utilisation and safety plans (NuSi-plans, today the utilisation agreement and project basis) have to be extensively discussed so that the planner can comprehend what the client expects. The mutually defined NuSi plans have periodically to be adapted to changed general conditions, specifications and requirements.

The Gotthard Base Tunnel concept is based on the studies on the tunnel system dating from the early 1990s. It is natural in the case of protracted projects that state of the art and recognitions especially in the field of safety of rail facilities are subject to constant changes. Apart from these altered demands the geology also in some cases required project alterations. An alteration to a project can also result from adaptations to the work cycle or changes in execution by the contractor. Furthermore the gradual planning of the tunnel structure equipment and particularly the detailed planning of the rail technology contractor required adjustments to the project regardless of how far it had progressed. Such alterations were integrated in the project providing the level of planning and subsequently construction progress permitted it. Altogether there have been 351 alterations to the project (as of November 2012) since construction began (Table 1).

The relatively small number of project alterations in the Erstfeld section can be attributed to the fact that this con-

Schächten zugelassen; die Kabelblöcke wurden erst nach dem Fixieren des Auflagers im Übergangsbereich verbunden.

5 Bewahrung des Wissens bei langer Planungsdauer

Die Planung des Jahrhundertwerks Gotthard-Basistunnel hat lange gedauert, fast eine Generation lang. Das hat die Bauherrschaft und die Planer vor die bisher unbekannte Herausforderung gestellt, das projektspezifische Know-how über Jahrzehnte zu konservieren und weiterzugeben. Selbstverständlich sind alle wesentlichen Projektentscheide sauber dokumentiert und für die Nachwelt archiviert. Aber hinter jedem Entscheid stehen unzählige Gedankengänge, Abwägungen und Diskussionen, die nicht Eingang in ein Dokument gefunden haben und deshalb nicht schriftlich festgehalten sind. Dieses vielfältige Wissen existiert nur in den Köpfen der Direktbeteiligten. Im Laufe der sehr langen Projektdauer hat sich die Zahl der von Beginn an Beteiligten ständig verringert. Sie lassen sich sowohl auf Bauherren- als auch auf Planerseite an 2 Händen abzählen. Eine wichtige Lehre für künftige Grossprojekte ist deshalb, solche Vorhaben nicht nur Senioringenieuren anzuvertrauen, sondern junge Ingenieure von Anfang an einzubeziehen und dafür zu begeistern, über Jahre am Projekt mitzuarbeiten.

6 Umgang mit Projektänderungen

Im Laufe der Planung wurden über 20 000 Pläne erstellt. Es ist deshalb wichtig, die Grundlagen sauber zu dokumentieren. Die Nutzungs- und Sicherheitspläne (NuSi-Pläne, heute Nutzungsvereinbarung und Projektbasis) müssen ausführlich diskutiert werden, damit der Planer versteht, was der Bauherr erwartet. Die gemeinsam definierten NuSi-Pläne sind periodisch den geänderten Randbedingungen, Vorgaben und Bedürfnissen anzupassen.

Das Konzept des Gotthard-Basistunnels basiert auf den Studien zum Tunnelsystem aus den frühen 1990er Jahren. Es liegt in der Natur langandauernder Projekte, dass sich der Stand der Technik und der Erkenntnisse insbesondere im Bereich der Sicherheit von Bahnanlagen laufend ändert. Neben diesen geänderten Anforderungen erzwang verschiedentlich

Teilabschnitt/ Section	Änderungen/ Alterations
Erstfeld	13
Amsteg	71
Sedrun	78
Faido	116
Bodio	73
Total	351

Table 1 Anzahl der Projektänderungen pro Teilabschnitt
Table 1 Number of Project Alterations per Section

tract section was the last for which tenders were invited; work in the other tunnel contract sections had been progressing for several years. As a result the findings and project alterations of the contract sections previously commenced were integrated in the works contract. Furthermore, the Erstfeld tunnel contract section was awarded on a global basis. As high contractual safety was resultantly strived for, revisions to the contract were undertaken with particular care within the scope of the contract negotiations and various project alterations already taken into consideration [1].

These project alterations range from additional cable protection pipes valued at a few thousand CHF to relocating the tunnel branch-off constructions in the Faido MFS with resultant costs amounting to tens of millions; however they can also involve no costs at all.

In accordance with the instructions of the client, AlpTransit Gotthard AG (ATG) project alterations had to be submitted officially in the form of an application. All those involved in the project checked and revised this application including the subsequent GBT operator. Only those applications that were granted approval were carried out. Thanks to this procedure all alterations are precisely documented as well as exactly checked regarding the interfaces to all those involved in the project.

Each project alteration also influenced the works contracts with the contractors in the form of changes to orders. As a result an effort was always made prior to execution to regulate any effect changes to orders would have on costs and deadlines in the works contract. In this phase, the local site management was required to work out an amendment to the works contract.

The negotiations on amended prices often took a long time owing to the tense financial situation of the contractors. If no agreement was reached prior to execution, reimbursement was provisionally regulated by a "letter of intent" so that the liquidity of the companies involved was not unduly strained. So far it has always been possible to regulate the client's order alterations in a positive way – also thanks to bodies of arbitration. The courts have never been let in on the act.

7 Summary

The following conclusions can be drawn from the recognitions gained:

- Costs can be saved with an optimised standard cross-section. This optimisation process must on no account be exaggerated for fear that no profile reserves are left due to the accumulation of variances.
- The boring diameter for the TBM drive is geared to the poorest rock properties and it cannot really be varied. As a result radially adjustable formwork units were prescribed for the GBT so that it was possible to react to the different extent of deformation and rock supporting thicknesses. In

auch die Geologie Projektänderungen. Auch Anpassungen des Arbeitsablaufs oder Änderungen der Ausführung durch den Unternehmer können eine Projektänderung begründen. Zudem erforderten die Detaillierung der Planung der Rohbauausrüstung sowie insbesondere die Detailplanung des Bahntechnik-Unternehmers Anpassungen an dem bereits weit fortgeschrittenen Projekt. Sofern es der Planungsstand und später der Baufortschritt erlaubten, wurden solche geänderten Anforderungen noch im Projekt berücksichtigt. Insgesamt gab es seit Baubeginn der Hauptlose 351 Projektänderungen (Stand November 2012) (Tabelle 1).

Die relativ geringe Zahl von Projektänderungen im TA Erstfeld ist darauf zurückzuführen, dass dieses Tunnellos als letztes ausgeschrieben wurde, als die Arbeiten bei den anderen Tunnellosen schon mehrere Jahre im Gang waren. Deshalb konnten die Erfahrungen und Projektänderungen der zuvor begonnenen Baulose in den Werkvertrag integriert werden. Ausserdem wurde das Tunnellos Erstfeld als Globalauftrag vergeben. Weil man deshalb eine hohe Vertragssicherheit anstrebte, wurden die Vertragsvereinbarungen im Rahmen der Vergabeverhandlungen besonders gründlich durchgeführt und verschiedene Projektänderungen bereits berücksichtigt [1].

Die Projektänderungen reichen von zusätzlichen Kabelschutzrohren für einige 1000 CHF bis zur Verschiebung der Tunnelverzweiger in der MFS Faido mit Kostenfolgen im zweistelligen Millionenbereich, sie können aber auch kostenneutral sein.

Gemäss den Weisungen der Bauherrin, AlpTransit Gotthard AG (ATG), müssen Projektänderungen auf dem offiziellen Weg mit einem Projektänderungsantrag eingereicht werden. Diesen Antrag prüfen und bereinigen alle Projektbeteiligten, auch der spätere Betreiber des GBT. Nur genehmigte Projektänderungen gelangen zur Ausführung. Dank diesem Vorgehen sind nicht nur alle Änderungen genau dokumentiert, sondern auch bezüglich der Schnittstellen zu allen Projektbeteiligten genau geprüft.

Jede Projektänderung wirkt sich in Form von Bestellungsänderungen auch auf die Werkverträge mit den Unternehmern aus. Man war daher stets bestrebt, vor der Ausführung werkvertraglich zu regeln, welche Folgen Bestellungsänderungen auf Kosten und Termine haben würden. In dieser Phase war dann die örtliche Bauleitung gefordert, einen Nachtrag zum Werkvertrag auszuarbeiten. Oft haben die Verhandlungen über Nachtragspreise wegen der angespannten Finanzsituation der Unternehmungen lange Zeit in Anspruch genommen. Wenn vor der Ausführung keine Einigung gelang, wurde die Vergütung provisorisch mit einem „Letter of intent“ geregelt, um die Liquidität der Unternehmer nicht zu strapazieren. Es ist bisher immer gelungen – nicht zuletzt auch dank der Streitschlichtungsgremien – Bestellungsänderungen des Bauherrn einvernehmlich zu regeln. Die Gerichte mussten deswegen noch nie bemüht werden.

this way, it was possible on the one hand to save costs and on the other to enlarge the free cross-sectional area F_{Air} . This novel concept proved itself to the hilt.

- Predicted geological risks were investigated systematically at the planning stage. Explorations were stepped up where necessary or special investigations carried out by means of separate contract sections. This procedure formed the basis for the successful drives. For apart from the identified risks, the various unexpected construction technological difficulties were also mastered during excavation without major problems thanks to the executed risk analysis and the prepared solution scenarios.
- In order to be geared to possible geological surprises, the client established an independent group of experts prior to the TBM drive. The project engineers worked out plans of measures, in which all potential hazards and chances for driving were analysed. In this way it was possible to reduce the reaction time drastically and maintain delays within limits.
- A TBM standstill was already taken into account for particularly critical zones in the project and the production of a bypass tunnel was planned and integrated in the project at the tendering stage. This measure proved to be invaluable for securing costs as well as planning the overall timetable.
- A novel driving method was devised as practised in mining for the intensely squeezing Tavetsch Intermediate Massif. The full-face excavation with yielding support and face anchorage turned out to be a complete success.
- To preserve the knowledge relating to the project over the lengthy planning and construction period, young engineers, who are prepared to contribute for years on end thus securing continuity should be engaged alongside senior engineers.

Literatur/References

- [1] Ehrbar H., Seiler W., Neuenschwander M., Wick R. (2013): „Rohbau Gotthard-Basistunnel: Vertragsmanagement – ein wichtiger Erfolgsfaktor für Grossprojekte“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2013
- [2] Ehrbar H., Sala A., Wick R. (2012): „Vortriebe am Gotthard-Basistunnel – Ein Rückblick“, Vortrag am Swiss Tunnel Congress 2012
- [3] Sala A. (2010): „TBM-Vortrieb Faido – Erfahrungen mit Nachprofilierungen in der druckhaften Strecke“, Vortrag am Swiss Tunnel Congress 2010
- [4] Flury S. (2009): „Gotthard-Basistunnel, Abschnitt Faido – Umgang mit Chancen und Gefahren im anspruchsvollsten Abschnitt des Gotthard-Basistunnels“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2009
- [5] Keller F., Ziegler H.J. (2009): „Geologie Gotthard-Basistunnel – Aktueller Befund und Rückblicke“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2009
- [6] Meier R., Theiler A. (2009): „Gotthard-Basistunnel, Südvortrieb Sedrun – Durchörterung einer unerwarteten, ausgedehnten Störzone – Herausforderungen bleiben“, Vortrag am Swiss Tunnel Congress 2009

7 Fazit

Aus den Erfahrungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Mit einem optimierten Normalprofil können Kosten eingespart werden. Diese Optimierung darf aber nicht so weit getrieben werden, dass bei der Kumulation von Abweichungen keine Profilreserven mehr bleiben.
- Der Bohrdurchmesser beim TBM-Vortrieb richtet sich nach den schlechtesten Gebirgseigenschaften und er kann praktisch nicht variiert werden. Für den GBT wurden deshalb radial verstellbare Schalungen vorgeschrieben, damit auf die unterschiedlichen Deformationsmasse und Felssicherungsdicken reagiert werden konnte. Auf diese Weise konnten einerseits Kosten eingespart und andererseits die freie Querschnittsfläche F_{Air} vergrößert werden. Dieses neuartige Konzept hat sich bestens bewährt.
- Geologisch prognostizierte Risiken wurden in der Planungsphase systematisch erforscht. Wo nötig wurden die Sondierungen verdichtet oder mit separaten Baulosen besondere Erkundungen vorgenommen. Dieses Vorgehen war die Basis für die erfolgreichen Vortriebe, denn nicht nur die erkannten Risiken, sondern auch die verschiedenen unerwarteten bautechnischen Schwierigkeiten konnten beim Vortrieb dank der durchgeführten Risikoanalyse und der vorbereiteten Lösungsszenarien ohne grössere Schwierigkeiten beherrscht werden.
- Um gegen allfällige geologische Überraschungen gewappnet zu sein, setzte der Bauherr bereits vor Beginn des TBM-Vortriebs eine unabhängige Expertengruppe ein. Von den Projektingenieuren wurden Massnahmenpläne erarbeitet, in denen alle potenziellen Gefahren und Chancen des Vortriebs analysiert wurden. Damit konnten im Ereignisfall die Reaktionszeit entscheidend verkürzt und die Verzögerungen in Grenzen gehalten werden.
- Für besonders kritische Zonen wurde bereits im Projekt ein TBM-Stillstand berücksichtigt und der Bau eines Umgehungsstollens eingeplant und in das ausgeschriebene Projekt aufgenommen. Diese Massnahme erwies sich sowohl für die Kostensicherheit als auch für die Gesamtterminplanung als wertvoll.
- Für das stark druckhafte Tavetscher Zwischenmassiv wurde in Anlehnung an den Bergbau eine neuartige Vortriebsmethode entwickelt. Der Vollvortrieb mit nachgiebigem Ausbau und Brustankerung erwies sich als voller Erfolg.
- Zur Bewahrung des projektspezifischen Wissens über die lange Planungs- und Bauzeit sollten nicht nur Senioringenieure eingesetzt werden, sondern auch junge Ingenieure, die bereit sind, über Jahre mitzuarbeiten und so die Kontinuität sicherstellen.

[7] Böckli O. (2008): "Teilabschnitt Faido – Bisherige Erfahrungen mit dem TBM-Vortrieb", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2008

[8] Kovari K., Ehrbar H. (2008): "Gotthard-Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun – Die druckhaften Strecken im TZM Nord – Projektierung und Realisierung", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2008

[9] Kissling E., Rehbock-Sander M. (2007): "Gotthard-Basistunnel – Bergschläge und Mikrobeben in der MFS Faido", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2007

[10] Matousek F., Lützenkirchen V. (2007): "Bergwasser beim Gotthard-Basistunnel – Bisherige Erkenntnisse", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2007

[11] Muff St., Frei B., Breitenmoser T. (2006): „Gotthard-Basistunnel, Teilabschnitt Amsteg: Wiederinbetriebnahme der TBM nach Vortriebsstillstand in hydrothermal zersetztem Gebirge“, Geomechanik Kolloquium Salzburg 2006

[12] Wildbolz A. (2006): "Amsteg – TBM-Stillstand in der Weströhre – Kleiner geologischer Unterschied, grosse Wirkung", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2006

[13] Ziegler H.J. (2006): "Geologie, Erste Vortriebshälfte – Bisherige geologische Erkenntnisse", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2006

[14] Genoud C., Muff St., Frei B. (2005): „Zwei Jahre maschineller Vortrieb im TA Amsteg, Erfahrung aus Sicht der örtlichen Bauleitung“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2005

[15] Keller F. (2005): „Gotthard-Basistunnel: Geologische Erkenntnisse aus einem weiteren Vortriebsjahr“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2005

[16] Röthlisberger B., Sala A. (2005): "Faido – Bewältigung schwieriger Gebirgsverhältnisse, Rückblick und Ausblick", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2005

[17] Ehrbar H. (2004): "Baulos Sedrun, Bewältigung druckhafter Zonen", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2004

[18] Keller F. (2004): „Gotthard-Basistunnel: Stand der geologischen Erkenntnisse“, Vortrag Swiss Tunnel Congress 2004

[19] Neuenschwander M. (2004): "Baulos Bodio, Erfahrungen mit dem mechanischen Vortrieb im Leventinagneis", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2004

[20] Pacher F. (2004): "Baulos Faido, Besondere geologische Verhältnisse – Besondere Massnahmen", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2004

[21] Rehbock-Sander M. (2003): "Vortriebe in der Multifunktionsstelle Faido", Vortrag Swiss Tunnel Congress 2003

[22] Ehrbar H., Sala A., Wick R. (2011): „Gotthard-Basistunnel – Kriterien zur Wahl der Vortriebsmethode“, Vortrag am Geomechanik-Kolloquium Salzburg 2011

Heinz Ehrbar, dipl. Bauing. ETH/SIA, Heinz Ehrbar Partners GmbH, Herrliberg/CH
Wolfgang Seiler, Rechtsanwalt, AlpTransit Gotthard AG, Luzern/CH
Matthias Neuenschwander, dipl. Bauing. ETH/SIA, IG GBTS, Lombardi AG, Minusio/CH
Raphael Wick, dipl. Bauing. ETH/SIA, IG GBTN, Gähler und Partner AG, Ennetbaden/CH

Rohbau Gotthard-Basistunnel

Vertragsmanagement – ein wichtiger Erfolgsfaktor für Grossprojekte

Der grösste Teil der Rohbauarbeiten am Gotthard-Basistunnel ist per Ende 2012 fertig gestellt. Die enormen Leistungen auf den Baustellen mussten durch umfangreiche Vertragswerke vorbereitet und begleitet werden. Entsprechend grosse Leistungen wurden auf dem Gebiet des Vertragsmanagements erbracht. Die Werkverträge des Rohbaus basierten primär auf den Schweizer Normen SIA 118 und SIA 198 (Ausgabe 1993). In allen Hauptloten wurde das Streitschlichtungsmodell gemäss der Empfehlung VSS 641 510 integriert. Rückblickend kann festgehalten werden, dass sich die eingesetzten Vertragsmodelle und das zugehörige Risikomanagement durchwegs bewährt haben.

Gotthard Base Tunnel Structural Works

Contract Management – an Important Success Factor for Major Projects

The major portion of the structural work for the Gotthard Base Tunnel was completed by the end of 2012. The enormous achievements on the construction sites had to be prepared for and, accompanied by, extensive contractual agreements. There were correspondingly large achievements in the field of contract management. The work contracts for structural work are primarily based on the Swiss SIA Standards 118 and 198 (1993 edition). The arbitration model according to VSS Recommendation 641,510 was incorporated into all main lots.

1 Rechtliche Randbedingungen

1.1 Das Submissionsrecht

Das Alpentransit-Gesetz vom 4. Oktober 1991 bestimmt unter anderem, dass der Bund im Rahmen seines Submissionsrechts für Planung, Projektierung und Bau den freien Wettbewerb für die einzelnen Teilstücke der NEAT sicherzustellen hat. Mit der Projektierung und Erstellung der Achse Gotthard ist die ATG beauftragt.

Als öffentliche Auftraggeberin wickelt die ATG die Vergabe von Aufträgen nach dem Bundesgesetz und der dazugehörigen Verordnung über das öffentliche Beschaffungswesen ab. Mit erfahrenen Projektleitern und eigenen Juristen besitzt sie selber die Kernkompetenz im Submissionsrecht und stellt damit professionelle wie auch internationalen Ansprüchen genügende Vergaben sicher.

1.2 Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA)

Kein Land der Erde stellt vor Inangriffnahme von grossen Bauvorhaben sein bewährtes Vertragssystem und die Praxis

1 General Legal Conditions

1.1 Submission Law

The AlpTransit Law of October 4, 1991, among other things, requires the Swiss government, within the framework of its submission legislation for planning, designing and building, to provide for free competition for the individual sections of the New Rail Link through the Alps (NRLA). AlpTransit Gotthard AG (ATG) is commissioned to design and construct the Gotthard axis.

As a public contracting principal, ATG handles the award of contracts in accordance with Swiss law and the relevant ordinances on public procurement. With experienced project managers and its own lawyers, it possesses competence in submission law, thus satisfying professional as well as international requirements.

1.2 Standards of the Swiss Society of Engineers and Architects (SIA)

No country in the world questions its tried-and-tested contractual system and how it is practised, prior to tackling major construction projects [1]. As the legal stipulations

Gros-œuvre du tunnel de base du Saint-Gothard

Gestion des contrats: un facteur de succès important pour les grands projets

La plus grande partie du gros-œuvre du tunnel de base du Saint-Gothard a été achevée fin 2012. Les énormes travaux réalisés sur les chantiers ont dû être préparés et accompagnés par de nombreux contrats. Les prestations fournies dans le domaine de la gestion des contrats ont donc été d'une ampleur correspondante. Les contrats d'entreprises destinés au gros-œuvre étaient basés en priorité sur les normes suisses SIA 118 et SIA 198 (édition 1993). Le modèle de médiation selon la recommandation VSS 641 510 a été intégré à tous les lots principaux. Rétrospectivement, on peut retenir que les modèles de contrats utilisés et la gestion des risques inhérente ont tous fait leurs preuves sans exception.

Costruzione grezza della Galleria di base del San Gottardo

Gestione contratti – un fattore di successo importante per grandi progetti

La maggior parte dei lavori per la costruzione grezza della Galleria di base del San Gottardo è stata terminata per la fine del 2012. Ampi accordi contrattuali sono stati necessari per preparare ed accompagnare le enormi opere eseguite nei cantieri. Prestazioni altrettanto grandi sono state fornite quindi in materia di gestione dei contratti. I contratti d'appalto per la costruzione grezza si sono basati essenzialmente sulle norme SIA 118 e SIA 198 (edizione 1993) vigenti in Svizzera. In tutti i lotti principali è stato integrato il modello di composizione delle controversie secondo la raccomandazione 641 510 dell'Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS). In retrospettiva si può affermare che i modelli contrattuali applicati ed il risk management pertinente hanno dato buona prova della loro efficacia.

seiner Handhabung grundsätzlich in Frage [1]. Da die Gesetzesbestimmungen des schweizerischen Obligationenrechts zum Werkvertrag sehr allgemein gehalten und mit wenigen Ausnahmen nicht auf Bauwerke zugeschnitten sind, basieren die Werkverträge der ATG in vielen Punkten auf den Grundlagen der in der Schweiz weit verbreiteten und allgemein anerkannten Norm SIA 118 „Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten“.

Diese Bedingungen sind grundsätzlich auf die Realisierung kleinerer und mittlerer Bauvorhaben zugeschnitten, nicht aber auf Grossprojekte. Ab anfangs der 1990er Jahre begannen sich deshalb verschiedene Personen und Gruppierungen mit den vertraglichen Grundlagen für die Realisierung der AlpTransit-Projekte zu befassen. Resultate dieser Bemühungen waren insbesondere (Aufzählung nicht abschliessend):

- 1993 Inkrafttreten der komplett überarbeiteten Norm SIA 198 „Untertagbau“ mit Angaben zu Projekt, Ausführung, Besondere Bestimmungen, Ausmass und Vergütung
- 1995 Bericht der verwaltungswirtschaftlichen Arbeitsgruppe „Verträge AlpTransit“ mit Empfehlungen und Vorschlägen für Vertragsklauseln
- 1996 Bericht „Prader“ mit Hinweisen auf kritische Artikel der Norm SIA 118 und Erläuterung der damit verbundenen Fragen
- 1996 Dokumentation GIB „Grosse Infrastrukturbauten Bauwirtschaft“ der Schweizerischen Bauwirtschaftskonferenz mit Empfehlungen zur Übernahme bewährter ausländischer Vertragsregeln wie Streitschlichtung oder Erfüllungsgarantien

of the Swiss Code of Obligations for a work contract are couched in very general terms, and do not apply to structures save for a few exceptions, many aspects of ATG work contracts are based on SIA Standard 118, “General Conditions for Construction Work”, which is generally established and recognised in Switzerland.

These conditions are essentially applicable to the fulfilment of small- and medium-sized construction projects, but not necessarily to major projects. As a result, from the early 1990s, various individuals and groups began to tackle the contractual principles for accomplishing the AlpTransit projects. These efforts resulted in (list not definitive):

- 1993 Application of the completely revised SIA Standard 198 “Underground Construction” with details on the project, execution, special regulations, extent and remuneration
- 1995 Report by the “AlpTransit Contracts” internal administrative working group with recommendations and proposals for contract clauses
- 1996 “Prader” report with references to critical articles in SIA Standard 118 and explanations of related issues
- 1996 Document GIB, “Major Infrastructure Structures for the Construction Industry”, of the Swiss Construction Industry Conference with recommendations to take over proven foreign contractual rules such as arbitration or fulfilment guarantees

All of these factors contributed towards ATG establishing its contracts based on SIA standards and being able to round them off in the form of an agreement commensurate with

Alle diese Beiträge führten dazu, dass die ATG ihre Verträge auf Basis der SIA-Normen aufbaute und diese mit teilweise abweichenden, projektspezifischen und wohlüberlegten Vertragsbestimmungen vor der Lancierung der Ausschreibungen zu einem der Projektgrösse angemessenen Vertragswerk vervollständigen konnte.

Trotz der guten Basis, welche die schweizerischen Normbestimmungen bilden, sind die Projektverfasser gut beraten, die Randbedingungen der Grossprojekte nicht aus ihrem Blickwinkel zu verlieren. Einzelne Regelungen des Normenwerks sind allenfalls durch abweichende, projektspezifische Vertragsbestimmungen zu ersetzen.

2 Ausschreibung der Hauptlose

1996 hat die damalige Projektleitung AlpTransit der SBB erkannt, dass die Ausschreibungs- und Vertragsgrundlagen in Hinblick auf die Realisierung dieses einzigartigen Grossprojektes umfassend und vertieft zu regeln sind. Seit April 1997 werden daher mit „Vorgaben für die Ausschreibung“ eigens auf die AlpTransit-Bauvorhaben zugeschnittene Vertragsmuster sowie Hinweise an die Projektverfasser im Sinne eines Drehbuches für die Ausschreibung und den Abschluss von Verträgen bereit gestellt. Damit soll sicher gestellt werden, dass die Ausschreibungs- und Vertragsgrundlagen der ATG möglichst klar und widerspruchsfrei sowie auf dem neusten Stand von Gesetzgebung und Rechtsprechung sind. Mittels Nachträgen zu den Vorgaben für die Ausschreibung wurden allfällige Lücken und Widersprüche richtig gestellt und Neuerungen berücksichtigt.

2.1 Risikoanalyse

Das Risikomanagement der ATG setzte in den frühesten Projektphasen ein. Im Hinblick auf die Beschaffungen analysierte die ATG jeweils die Gefahren und Chancen der Leistungserbringung bezogen auf die Erfüllung der Projektanforderungen (Risikoanalysen). Als Ergebnis werden losspezifische Massnahmen formuliert, welche helfen sollen die Gefahren zu beherrschen oder allfällige Chancen zu nutzen. Die wesentlichsten Anforderungen aus diesen Massnahmen werden in der Submission in Form von auftragspezifischen Eignungs- und Zuschlagkriterien abgebildet.

In der Praxis kann es oft schwierig sein, die Eignungs- und Zuschlagkriterien klar voneinander abzugrenzen. Gerade im Wissen um das formell anspruchsvolle Beschaffungsrecht ist es von grösster Bedeutung, dass die Projektleiter diese Überlegungen rechtzeitig und unter Einbezug der zur Verfügung stehenden Juristen anstellen.

2.2 Eignungs- und Zuschlagkriterien

Mit den Eignungskriterien verlangt die öffentliche Auftraggeberin von den Anbietern, dass sie den Nachweis ihrer finanziellen, wirtschaftlichen und technischen Leistungsfähigkeit erbringen. Den Zuschlag soll nur erhalten, wer zur Ausführung des geplanten Auftrages geeignet ist. Die Eig-

the size of the project, with in some cases diverging, project-specific and well-balanced contractual regulations prior to inviting tenders.

In spite of the good basis that is provided by the Swiss standards, project designers are well advised not to disregard the general conditions for major projects. Individual regulations in the standards may also need to be replaced by divergent, project-specific contractual regulations.

2 Tendering for the Main Lots

In 1996, the AlpTransit project managers at Swiss Federal Railways (SBB) recognised that the tendering and awarding principles needed to be comprehensively and thoroughly regulated for this unique major project. As a result, since April 1997, model contracts applicable for the AlpTransit construction projects were developed as “Specifications for Tendering”, as well as details provided to the project designers as a script for tendering and concluding contracts. It was to be assured in this way that ATG's tendering and awarding principles were as clear and unequivocal as possible, quite apart from being up-to-date for legislative and juridical purposes. Possible gaps and contradictions were rectified, and innovations taken into consideration, through modifications to these specifications.

2.1 Risk Analysis

ATG's risk management was applied from early on. With regard to procurements, in each case ATG analysed the dangers and opportunities of rendering services respecting fulfilment of the project requirements (risk analyses). Measures geared to the individual lots were eventually formulated, which were intended to counter dangers or exploit possible opportunities. The most important requirements from these measures are displayed in the submission in the form of contract-specific suitability and award criteria.

Frequently in practice it can be difficult to clearly separate suitability and award criteria. It is of great significance, particularly in cognisance of procurement legislation, that the project managers tackle these considerations suitably early with the assistance of the legal team that is available.

2.2 Suitability and Award Criteria

With the suitability criteria, the public principal invites the bidders to provide proof of their financial, economic and technical capability. The suitability criteria thus relate to the bidder as an entity, its organisation, personnel, and general technical and financial capability. Through the stated risk analyses, ATG intends to ascertain that bidders provide exactly those proofs of suitability that are needed for the procurement in question. The bidder's suitability is assessed definitively and does not have to be reconsidered when making the award.

nungskriterien beziehen sich deshalb auf die Person des Anbieters, auf dessen Organisation, das Personal und allgemein auf dessen technische und finanzielle Leistungsfähigkeit. Mit den erwähnten Risikoanalysen will die ATG sicherstellen, dass von den Anbietern letztlich genau jene Eignungsnachweise verlangt werden, die für die konkrete Beschaffung erforderlich sind. Die Eignung des Anbieters ist abschliessend zu beurteilen und darf bei der Zuschlagerteilung nicht erneut ins Gewicht fallen.

Erweisen sich mehrere oder alle Anbieter nach Prüfung der Eignungskriterien als geeignet, gilt der Grundsatz, dass das wirtschaftlich günstigste Angebot (nicht zwingend das billigste) den Zuschlag erhält. Was die öffentliche Auftraggeberin hierunter versteht, definiert sich über die wohlüberlegte Auswahl der Zuschlagkriterien. Bei den Zuschlagkriterien handelt es sich um auftragsbezogene Merkmale, die ein Angebot in mehr oder weniger hohem Masse besitzt und die ein Abwägen des wirtschaftlichen Wertes ermöglichen. Anders als die Eignungskriterien beziehen sich die Zuschlagkriterien nicht auf die Person des Anbieters sondern auf das Angebot selber.

Welche Zuschlagkriterien für eine konkrete Beschaffung massgebend sind, entscheidet die ATG vor jeder Ausschreibung und gibt diese Kriterien unter Einschluss ihrer Gewichtung, allfälliger Unterkriterien und der Beurteilungsmatrix den Anbietern bekannt.

Die öffentliche Auftraggeberin bleibt an die von ihr aufgestellten Eignungs- und Zuschlagkriterien gebunden. Nach Eingang der Offerten beurteilt die ATG die Anbieter deshalb einzig nach diesen Eignungskriterien und ermittelt das wirtschaftlich günstigste Angebot ausschliesslich nach den mit der Ausschreibung festgelegten Zuschlagkriterien unter Einschluss der bekanntgegebenen Subkriterien und Gewichtung. Diese Verpflichtung führte dazu, dass Aufträge mitunter auch an ausländische Konsortien vergeben wurden, selbst wenn dies durch schweizerische Medien oder Interessenvertreter teilweise öffentlich kritisiert wurde.

2.3 Risikoabgrenzung Bauherr – Unternehmer

Untertagbauten sind im Gegensatz zu vielen anderen Ingenieurbauwerken deshalb speziell, weil die Eigenschaften des wesentlichsten Baumaterials, nämlich des Baugrundes, oft nur teilweise bekannt sind und einer Variation auf kürzeste Distanz unterworfen sind. Untertagbauten weisen deshalb entsprechende Restrisiken auf.

Im Sinne der Optimierung der Gesamtkosten eines Projektes sollten die Kosten zur Risikobewältigung minimiert werden. Dazu gehört auch eine faire Risikoverteilung mit welcher verhindert werden soll, dass einer oder beide Vertragspartner übermässige Rückstellungen für die Risiken tätigen muss (Bild 1).

Die Norm SIA 118/198 (für den Gotthard-Basistunnel galt noch die Norm SIA 198 (Ausgabe 1993) mit analogen Be-

Should some or all of the bidders emerge as suitable after assessing the suitability criteria, the principle applies that the economically most favourable offer (not necessarily the cheapest offer) is accepted. How this is actually interpreted by the public principal is defined by the well-considered choice of award criteria. The award criteria relate to contract-related characteristics possessed by an offer, which to a greater or lesser extent enable the economic value to be assessed. In contrast to the suitability criteria, the award criteria do not relate to the bidder as an entity but to the offer itself.

Prior to each tender, ATG decides which award criteria are essential for the procurement in question, and announces these criteria to the bidders, taking their weighting, possible sub-criteria, and evaluation matrix into consideration.

The public principal remains bound by the suitability and award criteria that it has established. Once the offers have been received, ATG therefore assesses the bidders solely according to these suitability criteria, and establishes the economically most favourable offer only in keeping with the award criteria determined in the tender, including the announced sub-criteria and weighting. This commitment led to contracts also being awarded to foreign consortia, even though this was in some cases publicly criticised by Swiss media and interest groups.

2.3 Defining the Principal – Contractor Risk

In contrast to many other civil engineering structures, underground structures are special because the properties of the most essential construction material, namely the ground, are often only partially known and can vary considerably over a very short distance. As a consequence, underground structures entail corresponding residual risks.

In the interests of optimising the overall costs of a project, the costs for overcoming risks should be minimised. This also includes allocating risks fairly, thus making it unnecessary for one or other of the contracting partners to provide excessive reserves to cover the risks (Fig. 1).

SIA Standard 118/198, (SIA Standard 198 (1993 edition) with similar wording still applied for the Gotthard Base Tunnel), contains contractually binding stipulations on the demarcation of risks between the principal and the contractor, which are applied if no other contractual agreement is reached. Regulation of the standard is oriented to what is largely common practice in international terms. This signifies that the ground conditions lie outside the contractual limits of the principal's risk area, whilst the applied means and methods, as well as the ground behaviour, belong to the contractual limits of the contractor.

Together with the general regulation that the principal is held liable for providing false information about the ground, and the contractor is entitled to additional remuneration, (SIA Standard 118, Art. 58, Para. 2), fortunately so far in Switzerland, thanks to



1 Risiken gemeinsam tragen – faire Risikoabgrenzung [1]
 Bearing risks jointly – fair demarcation of risks [1]

stimmungen) enthält vertragsrechtliche Bestimmungen zur Risikoabgrenzung zwischen Bauherr und Unternehmer, welche zur Anwendung kommen, falls keine anderweitige vertragliche Abrede getroffen wird. Die Normregelung orientiert sich am international weitgehend gebräuchlichen Ansatz, wonach Baugrundverhältnisse ausserhalb der vertraglichen Grenzen im Risikobereich des Bauherrn liegen, die eingesetzten Mittel und Methoden sowie das Verhalten des Baugrundes innerhalb der vertraglichen Grenzen zum Risikobereich des Unternehmers gehören.

Zusammen mit der generellen Regelung, dass mangelhafte Angaben über den Baugrund dem Bauherrn als Verschulden anzurechnen sind und dem Unternehmer einen Anspruch auf zusätzliche Vergütung geben (Norm SIA 118, Art. 58 Abs. 2), kann bei vernünftiger Anwendung dieser Bestimmungen in der Schweiz bis heute glücklicherweise von radikalen Rechtsfiguren wie dem „gestörten Bauablauf“ Abstand genommen werden [2].

2.4 Vergütungsmodell Einheitspreisverträge

Die Norm SIA 118, Art. 5, verpflichtet den Bauherrn dem Unternehmer seine Projektidee hinreichend klar zu übermitteln. Nebst einer umfassenden Darstellung sämtlicher Projekttrandbedingungen (örtliche Gegebenheiten, Erschliessung, Baugrundverhältnisse etc.), müssen die auszuführenden Leistungen eindeutig definiert sein.

Für Untertagbauten ergibt sich die Schwierigkeit, dass auf Grund der Ungewissheit über den Baugrund und sein Verhalten die effektiv eingesetzten Mittel nicht genau vorhergesagt werden können. Die Schlussumasse weichen in der Regel von den Vorausmassen ab.

Diese Tatsache verlangt nach Vertragsformen, welche in der Lage sind, zusätzliche Massnahmen, geänderte Mengen und

the sensible application of these regulations, there has been no need to be concerned with radical legal situations such as the so-called “disturbed construction process” [2].

2.4 Remuneration Model: Unit-price Contracts

SIA Standard 118 Art. 5 requires the principal to submit his project idea to the contractor in a clearly understandable manner. Besides a comprehensive presentation of all general conditions of the project (local conditions, development, ground conditions, etc.), the required services must also be unequivocally defined.

There is the problem for underground structures that, owing to the uncertainty pertaining to the ground and its behaviour, it is impossible to precisely predict the actually employed means. The final quantities usually differ from the quantities that were originally forecast.

This fact makes contractual forms necessary that are capable of mapping out additional measures, changed quantities, and altered construction times in a comprehensible fashion for all those involved. The unit-price contract has turned out to be the best-suited contract model in this respect. It represents the standard solution for non-trivial ground conditions in Switzerland.

Unit-price contracts are highly flexible and enable changing conditions to be reacted to swiftly in a suitable way, without involving protracted contractual discussions. Global contracts, on the other hand, are only suitable for straightforward, well-known ground conditions.

2.5 ATG Position on Alternatives Proposed by the Contractor

In the course of the tendering process, the principal must determine its position vis-à-vis contractors’ alternative pro-

geänderte Bauzeiten für alle Beteiligten nachvollziehbar abzubilden. Als diesbezüglich bestgeeignetes Vertragsmodell hat sich der Einheitspreisvertrag erwiesen, welcher in der Schweiz bei nicht trivialen Baugrundverhältnissen die Standardlösung ist.

Einheitspreisverträge (EH-Preisverträge) weisen eine hohe Flexibilität auf und erlauben es in geeigneter Weise rasch auf veränderte Verhältnisse zu reagieren, ohne gleich in langwierige Vertragsdiskussionen zu verfallen. Globalverträge sind demgegenüber nur für einfache, gut bekannte Baugrundverhältnisse geeignet.

2.5 Haltung ATG zu Unternehmervarianten

Im Zuge der Ausschreibung muss der Bauherr seine Haltung gegenüber Unternehmervarianten festlegen. Aus ihren Risikoüberlegungen heraus hat sich die ATG Unternehmervarianten gegenüber offen und interessiert gezeigt [3]. Naturgemäß lassen die Projektparameter eines Eisenbahntunnels

posals. ATG indicated that it was open to, and interested, in such alternatives based on consideration of the risks [3]. It goes without saying that the project parameters of a railway tunnel leave little room for manoeuvre for genuine project alternatives. However, alternatives were permitted in relation to execution (e.g. alternative driving methods or mucking concepts) as well as financial alternatives (e.g. global-price offers instead of unit prices), provided that no essential general conditions were violated, and such alternatives were thoroughly welcomed even if the principal found itself exposed and unfairly criticised by the public, as in the lawsuit in conjunction with commissioning of the Erstfeld tunnel section.

2.6 Outcome of the Submission Competition

The result of the submission competition confirmed that the open position adopted by the principal was the correct one, since contractors' alternatives were accepted in half of the main lots and ultimately successfully accomplished (Table 1).

Bezeichnung / Description		Amtslösung oder Variante / Official solution or alternative	Ursprüngliches Angebot [Mio. CHF] / Original offer [CHF million]
Los / Lot	Tunnel		
151	Erstfeld	Finanzielle Variante (global) / Financial alternative (global)	421
252	Amsteg	Amtslösung / Official solution	628
360	Sedrun	Amtslösung / Official solution	1160
452	Faido	Ausführungsvariante Loskombination /	1466
554	Bodio	Alternative execution Combined contract section	

Table 1 Ergebnis des Submissionswettbewerbs für die Hauptlose am GBT

Table 1 Result of the submission competition for the GBT's main lots

wenig Spielraum für echte Projektvarianten. Dort, wo keine zwingenden Randbedingungen verletzt werden, waren aber Ausführungsvarianten (z.B. alternative Vortriebsmethoden oder Schutterkonzepte) oder finanzielle Varianten (z.B. Globalpreisangebote anstelle von Einheitspreisen) zugelassen und durchaus willkommen, auch wenn die Bauherrschaft hierdurch angreifbar (Gerichtsverfahren bei der Vergabe der Bauarbeiten Tunnel Erstfeld) und in der Öffentlichkeit teilweise unhaltbar kritisiert wurde.

2.6 Ergebnis des Submissionswettbewerbs

Das Ergebnis des Submissionswettbewerbs hat die Richtigkeit der offenen Bauherrenhaltung bestätigt, kamen doch in der Hälfte der Hauptlose Unternehmervarianten zum Zug, welche schliesslich erfolgreich realisiert wurden (Table 1).

3 Vertragsmanagement in der Praxis

Das Vertragsmanagement erschöpft sich nicht in der sorgfältigen Auswahl der Auftragnehmer und im Abschluss

3 Contract Management in Practice

Contract management does not cease with the careful selection of the contractors and the conclusion of legally optimised contracts. Even the best-worded agreements cannot prevent disputes arising with the responsible contractors in the case of such a large project, on account of its duration, quite apart from deviating from the assumptions on which it was originally based. Consequently, contract management also involves influencing how the contract is handled and ultimately fulfilled.

As far as dealing with the contract is concerned, ATG has the definitive aim of consistently pursuing the contractual fulfilment of services. This is arrived at through consistent contract management at all levels. During the course of the project, the responsible local construction managers, as well as the principal's teams, must deal with amendments to the contract resulting from geological deviations, alterations to the project, or additional stipulations, as well as (to be avoid-

rechtlich optimierter Verträge. Selbst bestens redigierte Vertragswerke können nicht verhindern, dass es bei einem derart grossen Projekt aufgrund dessen Dauer sowie aufgrund von Abweichungen zu den ursprünglich zugrunde gelegten Annahmen zu Auseinandersetzungen mit den beauftragten Unternehmern kommen kann. Vertragsmanagement bedeutet deshalb auch Einflussnahme auf die Umsetzung und somit letztlich Durchsetzung des Vertrages.

Die ATG hat in Bezug auf die Vertragsabwicklung das eindeutige Ziel, die vertragliche Leistungserfüllung konsequent durchzusetzen. Erreicht wird dies durch konsequentes Vertragsmanagement auf allen Stufen. Die beauftragten örtlichen Bauleiter wie auch die Kader des Bauherrn mussten sich im Laufe des Projekts nicht nur mit Vertragsanpassungen infolge geologischer Abweichungen, Projektänderungen oder zusätzlicher Auflagen sowie mit (möglichst zu vermeidenden) Bestellungsänderungen, sondern in vermehrtem Masse auch mit der Behandlung von Nachforderungen (Claims) auseinandersetzen.

Nebst der geforderten Prävention (durch rechtzeitige Einflussnahme) bedeutet Vertragsabwicklung im Teilbereich des sogenannten Claim-Managements die Übernahme der Führung zwecks korrekter Behandlung von Forderungen. Als öffentliche aber auch unternehmerisch handelnde Auftraggeberin konzentriert sich die ATG hierbei nicht nur auf die Abwehr ungerechtfertigter Forderungen der Auftragnehmer, sondern ebenso sehr auf die Durchsetzung eigener Forderungen wegen Terminverzögerungen, Kostenüberschreitungen und Mangelfolgeschäden.

3.1 Einheitspreisverträge

3.1.1 Generelle Erfahrungen mit den Einheitspreisverträgen

Einheitspreisverträge setzen ein Leistungsverzeichnis voraus, in welchem die einzelnen Leistungen, aus denen sich die ausgeschriebenen Bauarbeiten zusammensetzen, übersichtlich und vollständig aufgeführt sind. Das Verzeichnis beschreibt jede Leistung unter Angabe von Materialqualitäten und voraussichtlichen Mengen und verweist auf das Bestehen allfälliger objektbedingter Bestimmungen.

Für Grossprojekte wie den Gotthard-Basistunnel ergeben sich pro Teilabschnitt Leistungsverzeichnisse mit über 10 000 Positionen. Die Anwendung der grossen Zahl an Leistungspositionen war grundsätzlich klar und transparent. Jeder Position ist die zugehörige Preisart (Einheitspreis, Globalpreis, Pauschalpreis) zugeordnet.

Eine Eigenheit der Einheitspreisverträge des Bauwesens ist die Tatsache, dass ein Teil der Leistungspositionen als Globalen anzubieten sind. Dabei handelt es sich meistens um die Vergütung von Installationen, Geräten und rückwärtigen Diensten für die Dauer der vertraglich vereinbarten Bauzeit. Bauzeitveränderungen werden über sogenanntes „längeres“ bzw. „kürzeres“ Vorhalten ebenfalls als zeitabhän-

ged if possible) changes to orders, quite apart from handling claims, to an ever increasing extent.

Apart from the necessary prevention (by taking timely action), in the sub-area of claims management, processing the contract also signifies taking the lead to ensure that claims are dealt with properly. ATG as a principal, but one that also acts an entrepreneur, concentrates in this case on fending off unjustified claims presented by the contractors, quite apart from persisting in the enforcement of its own claims relating to scheduling delays, excessive costs and subsequent flaws.

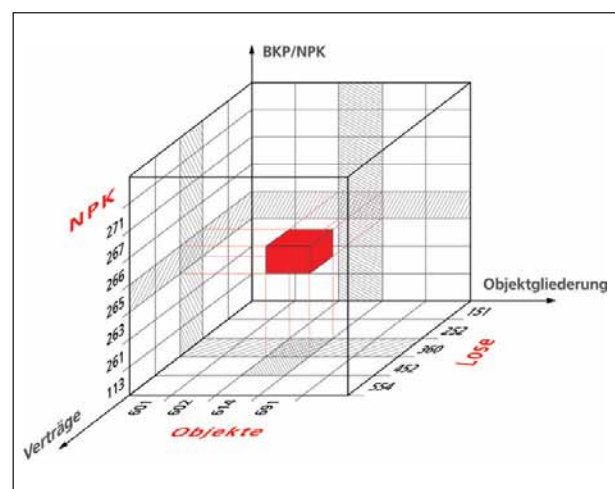
3.1 Unit-price Contracts

3.1.1 General Experience with Unit-price Contracts

Unit-price contracts are based on a list of services, in which the individual services, constituting the required construction work, are clearly set down in complete detail. The list describes each service by specifying the material qualities and foreseeable quantities, and points to possible regulations that may exist that govern the object in question.

For major projects like the Gotthard Base Tunnel (GBT), lists of services are drawn up that may contain in excess of 10,000 positions per section. The application of the large number of service positions was essentially clear and transparent. Each position is allocated to the relevant type of price (unit price, global price, all-inclusive price).

A unique aspect of unit-price contracts for the construction industry is that a portion of the service positions must be offered globally. These normally relate to reimbursement for installations, equipment and ancillary services for the duration of the contractually agreed construction period. Alterations to the construction time are reimbursed as time-related global prices via so-called "longer" or "shorter" allowances. These global positions account for a large part of the time-related components of services rendered. For the major contracts on the GBT, the share of costs for installations, equipment and ancillary services amounted to more than 40 % (Fig. 2).



2 Kostengliederung im Einheitspreisvertrag
Cost classification in the unit-price contract

gige Globalen abgegolten. Diese Globalpositionen erfassen einen Grossteil der zeitabhängigen Komponente der Leistungserbringung. Bei den grossen Verträgen am GBT betrug der Kostenanteil für Installationen, Geräte und rückwärtige Dienste über 40 % (Bild 2).

Die Erfahrung am GBT hat gezeigt, dass Abweichungen bei den mengenabhängigen Positionen wenig Interpretationsspielraum offen liessen. Diese Tatsache ist unter anderem dadurch bedingt, dass in den Verträgen unter Anwendung von Art. 86 SIA 118 geregelt war, dass die Einheitspreise ungeachtet des effektiven Ausmasses unverändert bleiben, weil die Installationen in gesonderten Positionen vergütet werden.

Anders waren die Erfahrungen jedoch bezüglich der Abbildung der zeitabhängigen Kosten (Installationspositionen). In der Angebotsphase sahen sich 2 von 3 Unternehmern aus ihren Risikoüberlegungen heraus veranlasst, in ihren Angeboten die Leistungen für die rückwärtigen Dienste in eigens geschaffenen Globalpositionen im Umfang von jeweils über 100 Mio. CHF zu offerieren. Nicht ganz unerwartet drehten sich dann in der Ausführungsphase die Vertragsdiskussionen primär um den Umgang mit den zeitabhängigen Kosten.

Aus diesen Erfahrungen heraus wäre es angezeigt, diesbezüglich verbesserte Vergütungsmodelle zu entwickeln, welche Risiken des Bauherrn und des Unternehmers aus der Variation der Bauzeit transparenter erfassen. Attraktiv wären beispielsweise Modelle, bei denen der Unternehmer bei Unterschreitung der werkvertraglich vereinbarten Termine eine faire Chance auf einen erhöhten Gewinn hätte. Solche Überlegungen wurden am Gotthard-Basistunnel im Rahmen der Sondierkampagne Piora und in Hinblick auf die Ausschreibung des Nordvortriebs in Sedrun ins Auge gefasst. Im Fall Piora kam es zur Umsetzung, während ein solches System für Sedrun wegen mangelnder Erfahrung bezüglich Integration ins schweizerische Vertragsrecht und Normenwesen fallen gelassen wurde. Der Versuch sollte gewagt werden, die damaligen Ansätze wieder aufzunehmen und verbessert umzusetzen.

Trotz dieser Anmerkungen kann rückblickend festgestellt werden, dass sich die Einheitspreisverträge als wirkungsvolle Instrumente, gerade auch im Umgang mit stark geänderten Randbedingungen erwiesen haben.

3.1.2 Bestellungsänderungen in den Einheitspreisverträgen

Mit 3 Hauptvertragspartnern wurden am GBT 4 grosse Werkverträge (welche je 3 Einzellote und 1 Doppellos umfassten) abgewickelt (Bild 3).

Wie bei anderen Grossprojekten, waren auch am Gotthard-Basistunnel Nachträge zu den Werkverträgen ein Dauerthema, sei es aus Bestellungsänderungen des Bauherrn oder aber aus nachweislich anspruchsberechtigten Forderungen

Experience on the GBT showed that deviations from the quantity-related positions left little room for manoeuvre. This was due, among other things, to the fact that the contracts were regulated by applying Art. 86 of SIA 118, which states that the unit prices remain unchanged regardless of the effective extent, because the installations are reimbursed in separate positions.

However, the experience with time-related costs (installation positions) was different. At the tendering stage, two of three contractors, based on their risk considerations, had the positions for ancillary services listed in specially created global positions, amounting in each case to more than CHF 100 million, included in their offers. Not surprisingly, during the execution phase, discussions relating to the contract centred primarily on how to deal with the time-related costs.

Based on these findings, it seems imperative to devise improved reimbursement models in this respect, which more transparently encompass the risks of the principal and the contractor from the variation of construction time. For instance, models enabling the contractor to receive a fair opportunity of greater profit by undershooting the contractually agreed deadlines would be attractive. Such considerations were contemplated on the Gotthard Base Tunnel in conjunction with the Piora exploratory campaign and for the tender for the north drive at Sedrun. They were put into practice in the case of Piora, whereas such a system was discarded for Sedrun on account of a lack of experience with respect to its incorporation into Swiss contract law and standards. The attempt should be made to take up these approaches once again, and put them into practice more effectively.

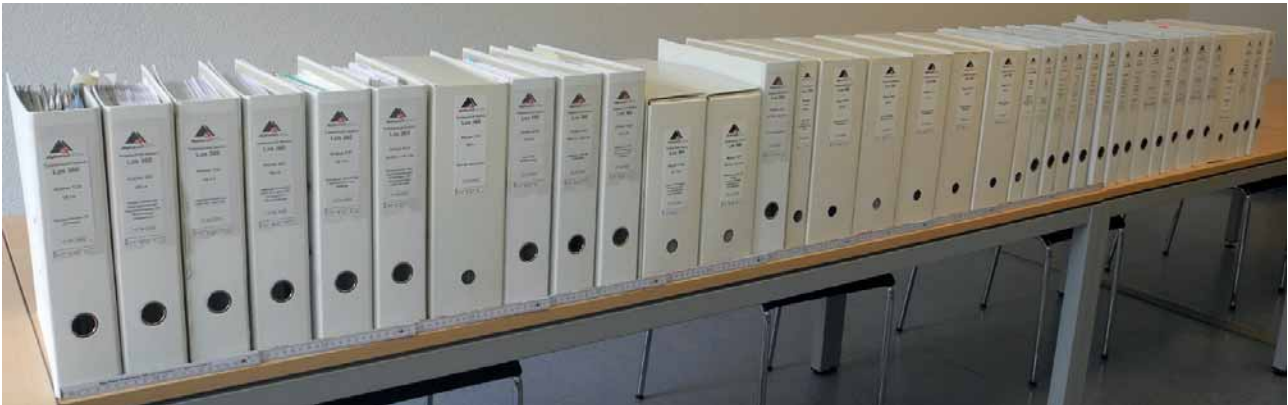
In spite of these remarks, it can be said in retrospect that unit-price contracts turned out to be effective instruments, especially in dealing with greatly changing general conditions

3.1.2 Changes to Orders in Unit-price Contracts

On the GBT, four major work contracts (each of which embraced three individual lots and one combined lot) were executed with three main contract partners (Fig. 3).

As in the case of other major projects, modifications to the work contracts were a constant theme on the Gotthard Base Tunnel as well, whether changes to orders on the part of the principal were concerned, or on account of justifiable claims by the contractor. Justification was, on the one hand, attributable to deviations from the predicted ground conditions, and on the other, to project adjustments that resulted externally.

On the five main lots of the Gotthard Base Tunnel, 331 contract modifications (as of December 31, 2012) led to an order volume of CHF 1,425 million (Table 2). In the process, the order sum rose from an original CHF 3,675 million to CHF 5,141 million. CHF 1,425 million of the total cost-in-



3 Originalvertrag eines Hauptloses (oben) und aktualisierter Vertrag inkl. Nachträge bis Mitte 2012 (unten)
Original contract for a main lot (above) and updated contract including modifications to mid-2012 (below)

des Unternehmers. Die Anspruchsberechtigung lag zum Einen in Abweichungen von den prognostizierten Baugrundverhältnissen, zum Anderen aber auch in extern verursachten Projektanpassungen.

An den 5 Hauptlosen des Gotthard-Basistunnels führten 331 Vertragsnachträge (Stand 31. Dezember 2012) zu einem Bestellvolumen von 1425 Mio. CHF (Tabelle 2). Die Bestellsumme stieg dabei von ursprünglich 3675 Mio. CHF auf 5141 Mio. CHF an. 1425 Mio. CHF der totalen Kostensteigerung von 1466 Mio. CHF entfielen auf die Einheitspreisverträge, 41 Mio. CHF auf Bestellungsänderungen beim Globalvertrag (Bild 4).

Die Bandbreite der Nachträge umfasste das gesamte Spektrum von sogenannten „Nullnachträgen“ (administrative Anpassungen des LV mit Bestellwert 0.- CHF) bis hin zu komplexesten Grossnachträgen mit Bestellsummen über 100 Mio. CHF, welche zur Bewältigung der Ereignisse im Teilabschnitt Faido oder bei der Losgrenzenverschiebung Sedrun/Faido notwendig wurden. Für 1387.5 Mio. CHF konnte die Einigung auf dem Baustellenweg erzielt werden. 37.5 Mio. CHF der Zusatzbestellungen basieren auf Empfehlungen der Streitschlichtergremien (Kapitel 3.4).

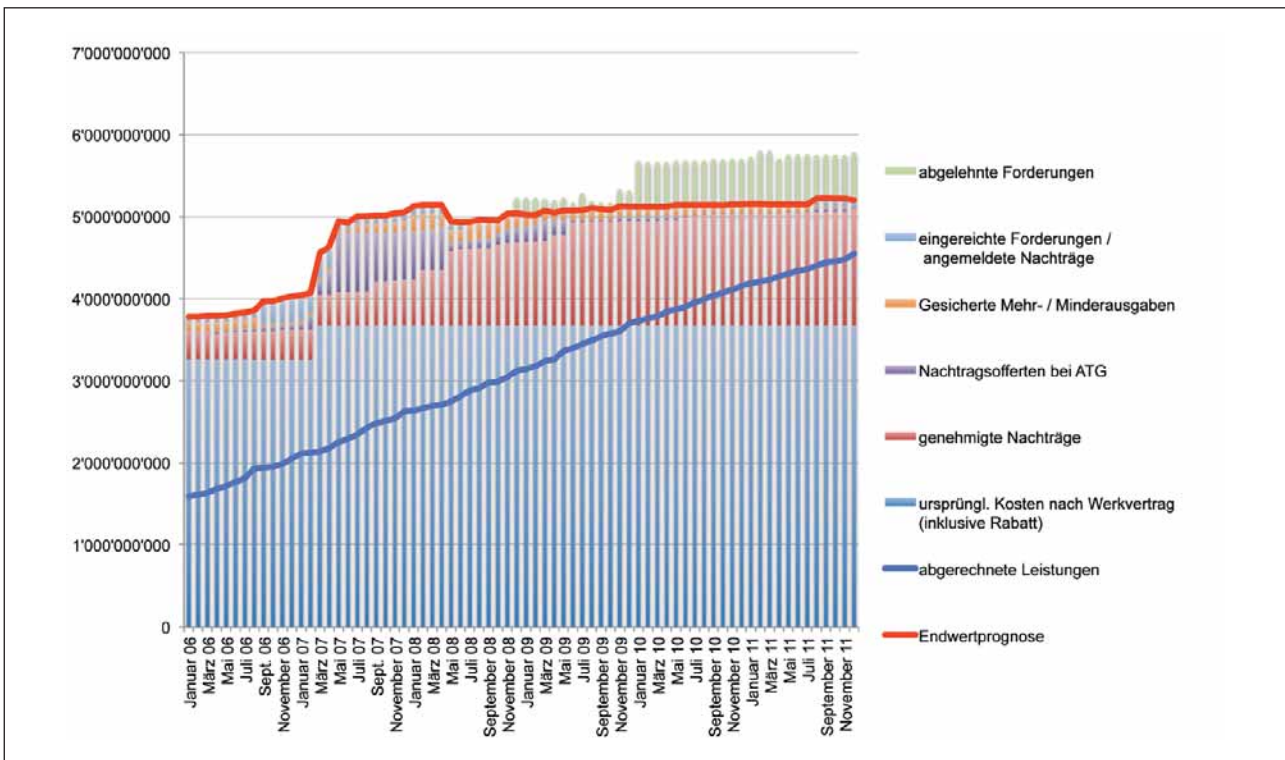
Das Vorhandensein einer nachvollziehbaren, für beide Seiten einsehbaren Kostengrundlage war eine wesentliche Stütze für die Erarbeitung der notwendigen Ergänzungen zum Leistungsverzeichnis. Vom vertraglich vereinbarten Einsichtsrecht des Bauherrn in die bei einem Notar hinterlegte Urkal-

crease of CHF 1,466 million was accounted for by unit-price contracts, CHF 41 million by changes to orders for the global contract (Fig. 4).

The scope of the modifications encompassed the entire scale of so-called "zero modifications" (administrative adjustments to the list of services (LV) with order value CHF 0.0) right up to highly complex major modifications involving order sums exceeding CHF 100 million, which were required to tackle the incidents in the Faido section or for relocating the Sedrun/Faido section boundary. Agreement was reached on-site for CHF 1,387.5 million. CHF 37.5 million for additional orders were based on recommendations made by the arbitration bodies (Chapter 3.4).

The presence of a comprehensible cost basis, to which both sides could refer, represented an important aid for working out the necessary amendments to the list of services. There was scarcely any need to refer to the original estimate that was deposited with an attorney, as the principal was contractually entitled to do. However, the fact that the principal and his representatives were entitled to do so, meant that the discussion on the principles for the estimate became far more objective.

The restrictions posed by a rigid framework of numbering for the standard cost estimates (NPK) restricted the scope for manoeuvring to formulate modifications, which led to difficulties in some cases. It would be worthwhile to develop the standard regulations further, taking the requirements of major projects into account.



4 Kostenentwicklung Hauptverträge von 2006 bis Ende 2011 (Preisbasis jeweiliger Vertrag)
 Development of costs for major contracts from 2006 to late 2011 (price basis for each contract)

Bezeichnung / Description		Mutmassliche Endkosten [Mio. CHF] / Estimated final costs [CHF million]	Ursprüngliches Angebot [Mio. CHF] / Original offer [CHF million]
Los / Lot	Tunnel		
151	Erstfeld	462	421
252	Amsteg	655	628
360	Sedrun	1606 *)	1160
452	Faido	2418	1466
554	Bodio		
Total (Stand Ende 2012 / at the end of 2012)		5141	3675

*) Inkl. Kostenfolgen aus Losgrenzenverschiebung / incl. resultant costs from relocating the section boundary

Table 2 Kostenentwicklung der Hauptverträge
 Table 2 Cost Development of the Main Contracts

kulation musste zwar kaum Gebrauch gemacht werden. Alleine die Möglichkeit zur Einsichtnahme durch den Bauherrn und seine Vertreter hat jedoch geholfen, die Diskussion über die Kalkulationsgrundlagen wesentlich zu versachlichen.

Die Restriktionen des starren Nummerierungsrahmens des NPK schränkten die Handlungsoptionen insbesondere bei der Formulierung von Nachträgen ein und führten teilweise zu Schwierigkeiten. Eine Weiterentwicklung der Standardregelungen unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von Grossprojekten wäre lohnenswert.

3.2 Globalvertrag
 3.2.1 Ausgangslage

Das Los 151 Tunnel Erstfeld war der letzte Tunnelabschnitt, der am GBT ausgeschrieben wurde. In den anderen Tun-

3.2 Global Contract
 3.2.1 Starting Position

Lot 151, Erstfeld Tunnel, was the last section of the GBT for which tenders were invited. The drives in the other tunnel lots had been running successfully for years. The Erstfeld gneiss rock series, which was the sole in situ variety according to the geological prognosis, was well known from other tunnelling projects in this area, and was regarded as unproblematic for constructional purposes. A TBM drive was called for as excavation method, on account of the danger of impermissible vibrations caused by blasting occurring in the nearby town of Erstfeld.

Against this background, the Gotthard Base Tunnel North (AGN) consortium put forward a contractor’s proposal citing a global price and exactly the same project conditions

nellosen liefen die Vortriebe bereits seit mehreren Jahren erfolgreich. Die gemäss geologischer Prognose ausschliesslich vorkommende Gesteinsserie der „Erstfelder Gneise“ war auf Grund anderer Untertagbauwerke in diesem Gebiet bereits sehr gut bekannt und galt als bautechnisch problemlos. Für das Tunnelos Erstfeld war als Vortriebsmethode wegen der Gefahr unzulässiger Sprengerschütterungen im nahegelegenen Dorf Erstfeld zwingend ein TBM-Vortrieb vorgeschrieben.

Vor diesem Hintergrund offerierte die ARGE Gotthard-Basistunnel Nord (AGN) neben der Amtslösung eine Unternehmervariante mit „Globalpreis“ und den exakt gleichen Projektbedingungen wie die Amtslösung. Begründet wurde dieses Angebot u.a. mit der Tatsache, dass „exakt definierte Projektandbedingungen und vor allem eine klar beschriebene Projektgeologie (Baugrundanalyse), die das Erfassen der Baugrundrisiken durch den Unternehmer ermöglichen, das Anbieten eines „Globalpreises“ zulassen“ [Zitat aus dem UN-Angebot].

Die Unternehmervariante „Globalpreis“ erwies sich nach sorgfältiger Prüfung durch den Bauherrn als das wirtschaftlich günstigste Angebot. Nach einer hart geführten Auseinandersetzung um diese Vergabe erfolgte schliesslich der Zuschlag an den Unternehmer mit der Variante Globalangebot. Im Gefolge des Vergabestreits Erstfeld wurde von der Politik empfohlen, bei ähnlichen Projekten künftig keine Globalofferten mehr zu akzeptieren [4].

3.2.2 Erforderliche Anpassungen im Vertrag

Gegenüber einem konventionellen Einheitspreisvertrag erforderte die Variante „Globalpreis“ verschiedene Anpassungen an Vertragsdokumenten, um klare Verhältnisse sowohl bezüglich der Verantwortlichkeiten, z.B. festlegen der Ausbruchssicherung, als auch bezüglich der inbegriffenen Leistungen zu schaffen. Diese sorgfältige Überprüfung und Bereinigung im Rahmen der Vertragsverhandlungen verursachte zwar einiges an Aufwand, war aber eine wichtige Basis für die spätere erfolgreiche und friktionslose Vertragsabwicklung.

Die wichtigsten Anpassungen betrafen folgende Themen:

- Anpassung der Zuordnung der Geologischen Risiken: Solange der Vortrieb die tektonische Einheit „Erstfelder Gneis“ durchfährt, liegt das ganze Risiko inkl. Überprofil beim Unternehmer, unabhängig von der Beschaffenheit des Gesteins und der Art und Anzahl Störzonen.
- Abgrenzung des Leistungsumfangs mittels einer abschliessenden Liste von Fällen, die nicht in der Globalofferte enthalten sind: Projektänderungen durch die Bauherrschaft; Übernahme von Installationen durch die Bauherrschaft oder Vorhalten von Installationen zu Gunsten der Bauherrschaft über die vertragliche Bauzeit hinaus; Änderung des Baugrundes im Sinne der geänderten Risikoanordnung; Besondere Verhältnisse im Sinne SIA 118.
- Erstellen einer Einheitspreisliste als Basis für die Kalkulation und Bewertung von Zusatzleistungen ausserhalb der Globalen.

as the official solution. This offer was substantiated, among other things, by the fact that "exactly defined general project conditions, and above all, clearly described project geology (ground analysis), which enabled the ground risks to be determined by the contractor, permitted a global price to be offered" (quotation from the contractor's offer).

After it was carefully scrutinised by the principal, the global-price contractor's alternative turned out to be the economically most favourable offer. Following a hard-fought battle over this issue, it was finally awarded to the contractor offering the global alternative. As a follow-up to the dispute over the Erstfeld award, politicians recommended that global offers should not be accepted for similar projects in the future [4].

3.2.2 Necessary Adjustments to the Contract

The global-price alternative required various adjustments to the contract documents compared to a conventional unit-price contract. These were essential to create clear relationships both with regard to responsibilities, e.g. determining the post-excavation support, as well as the services that were included. Although careful scrutiny and clarification within the scope of the contract negotiations caused a certain amount of trouble, it was still an important basis for subsequently successfully executing the contract without friction.

The most important adjustments related to the following topics:

- Adjusting the allocation of the geological risks: As long as the drive passes through the Erstfeld gneiss tectonic unit, the entire risk including overbreak lies in the hands of the contractor, regardless of the composition of the rock and the nature and number of fault zones.
- Restricting the extent of services through a conclusive list of cases, not contained in the global offer: Project changes by the principal: acceptance of installations by the principal, or holding installations for the benefit of the principal beyond the contractual construction period; change to the ground in keeping with altered risk allocation; special relationships according to SIA 118.
- Creation of a unit-price list as the basis for calculating and evaluating additional services outside the global contract.
- Dealing with standard services, definition of the services contained in the global offer: customary additional work commissioned by the principal is regarded as scheduled work. This is included in the global contract. Order changes (project alterations/adjustments) are not included that influence the construction process and programme.
- Precisely defining the authority to make decisions for agreeing on the post-excavation support and the arrangement of additional/ancillary measures for construction, for example drilling and injections: agreement is reached inter partes, with the local construction management having the casting vote.

- Umgang mit Regieleistungen, Definition der in der Globalen inbegriffenen Leistungen: Als Regiearbeiten gelten übliche, ergänzende Arbeiten auf Anordnung der Bauherrschaft. Diese sind in der Globalen enthalten. Nicht eingerechnet sind Bestellungsänderungen (Projektänderungen/-anpassungen) mit Einfluss auf den Bauvorgang und das Bauprogramm.
- Präzisierung der Entscheidungskompetenz für die Festlegung der Ausbruchsicherung und die Anordnung von Zusatz-/Bauhilfsmassnahmen wie z.B. Bohrungen und Injektionen: Festlegung erfolgt kontradiktorisch mit Stichentscheid bei der örtlichen Bauleitung.

3.2.3 Bestellungsänderungen im Globalvertrag

Dank der vorgenommenen Präzisierungen und Ergänzungen im Werkvertrag und der hohen Übereinstimmung von Geologischem Befund und Prognose ist es während der ganzen Vertragslaufzeit nur zu 2 Bestellungsänderungen gekommen. Die erste betraf eine von der SUVA geforderte höhere Qualität der Förderbandgurte (neu selbstverlöschend). Die zweite umfasste eine Vergleichsvereinbarung über diverse Zusatzmassnahmen und Projektänderungen als Folge ausservertraglich hoher Wasserzutritte und für terminsichernde Massnahmen zur Sicherstellung des vom Bauherrn um 1 Jahr vorgezogenen IBS-Termins 2016.

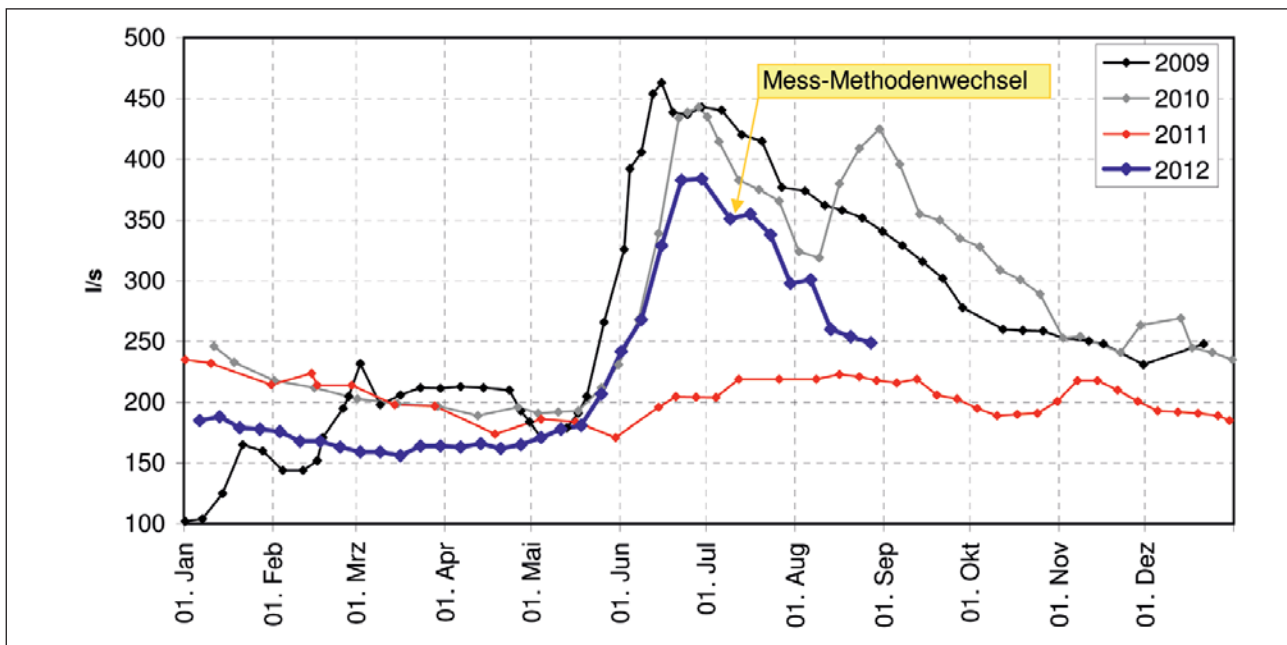
Ausgangspunkt der Vergleichsvereinbarung waren die unerwartet hohen Bergwasserzutritte im Vortrieb Tunnel Erstfeld, die mit bis 460 l/s Gesamtwasserzutritt beinahe 5 mal höher waren als der werkvertraglich vereinbarte Prognosewert von 100 l/s. Diese grossen Bergwassermengen erforderten nicht nur diverse bauliche Zusatzmassnahmen für das Fassen, Drainieren und Ableiten des Bergwassers sowie Mehraufwendungen bei der Bauausführung (z.B. Pumpbetrieb), son-

3.2.3 Order Changes in the Global Contract

Thanks to the detailed definitions and modifications in the work contract, and the high degree of accordance between the actual geological conditions and prognosis, only two order changes were made during the entire duration of the contract. The first concerned a higher quality of conveyor belts (new: self-extinguishing) as demanded by the Swiss Accident Insurance Fund (SUVA). The second related to a settlement pertaining to various additional measures and project alterations owing to non-contractually high water-ingresses and deadline-securing measures to safeguard the 2016 scheduled opening date, which was brought forward a year by the principal.

The starting point for the settlement were the unexpectedly high groundwater ingresses in the Erstfeld tunnel drive, which, with 460 l/s, were practically five times higher than the predicted value of 100 l/s that was agreed in the work contract. These large amounts of groundwater called for various additional construction measures to collect, drain and remove the groundwater, as well as additional costs for performing work (e.g. pump operation), quite apart from leading to substantial changes to the project. This affected the underground branchoff structure, which is located precisely in the zone with the greatest ingresses of water. In order to comply with the water-tightness demands required by the principal, a switch had to be made during construction from a single-shell shotcreting method to a two-shell in situ concrete support. This exerted correspondingly large effects on costs and schedules (Fig. 5).

All of the contractor's claims were calculated or estimated on the basis of the unit-price list (work-contract component). This enabled the local construction management to exercise relatively straightforward and objective control. Once the ex-



5 Unerwartete Wasserzutritte in Erstfeld ab 2009
Unexpected water ingresses at Erstfeld from 2009

den führten auch zu einer massgeblichen Projektänderung. Diese betraf das unterirdische Verzweigungsbauwerk, welches sich genau in der Zone mit den grössten Wasserzutritten befindet. Um die von der Bauherrschaft vorgegebenen Dichtigkeitsanforderungen zu erreichen, musste während der Ausführung von einer einschaligen Spritzbetonbauweise auf einen zweischaligen Ortbeton-Ausbau gewechselt werden, mit entsprechend grossen Auswirkungen auf Kosten und Termine (Bild 5).

Sämtliche Forderungen der UN wurden auf Basis des „Einheitspreis-Verzeichnisses“ (Bestandteil Werkvertrag) kalkuliert bzw. abgeschätzt. Dies ermöglichte der örtlichen Bauleitung eine relativ einfache und objektive Kontrolle. Nach der Bereinigung des Leistungsumfanges und damit einhergehend der Berechnung der Vergütung, wurde der Gesamtbetrag ermittelt und globalisiert. Anschliessend wurde dann die Vertragssumme (Globale) um den entsprechenden Betrag erhöht.

Im Zuge der Vergleichsvereinbarung wurden auch noch Projektänderungen im Bereich Tagbautunnel sowie Aufwendungen für terminsichernde Massnahmen im Zusammenhang mit der um ein Jahr vorgezogenen Inbetriebnahme abgerechnet. Das Vorgehen zur Ermittlung der vergütungsberechtigten Mehrkosten war analog zum Problembereich „hoher Wasseranfall“.

Trotz eines Gesamtbetrages von fast 10 % der Werkvertragssumme konnte dieser Nachtrag dank klarer Regelungen und Definitionen letztendlich einfach und zur beiderseitigen Zufriedenheit bereinigt und unterschrieben werden.

3.3 Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen

Unvorhergesehene Ereignisse können für Mensch und Maschinen zu gefährlichen Situationen, zu Zeitverzögerungen und zu höheren Kosten führen. Die Bewältigung solcher Ereignisse verlangt oft eine rasche Entscheidungsfindung unter Einsatz von speziellem Fachwissen. Die oft unter hohem Zeitdruck getroffenen Entscheide müssen rasch umsetzbar und auch in ferner Zukunft (z.B. bei Überprüfung durch Revisionsorgane) nachvollziehbar sein.

In allen Abschnitten am Gotthard-Basistunnel sind unvorhergesehene Ereignisse eingetreten (z.B. horizontale Störzone Bodio, Baugrund Faido, TBM-Stillstände Amsteg und Faido, Wasserzutritte Erstfeld).

Unter Anwendung des Prozesses Ereignismanagement wurde von der Geschäftsleitung ATG jeweils entschieden, ob eine entsprechend entscheidungsbefugte spezielle Arbeitsgruppe zu bilden war, deren Zusammensetzung sich an der konkreten Problematik orientierte. In den Arbeitsgruppen nahmen entscheidungsbefugte Vertreter des Bauherrn, der örtlichen Bauleitung, des Projektingenieurs, des Unternehmers und externe Spezialisten Einsitz. Damit war es möglich, die notwendigen technischen Entscheide in der

tent of services was clarified and, in turn, the remuneration worked out, the total sum was established and globalised. Subsequently, the contract sum (global) was increased by the corresponding amount.

In conjunction with the settlement, project changes for the cut-and-cover tunnel, as well as outlay for deadline-securing measures linked to the opening being brought forward by a year, were settled. The procedure that was used for determining the justifiable additional costs was similar to the "high water incidence" problem area.

In spite of a total amount of almost 10 % of the sum of the work contract, this amendment was clarified in a straightforward manner to the satisfaction of both parties, and signed, thanks to clear regulations and definitions.

3.3 Dealing with Unforeseen Events

Unforeseen events can lead to dangerous situations for personnel and machines, as well as to time delays and higher costs. Mastering such events often calls for coming up with quick decisions through applying special expert knowledge. These decisions, which are often subject to high time pressure, must be speedily applicable and reconstructable even at some remote future date (e.g. when checked by auditing bodies).

Unforeseen events occurred in all Gotthard Base Tunnel sections (e.g. the Bodio horizontal fault zone, the ground in Faido, TBM interruptions in Amsteg and Faido, water ingresses in Erstfeld).

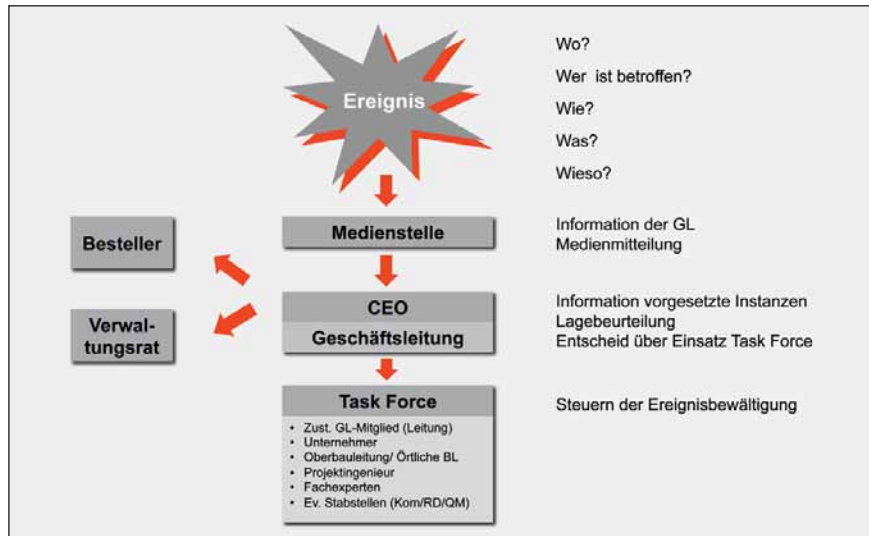
By applying the incident management process, ATG executive management in each case decided whether a corresponding special working group capable of making decisions was to be formed, whose composition was geared to the specific problem. These working groups, empowered to make decisions, were composed of representatives of the principal, the local construction management, the project engineer, the contractor and external specialists. In this way, it was feasible to take the required technical decisions on the spot in the shortest possible time. The parent company worked out the contractual implications parallel to this process.

In every case it was possible to master the ensuing difficulties within a reasonable time scale. The inclusion of the contractor in the principal's working groups basically leads to the risk of blurring the responsibilities between the contractual partners. However, the cooperative approach to coming up with a joint solution to problems proved itself, particularly in critical situations. Short information paths and the speedy joint decision-making process contributed appreciably to attaining this goal (Fig. 6).

3.4 Dealing with Conflicts

3.4.1 Cooperative Approach

The SIA standards stipulate a cooperative approach. Thus, for example, SIA Standard 118 consistently refers to contract-



6 Unerwartete hohe Verformungen in Gneisformationen Faido (links) und vereinfachter Prozess Ereigniskommunikation (rechts)
 Unexpectedly high deformations in gneiss at Faido (left) and simplified process of incident communication (right)

kürzest möglichen Zeit vor Ort zu fällen. Die Aufarbeitung der vertraglichen Konsequenzen erfolgte parallel dazu durch die Stammorganisation.

In allen Fällen konnten die aufgetretenen Schwierigkeiten in nützlicher Frist bewältigt werden. Der Einbezug des Unternehmers in Arbeitsgruppen der Bauherrschaft birgt grundsätzlich die Gefahr, dass die Verantwortlichkeiten unter den Vertragspartnern verwischt werden. Gerade in kritischen Situationen hat sich aber der partnerschaftliche Umgang mit einer gemeinsamen Lösungsfindung bewährt. Die kurzen Informationswege und die rasche gemeinsame Entscheidungsfindung trugen so erheblich zur Zielerreichung bei (Bild 6).

3.4 Umgang mit Konflikten

3.4.1 Partnerschaftlicher Umgang

Das Normenwerk des SIA stipuliert den partnerschaftlichen Umgang. So spricht z.B. die Norm SIA 118 konsequent von Vertragspartnern und nicht von Parteien. Dieser Ansatz wird von der ATG mit der Aussage „Wir sind ein harter und fairer Geschäfts- und Verhandlungspartner“ in ihrem Projekthandbuch entsprechend aufgenommen und seit Beginn der Planungs- und Bauarbeiten in der Zusammenarbeit mit den beigezogenen Ingenieurbüros und Unternehmern konsequent umgesetzt.

Partnerschaftlicher Umgang bedeutet das Bekenntnis zu gemeinsamen Zielen, die gemeinsame Beobachtung des Arbeitsfortschritts und eine gegenseitig abgestimmte Massnahmenplanung im Falle von Abweichungen. Dieser Prozess setzt den vertrauensvollen Dialog auf allen Hierarchiestufen voraus (Bild 7).

Partnerschaft verhindert nicht, dass es zu Konfliktsituationen kommen kann. Allerdings ist es das Ziel der Partnerschaft, dass Konflikte nicht sofort vor dem Richter landen. Ange-

ing "partners" and not to "parties". This approach has been correspondingly incorporated by ATG in its project manual with the assertion that "We are a hard and fair business and negotiating partner", and consistently applied in its dealings with the engineering offices and contractors involved since planning and construction started.

A cooperative approach signifies commitment to common goals, jointly monitoring work progress, and mutually agreed planning of measures should deviations occur. The process depends on trustful dialogue at all hierarchical levels (Fig. 7).

Partnership does not prevent situations that involve conflicts from arising. However, it is the aim of partnership to prevent conflicts from immediately landing before the judge. In view of the risks (difficulties concerning proof and



7 Partnerschaftlicher Umgang – Ein Gebot zur erfolgreichen Realisierung von Grossprojekten
 Cooperative approach – essential for successful accomplishment of major projects

sichts der Risiken (Beweis- und Beweissicherungsschwierigkeiten bei fortschreitendem Bau, oftmals fehlendes Fachwissen der Richter, Notwendigkeit von Gutachten, Klärung komplexer Rechtsfragen und insgesamt lange Prozessdauer mit ungewissem Ausgang) sollte das Austragen von grossen Baurechtsstreitigkeiten vor Gericht nur als ultima ratio betrachtet und folgerichtig nach alternativen Streiterledigungsmodellen Ausschau gehalten werden: Die ATG hat sich für die Streitschlichtung entschieden.

3.4.2 Streitschlichtung

In Übereinstimmung mit den Empfehlungen der verwaltung-internen Arbeitsgruppe „Verträge AlpTransit“ aus dem Jahr 1995 und der 1 Jahr später publizierten Dokumentation GIB „Grosse Infrastrukturbauten Bauwirtschaft“ der Schweizerischen Bauwirtschaftskonferenz hat sich die ATG entschieden, bei den grossen Bauwerkverträgen (Hauptlose) ein Streitschlichtungsverfahren einzurichten.

Mit dem Ausspruch „Justice is sweetest when it is freshest“ (Lord Bacon) kann der Zweck der Streitschlichtung treffend umschrieben werden. Mit anderen Worten: Lange hinausgeschobene (Bau-)Streitigkeiten führen zu Nachteilen und Frustration bei allen Baubeteiligten. Ziel der Streitschlichtung muss sein, von Baubeginn weg einen Streiterledigungsmechanismus zur Verfügung zu stellen, der beim Auftreten von Schwierigkeiten sofort aktiviert werden kann.

Die ATG hat sich beim Abschluss der grossen Hauptverträge für eine Streitschlichtung in Anlehnung an die VSS-Empfehlung 641 510 aus dem Jahr 1998 entschieden. Diese Empfehlung sieht für die Streiterledigung ein so genanntes 3-Phasenmodell vor.

1. Baustellenentscheidungsweg: Die Parteien werden verpflichtet, in einem ersten Versuch Streitigkeiten vorerst gänzlich unter sich zu bereinigen.
2. Schlichtungsstelle: Im Vertrag zwischen den Parteien ist eine paritätisch zusammengesetzte Schlichtungsstelle vorzusehen, die in einem zweiten Schritt des Konflikts einzuschalten ist.
3. Gerichtliche Beurteilung: Bevor eine Partei eine Klage zur gerichtlichen Beurteilung bringen darf, muss sie den Nachweis erbringen, dass ein Schlichtungsverfahren durchgeführt wurde und dieses gescheitert ist.

Die Erfahrungen am Gotthard-Basistunnel zeigen, dass bereits die Vereinbarung dieses Modells den Effekt hat, die Parteien auf mögliche Konflikte im Voraus zu sensibilisieren und sich entsprechend professionell darauf vorzubereiten. In der Phase des Baustellenentscheidungsweges versuchen die Parteien, auf den verschiedenen Hierarchiestufen ihrer Organisationen selbst eine Lösung zu finden, statt diese Aufgabe an Dritte zu delegieren.

Diese Form der Streiterledigung setzt eine Gesprächskultur voraus, die vorzugsweise unter den Parteien bereits in konfliktfreien Zeiten, z.B. im Rahmen eines regelmässigen

securing proof as construction progresses, a frequent lack of expert knowledge by the judges, the need for expert opinions, clarification of complex legal issues, and lengthy court proceedings with an uncertain outcome), this should make contesting major construction-law disputes in court the last resort, so that alternative models for settling disputes should be sought. ATG decided in favour of arbitration.

3.4.2 Arbitration

ATG decided to adopt an arbitration process for the major construction contracts (main lots) in accordance with the recommendations of the internal AlpTransit Contracts Working Group dating from 1995 and the "Major Infrastructure Buildings: Construction Industry" (GIB) document published the following year by the Swiss Construction Industry Conference.

The purpose of arbitration can be aptly described by quoting Lord Bacon: "Justice is sweetest when it is freshest". In other words, (construction) disputes that are procrastinated lead to disadvantages and frustration among all those involved in the project. The aim of arbitration must be to make a mechanism for settling disputes available from the very outset of construction, which can be activated immediately should difficulties arise.

When it concluded the large main contracts, ATG decided on arbitration in keeping with VSS Recommendation 641.510 dating from 1998. This recommendation foresees a three-phase model for settling disputes:

1. On-Site decision-making channels: The parties are first obliged to settle disputes entirely among themselves.
2. Arbitration body: An arbitration body composed on a basis of parity is foreseen in the contract between the parties, which is to be convened if the conflict enters a second phase.
3. Legal judgement: Before a party is permitted to seek a court ruling, it must prove that an arbitration process was pursued and has failed.

The experience gained on the Gotthard Base Tunnel shows that actually agreeing on this model has the effect of heightening the awareness of the parties to possible conflicts in advance, so that they prepare themselves in a correspondingly professional manner. During the on-site decision-making phase, the parties attempt to find their own solution at the various hierarchical levels of their organisations, instead of delegating this task to third parties.

This form of settling disputes depends on a form of discussing issues that it is ideally already established among the parties involved during conflict-free times, e.g. within the scope of a regular exchange of views. Should it be possible to establish this form of discussing issues, it also indicates that the parties involved are anxious to settle a dispute without recourse to arbitration [5].

Informationsaustausches, gebildet wird. Gelingt es, diese Gesprächskultur unter den Parteien zu etablieren, spürt man mitunter gar den Ehrgeiz der Parteien, einen Streitpunkt gerade ohne die Schlichter zu bereinigen [5].

Dazu kommt die Befürchtung der Vertragspartner, mit der Delegation an Dritte den Fall aus der Hand zu geben und von den beigezogenen Dritten Schlichtungsvorschläge unterbreitet zu erhalten, die an der Problemstellung vorbeiziele und zu einem beidseitig nicht gewünschten Ergebnis führen.

Der vorgeschaltete Baustellenentscheidungsweg zwingt zu ernsthaften Gesprächen unter den Parteien. Die Intention, die Streitigkeiten „vorerst möglichst unter sich zu bereinigen“ ist gemäss Ziffer 5 der VSS-Empfehlung geradezu erwünscht und deckt sich vollumfänglich mit dem systemischen Ansatz der Mediation, wonach die Parteien grundsätzlich selber die Fähigkeit – und auch das Wissen – zur Selbstregulierung haben.

Vorteile der Streitschlichtung sind die ausgewiesenen Kenntnisse der Schlichter im (Untertag-)Bau und im Baurecht, die zeitnahe Aufarbeitung des Sachverhalts (inkl. Sicherstellung der dazugehörigen Dokumente), der relativ formfreie Verfahrensablauf (Dialog bleibt ohne Schwächung der eigenen Position jederzeit möglich) und die Freiwilligkeit der Annahme des Schlichterspruchs. Tatsächlich ermöglicht diese Freiwilligkeit sogar die Fortsetzung der Diskussion nach einem abgelehnten Schlichtervorschlag.

In den letzten 10 Jahren gelangten beim Gotthard-Basistunnel insgesamt 12 Fälle mit einem totalen Forderungsvolumen von 161.3 Mio. CHF vor die Streitschlichtung. 10 dieser Fälle mit einem Volumen von 71.4 Mio. CHF konnten mit Vergleichszahlungen in Höhe von 37.5 Mio. CHF im Rahmen der Streitschlichtung erledigt werden. In den 2 anderen Fällen (in Summe 89.9 Mio. CHF) ist die Streitschlichtung gescheitert und es steht nun den Unternehmern offen, an das ordentliche Gericht zu gelangen. Hierzu ist zu erwähnen, dass es beim grösseren dieser beiden Fälle (84.4 Mio. CHF) um offene Rechtsfragen in Zusammenhang mit der Interpretation der Empfehlung SIA 121 „Verrechnung der Preisänderungen mit dem Objekt-Index-Verfahren“ (Ausgabe 1996) geht, deren Klärung für alle Grossprojekte in der Schweiz präjudizierenden Charakter haben wird und es hier somit durchaus angezeigt ist, dieses Teuerungsthema einem ordentlichen Gericht vorzulegen.

4 Fazit

Per Ende 2011 waren alle grossen finanziellen Auseinandersetzungen mit den Hauptunternehmern geregelt, ohne dass ein Gerichtsfall hängig war. Folgende Faktoren ermöglichten diesen Erfolg:

- Bauherrenseitig wurden die Risikoüberlegungen frühzeitig gemacht; entsprechende Massnahmen wurden definiert und umgesetzt. Die Loseinteilung und die Konzepte

Furthermore, the fear of the contractual partners of surrendering the case by delegating it to a third party, and receiving proposals for settlement from this party that fail to rectify the problem that is being faced, thus leading to a mutually undesired result, must be taken into account.

The related on-site decision-making phase results in serious consultations among the parties involved. The intention of first settling the dispute "among themselves if possible" is expressly desired according to Para 5 of the VSS Recommendation, and completely covers the systematic application of mediation, according to which the parties essentially possess the ability, as well as the knowledge, to regulate their own affairs.

The advantages of arbitration are the proven knowledge of the arbitrators of (underground) construction and construction law, the speedy processing of the circumstances (including securing the relevant documents), the relatively open form of the process (dialogue possible at all times without weakening one's own position), and the voluntary action to accept the arbitration proposal. It is a fact that this voluntary action even permits the discussion to be continued following a rejected arbitration proposal.

During the last 10 years, no fewer than 12 cases worth a total claim value of CHF 161.3 million had to be settled. Ten of these cases, worth CHF 71.4 million, were settled by arbitration for CHF 37.5 million. In the remaining two cases (involving CHF 89.9 million), arbitration failed, and it is now up to the contractors to take the matter to court. It should be mentioned in this connection that the larger of these two cases (concerning CHF 84.4 million) relates to open legal issues on how to interpret SAI Recommendation 121 "Settling Price Changes by the Object Index Method" (1996 edition), whose clarification possesses prejudicial character for all major projects in Switzerland, so that it is well worth-while presenting this price-increase issue in court.

4 Conclusion

At the end of 2011, all major financial disputes with the main contractors had been regulated without resorting to a court of law. This success was brought about by the following factors:

- The risks on the part of the principal were contemplated at an early stage, corresponding measures were defined and put into practice. The division of the lots, and the concepts for choosing the driving methods, turned out to be correct. Thanks to carefully formulated suitability and award criteria, correspondingly highly qualified consortia were commissioned.
- The unit-price contracts showed themselves to be sufficiently flexible, even given massive deviations (e.g. Faido/Bodio lot), to ensure that the site always continued to operate even under the most difficult circumstances.



8 *Qualifizierte und motivierte Mitarbeiter auf allen Stufen sichern den Erfolg*
Qualified and motivated personnel at all levels ensure success

zur Auswahl der Vortriebsmethoden haben sich als richtig erwiesen. Dank sorgfältig formulierten Eignungs- und Zuschlagkriterien wurden die Zuschläge an entsprechend hoch qualifizierte Arbeitsgemeinschaften erteilt.

- Die EH-Preisverträge haben sich auch bei massiven Abweichungen (z.B. Los Faido/Bodio) als genügend flexibel zur stetigen Aufrechterhaltung des Baustellenbetriebs unter schwierigsten Verhältnissen erwiesen.
- Die EH-Preisverträge haben sich als stabile Grundlage zur Ermittlung der vertraglichen Folgen aus den geänderten Verhältnissen erwiesen, konnten doch sämtliche Nachträge auf der Rechtsgrundlage der ursprünglichen Verträge abgeschlossen werden.
- Der einzige Globalvertrag (Los Erstfeld) hat sich in Anbetracht der besonderen Baugrundverhältnisse (weitgehend homogene Gebirgsverhältnisse mit überblickbarem Baugrundrisiko) bewährt. Es entstand eine echte "win-win"-Situation, bei welcher der Bauherr von einer hohen Kosten- und Terminstabilität profitieren konnte, während der Unternehmer bei der Optimierung seiner Aktivitäten eine faire Gewinnchance hatte.
- Die Streitschlichtungsgremien hatten, abgesehen vom TA Erstfeld, in allen Teilabschnitten total 12 Fälle zu behandeln. Diese Streitschlichtungsgremien haben sich bewährt und halfen primär die Eskalation zu vermeiden, auch wenn nicht in jedem Fall die gerichtliche Auseinandersetzung verhindert werden kann.

- The unit-price contracts turned out to be a stable basis for determining the contractual consequences that resulted from changing conditions, enabling all modifications to be concluded on the basis of the legal principles of the original contracts.
- The sole global contract (Erstfeld lot) proved itself given the special ground conditions (mainly homogeneous rock conditions). A real win-win situation was created, with the principal benefiting from high cost and scheduling stability, and the contractor receiving a fair opportunity of profit through optimising its activities.
- The arbitration bodies found themselves dealing with 12 cases in all sections except the Erstfeld section. These arbitration bodies proved their value, and mainly helped prevent escalation, although a legal dispute could not be avoided in every case.
- However, the day-to-day cooperative approach based on mutual trust that was adopted by the contract partners at all levels was the key to success. Where there is a lack of trust, conflicts are inevitable, and the escalation of a dispute with considerable scheduling and cost consequences, as well as damaged reputations for all concerned, can then often not be avoided (Fig. 8).

In retrospect, the experience from the major contracts for structural works allows the following suggestions to be made:

- Entscheidend für den Erfolg war aber der tägliche und von gegenseitigem Vertrauen geprägte, partnerschaftliche Umgang der Repräsentanten der Vertragspartner auf allen Stufen. Wo gegenseitiges Vertrauen fehlt, sind Konflikte vorprogrammiert und die Eskalation eines Streites mit erheblichen Termin- und Kostenfolgen sowie Reputationschäden für alle sind dann oft nicht zu verhindern (Bild 8).

Rückblickend seien aus der Erfahrung mit den grossen Verträgen des Rohbaus die folgenden Anregungen erlaubt:

- Transparentere Kostenmodelle zu den zeitabhängigen Kosten bei Grossprojekten wären wünschenswert.
- Aus der positiven Erfahrung mit der Ausführung des Teilabschnitts Erstfeld ist die im Gefolge des Vergabestriebs Erstfeld eingeführte Praxis, finanzielle Varianten zu untersagen, zu hinterfragen.
- Die Weichen zu einer erfolgreichen Projektabwicklung werden in der Frühphase mit dem Bauprojekt und der Submission gestellt. Jeder Bauherr muss sich dessen bewusst sein und sollte sein Risikomanagement entsprechend früh beginnen.
- Partnerschaftlicher Umgang von Bauherr, seinen Vertretern und Unternehmer ist ein wertvolles Gut und sollte in den Grossprojekten weiterhin seinen Stellenwert haben.

- More transparent cost models for time-related costs for major projects would be desirable.
- The practice of forbidding financial alternatives that was introduced as a result of the disputed Erstfeld award has to be questioned in view of the positive experience made in executing the Erstfeld section.
- The points were set for successfully executing the project during the early phase with the construction project and the submission. Every principal must be aware of this, and must embark on his risk management at a correspondingly early stage.
- A cooperative approach among the principal, his representatives and contractors is invaluable, and should continue to be cultivated in major projects.

Literatur/References

- [1] SIA D 0124, „Vertragswesen im Untertagbau“, S. 7, 1995
- [2] Spiess, Hans Rudolf; Bauablaufstörungen im schweizerischen Werkvertragsrecht, in: recht 2012, S. 116 – 123
- [3] Ehrbar, Heinz/Sala, Alex/Wick, Raphael, Vortriebe am Gotthard-Basistunnel – Erfahrungen und Lehren aus Sicht des Bauherrn, Tagungsband STC 2012, S. 119
- [4] Bericht der NEAT-Aufsichtsdelegation der eidgenössischen Räte über die Abklärungen ihrer Arbeitsgruppe betreffend der Vorwürfe im Zusammenhang mit der Vergabe des Bauloses 151 (Erstfeld) der AlpTransit Gotthard AG, S. 3656, 2007
- [5] Egli, Anton; Das Streiterledigungsmodell nach der VSS-Empfehlung 641 510 (1998), in: bau_{aktuell} 2010, S. 241 – 247

Luzi R. Gruber, dipl. Bauing. ETH/SIA, Federführer Consorzio TAT und Arge Transco, Esslingen/CH

Gotthard-Basistunnel

Lohnt sich ein Werkvertrag für ein Megabaulos?

Nach der heute bereits teilweise erfolgten Abnahme der Bauwerke bzw. deren technischen Prüfung der Hauptarbeiten am Gotthard-Basistunnel ist es Zeit, sich Gedanken zu machen, ob sich für den Tunnel-Unternehmer ein Engagement an einem Megabaulos wie am Gotthard-Basistunnel eigentlich „lohnt“.

Betrachtet man die betriebswirtschaftlichen Aspekte, kommt man zum Fazit „eher nein“.

Bezieht man übergeordnete Aspekte und Firmeninteressen mit ein, so lautet das Fazit „ja“, was zu einer Globalbetrachtung von „eher ja“ führt.

Gotthard Base Tunnel

Is it worth signing a Mega Contract?

The main construction work at the Gotthard Base Tunnel has now been technically approved and many structure works have been inspected. It is now time to consider whether it is “worthwhile” for the tunnel contractor to be involved in a mega contract such as at the Gotthard Base Tunnel.

If one contemplates the economic aspects, the conclusion is if anything a “negative” one.

If superordinated aspects and company interests are included, then you reach a positive conclusion leading to a global consideration “tending to yes”.

1 Prämisse

Die folgende Analyse und Diskussion bezieht sich auf die Baulose Erstfeld, Amsteg, Sedrun und Bodio/Faido des Gotthard-Basistunnels mit ihren entsprechenden Milliardenumsätzen.

Es stellt sich zu Recht die Frage, ob ein Werkvertrag bei einem Megabaulos, wie es die aufgezählten Lose zweifelsfrei sind, lohnend ist. Der finanzielle Aspekt der Lose Erstfeld und Amsteg wurde bereits in früheren Jahren, auch am STC, öffentlich thematisiert und auf den unbefriedigenden wirtschaftlichen Erfolg hingewiesen. Das Baustellenergebnis ist in Summe negativ obwohl die Deckungsbeiträge von Erstfeld den Verlust verringerten.

Die Situation bei den Losen Faido und Bodio ist hinlänglich bekannt. Trotz der auch in der Presse vermeldeten Einigung über das Nachtragspaket „Dazio tutto“, welches Ende 2011 vergleichsweise bereinigt werden konnte, bleibt das Baustellenergebnis stark negativ.

Einzig das Los Sedrun weist ein positives Ergebnis aus, das allerdings anbetrachts der eingegangenen Risiken lediglich als befriedigend eingestuft werden kann.

1 Premises

The following analysis and discussion relates to the Erstfeld, Amsteg, Sedrun and Bodio/Faido contract sections of the Gotthard Base Tunnel involving turnovers of many billions.

The question is raised whether a contract of works for a mega contract section, as the listed lots undoubtedly are, is worthwhile. The financial aspect of the Erstfeld and Amsteg contract sections were dealt with publicly in the past, also at the STC, relating to the unsatisfactory economic outcome. The on-site result is by and large, negative although the profit margins from Erstfeld diminish the loss.

The situation regarding the Faido and Bodio contract sections is well publicised. In spite of agreement on the “Dazio tutto” modification package, which was also reported in the press, and was settled amicably at the end of 2011, the on-site result remains starkly negative.

Only the Sedrun lot reveals a positive result, which however can only be classified as satisfactory on account of the risks involved.

Le tunnel de base du Saint-Gothard

Un contrat d'entreprise est-il rentable pour un méga-lot de construction?

En fonction de la réception actuellement déjà réalisée des ouvrages ou en fonction du contrôle technique des travaux principaux réalisés sur le tunnel de base du Saint-Gothard, il est temps de se demander si un engagement dans un méga-lot de construction comme celui du tunnel de base du Saint-Gothard en vaut vraiment « la peine » pour l'entrepreneur.

Si l'on considère les aspects relatifs à la gestion économique, on en vient à conclure « plutôt non ».

Si on y intègre des aspects supérieurs et les intérêts de l'entreprise, la conclusion est « oui », ce qui mènera à une considération globale de « plutôt oui ».

Tunnel di base del Gottardo

Conviene un contratto d'opera per un grande lotto di costruzione?

Dopo il collaudo, oggi parzialmente già avvenuto dei lotti di costruzione o dell'esame tecnico dei lavori principali del tunnel di base del Gottardo, è giunta l'ora di porsi il quesito se per l'impresa costruttrice della galleria, l'impegno di un grande lotto di costruzione come il tunnel di base del Gottardo "convenga" veramente.

Se si contemplan gli aspetti economico-aziendali, si arriva alla conclusione di "magari no".

Se si fa riferimento a punti di vista preminenti e a interessi aziendali, la conclusione è "sì" e questo porta a una visione unitaria di "magari sì".

Bei rein betriebswirtschaftlicher Betrachtung ist die Antwort also klar – nur ein Megabaulos weist ein echt positives Betriebsresultat auf. Die anderen sind, im betriebswirtschaftlichen Sinne, nicht lohnend.

If considered from the pure economic viewpoint the answer is thus clear – only a single mega contract section has registered a positive operating result. The others are not worthwhile in economic terms.



1 Sedrun – Streckenausbaumaschine Tavetscher Zwischenmassiv Nord
Sedrun – Tavetsch Intermediate Massif (TzM) North roadway support machine



2 Sedrun – deformierbarer Stahleinbau TZM Nord
Sedrun – TZM North deformable steel structure

Heisst das nun, dass Werkverträge bei Megabauros allgemein uninteressant, d.h. nicht lohnend sind?

Es gilt, sich **zum Einen** mit dem Begriff „lohnend“ auseinander zu setzen **und zum Anderen** über den rein finanziellen Aspekt hinaus eine globalere Betrachtung zu machen, welche übergeordnete Aspekte mit einbezieht.

Der vorliegende Aufsatz befasst sich, verständlicherweise, mit den Losen Sedrun, Bodio und Faido. Die hier dargestellten Überlegungen können aber auch auf die anderen Lose übertragen werden, sind doch die Offert- und Ausführungsbedingungen praktisch identisch.

2 Begriffe

Nachfolgend werden die im Titel des Aufsatzes verwendeten Begriffe und Definitionen anhand von Nachschlagewerken, Gesetzen und Normen diskutiert.

Zum Begriff „sich lohnen“

Der Duden beschreibt **lohn** als ein „schwaches“ Verb und gibt dazu folgende Stichworte:

- aufzuwendende Mühe und Kosten rechtfertigen
- sich bezahlt machen
- rentieren – Gewinn bringen
- amortisieren, amortier (mortens = tot)

Does this now mean that contracts of works for mega contract sections are generally uninteresting, i.e. unprofitable?

It is essential **on the one hand** to analyse the keyword “profitable” and **on the other** to look beyond the pure financial aspect arriving at a global view, which includes superordinated aspects.

This report naturally deals with the Sedrun, Bodio and Faido contract sections. The observations presented here can also be applied to other lots for after all, the conditions for offers and execution are practically identical.

2 Terms

In the following, the terms and definitions used in the captions of this paper are discussed on the basis of reference sources, laws and norms.

The term “being worthwhile”

The Duden describes **to be worthwhile** as a “weak” verb and defines it as follows:

- justifying expended effort and costs
- making it pay
- profitable – bringing a profit
- to amortise, amort (mortens = dead)

Der Werkvertrag nach schweizerischen Normen und Recht

Die Norm SIA 118 „Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten“ legt unter den Grundbegriffen folgendes fest:

Artikel 1

Wer ein Bauwerk ausführt, erstellt ein Werk im Sinne von Art. 363 des Schweizerischen Obligationenrechtes (OR); entweder ist sein Werk ein ganzes Bauwerk oder nur ein Teil eines Bauwerkes.

Artikel 2

Die entgeltliche Ausführung einer Bauarbeit für einen anderen, den Bauherrn, erfolgt auf Grund eines Werkvertrages. Der Bauherr ist Besteller, der Ausführende Unternehmer im Sinne des Art. 363 OR.

Der Duden (und andere Standardwerke) liefern dazu folgende Stichworte:

- Aufgabenstellung
- Fertigstellungstermin und Kosten
- Gewährleistungen – Garantien
- Haftung
- Festlegungen zur Vertragskündigung
- Nutzungsrechte
- Zahlungsvereinbarungen

Zur Bedeutung von Megabaulos

Die Vorsilbe **Mega** bedeutet nach Duden:

- gross, mächtig, hervorragend, bedeutend – als Steigerung von super
- mega bedeutet in Zahlen ausgedrückt aber auch 1000 x 1000

3 Offertstellung

Wenn jetzt in der Schweiz eine „Offertwelle“ wie damals im Jahre 2000 bevorstünde, dann wäre der Moment genau richtig, um denjenigen, welche aufgrund der errechneten Kosten die Preisbildung einer Megaofferte verantworten müssen, ins Gewissen zu reden.

Angesichts der Feststellung, dass sich ein Megaprojekt im Allgemeinen finanziell nicht lohnt, liegt der Schluss nahe, dass bei den Risikoüberlegungen, bei den Zuschlägen für Wagnis und Gewinn der Hebel angesetzt werden müsste, um die Werkverträge finanziell attraktiver zu gestalten, d.h. um die Möglichkeit zu schaffen, Gewinn zu erwirtschaften. Doch ohne Tagträumerei – diese Erkenntnis ist nicht neu – ist zu bezweifeln, dass diese Anregung, um nicht zu sagen Empfehlung, beherzigt würde.

Woran liegt das? – Der Zweck einer Unternehmung, auch einer Bauunternehmung, liegt doch in der Erzielung eines positiven Ergebnisses, auf Stufe EBIT, wie auch auf Stufe Unternehmensgewinn, können doch Megabaulose nur von grossen, finanzkräftigen, meist auch börsenkotierten Gesellschaften ausgeführt werden. Wer legt den Angebotspreis

The Contract of Works according to Swiss Norms and Law

The Norm SIA 118 “General Conditions for Construction Work” establishes the following main principles:

Article 1

Whoever executes a structure produces a work in keeping with Art. 363 of the Swiss Obligation Law (OR); his work is either a complete structure or only a part of a structure.

Article 2

Executing construction work for another, the client, for payment, is based on a contract of works. The client is the orderer, the executor, the contractor, in keeping with Art. 363 OR.

The Duden (and other standard reference works) provide the following keywords in this connection:

- Task
- Completion deadline and costs
- Assurances – guarantees
- Liability
- Provisions for cancelling the contract
- Rights of utilisation
- Agreements on payment

The Meaning of Mega Contract Section

According to Duden the prefix **mega** signifies

- large, mighty, outstanding, significant – a superlative of super
- mega expressed in figures however also signifies 1,000 x 1,000

3 Placing Offers

If there was about to be a “wave of offers” in Switzerland as was the case in 2000, then it would be exactly the right moment to appeal to those, who must take responsibility for establishing the price structure of a mega offer based on the calculated costs.



3 Sedrun – Förderkorb Schacht 1
Sedrun – shaft 1 hoisting cage

fest und was sind die Treiber zu knappen, zu unzureichend eingerechneten Margen?

Sind diese Treiber unter folgenden Stichworten zusammenzufassen?

Sicherung der Marktpräsenz, Verdrängung der Konkurrenz, Aneignung von Know-how, Sicherung einer langjährigen Grundaustattung, Weiterbeschäftigung der Mitarbeiter, Äufnung der Auftragspipeline etc. – damit befasst sich das Kapitel 5, Partnerfirmen.

Nebst der ungenügend verpreisten Marge liegt der „Schlüssel zum Misserfolg“ einer Megaofferte aber auch in einer falschen Beurteilung der Risiken und/oder in einer zu optimistischen Leistungsannahme, d.h. zuletzt in einer ungenügenden Erfassung der Kosten.

Die Zuordnung der Risiken im Untertagbau erfolgt nach den einschlägigen SIA Normen, im speziellen nach den Normen SIA 118 bzw. 198 und 118/198:

- Im Risikobereich des Bauherrn liegt u.a. eine von den Ausschreibungsunterlagen abweichende Beschaffenheit des Gebirges, soweit die Abweichungen ausserhalb der werkvertraglichen Grenzen liegen.
- Im Risikobereich des Unternehmers liegt eine von den Ausschreibungsunterlagen abweichende Beschaffenheit des Gebirges, soweit die Abweichungen innerhalb der werkvertraglichen Grenzen liegen sowie die vertraglich festgelegten Leistungen.

Die Offertstellung hat (hatte) nach den Grundsätzen der Zuschlagkalkulation des SBV zu erfolgen, welche sich für Megabaulos, wenn überhaupt, nur bedingt eignet, sind doch für die komplex zu erschliessenden Lose Installationsanteile und rückwärtige Dienste von bis zu 50 % der Gesamtsumme möglich.

Die vertraglich vereinbarte Leistung liegt, wie gesagt, im Verantwortungsbereich des Unternehmers. Hat er die folgenden, für Megabaulos matchentscheidenden Parameter richtig beurteilt?

- Bereitstellen, Vorhalten und Betrieb der Installationen bis über 10 Jahre hinaus, mit kürzerem und längerem Vorhalten für Bauzeitverlängerungen von über 2 Jahren.
- Durchlaufbetrieb mit 21 Schichten pro Woche an 320 Arbeitstagen pro Jahr mit den entsprechenden Reparatur- und Revisionsarbeiten an den Maschinen und Geräten.
- Führungs- und Managementaufgabe für einen Betrieb mit einigen 100 Mio. Umsatz pro Jahr, installiert auf „Zeit“, aufzubauen von „Null auf Hundert“.
- Das eigentliche Leistungsrisiko für die einzelnen Tätigkeiten.

Lohnt es sich hier, einen progressiven Ansatz zu wählen oder wäre eine konservative Annahme nicht besser? Die zweite Variante ist zu empfehlen!

In view of the observation that a mega project is not financially worthwhile in general, it appears obvious that when considering risks, some leverage would have been applied to the additional costs for risk and profit, to make the contract of works more attractive, i.e. to create the possibility of realising a profit. This is no new recognition and it must be doubted whether this suggestion or rather recommendation is taken to heart.

Why is this so? – The purpose of a company, also a construction company, lies in attaining a positive result, at EBIT level, also at corporate profit level. Mega contract sections can only be executed by large, financially powerful companies usually represented on the stock market. Who establishes the offer price and what factors bring about too scanty, insufficiently calculated margins?

Can these Factors be summed up under the following Keywords?

Securing market presence, squeezing out the competition, accumulating know-how, securing a long-term basic capacity, continuing to employ staff, adding on to (increasing/building up) the order pipeline etc. – is examined in Chapter 5, Partner Companies.

Apart from the insufficiently priced margin, the “key to the lack of success” of a mega offer however also lies in wrongly assessing the risks and/or in an overly optimistic assumption of performances, i.e. essentially in inadequate appraisal of the costs.

The allocation of risks in underground construction is carried out according to the pertinent SIA norms particularly in keeping with norms SIA 118 or 198 and 118/198:

- The client’s risk area includes the composition of the rock should it differ from the tendering documents providing the deviations lie outside the limits laid down in the contract of works.
- The contractor’s risk area includes the composition of the rock should it differ from the tendering documents providing the deviations lie within the limits laid down in the contract of works as well as the contractually regulated services.

Placing the offer has (had) to take place in accordance with the SBV surcharge calculation principles, which are only partly if at all suited for mega contract sections, after all up to 50 % of the total sum can be accounted for by the installation facilities and the ancillary services for these contract sections, which are so difficult to open up.

The contractually agreed performance lies, as already said, in the contractor’s area of responsibility, providing he has correctly assessed the following decisive parameters for mega contract sections:

- Providing, making available and operating the installations for up to more than 10 years with shorter or longer provisions for extending construction time by more than 2 years.

4 Werkvertragserfüllung

4.1 Ausführung über 12 Jahre

Während der Ausführung hat der Unternehmer gelernt, mit einer Vielzahl von parallelen Tätigkeiten umzugehen, welche nebst den eigentlichen, höchst anspruchsvollen Vortriebsarbeiten ganz andere, normalerweise nicht so ausgeprägt auftretende Herausforderungen bedeuten:

Technische Herausforderungen

- Gewaltige Überlagerung mit hohen Gebirgsdrücken, d.h. Verlust der Tragfähigkeit (Auflockerung) und druckhafte Zonen
- Maximal herausfordernde klimatische Bedingungen, sehr hohe Temperaturen – umfassende Kühlung

Logistische Herausforderungen

- Komplexe Versorgung der einzelnen Baustellen, bis 30 km im Berginnern und 800 m Untertag, erschlossen über Gleis- und Schachtbetrieb
- Paralleles Arbeiten an Vortrieb und Gewölbeausbau
- Interaktion zwischen Rohbau, Rohbauausrüstung und Bahntechnik

Betriebliche Herausforderungen

- Durchlaufbetrieb mit 4 Schichten über 320 Tage pro Jahr – 10 Jahre lang

- Continuous operation with 21 shifts per week on 320 working days per year involving the corresponding repair and inspection jobs for the machines and equipment.
- Leadership and management tasks for an operation involving several 100 millions of turnover per year, installed “for a time”, to be developed from “scratch to hundred”.
- The actual service risk for the individual activities.

Is it worth choosing a progressive approach here or would a conservative one not be better? The second alternative is advisable.

4 Fulfilling the Contract of Works

4.1 Execution over 12 Years

During execution, the contractor learned how to tackle a large number of parallel activities. These usually signified challenges, which were less distinctive in character than the actual highly sophisticated excavation work:

Technical Challenges

- Immense overburden with high rock pressures, i.e. loss of bearing capacity (loosening) and squeezing zones
- Maximal challenging climatic conditions, extremely high temperatures – extensive cooling



4 Faido – Zwischentransport TBM
Faido – TBM interim transportation



5 Faido – Spurwechsel Multifunktionsstelle Faido
Faido – MFS Faido crossover

- Organisation der rückwärtigen Dienste, der Sicherheits- und Qualitätsüberwachung
- Betrieb der Leitstelle als Dreh- und Angelpunkt der Versorgung
- Umgang mit einem enormen Reparatur- und Revisionsaufwand, Gewaltschäden und Vandalismus

Menschliche Herausforderungen

- Führung über viele Stufen mit wechselnden Akteuren – Durchsetzung
- Kampf gegen die Abstumpfung bei Durchlaufbetrieb über 10 Jahre – Motivation
- Sicherstellen der Kontinuität in der Führung – Selektion
- Umgang mit Führungspersonen, welche „scheitern“ – Changemanagement
- Umgang mit Streikdrohung und Streik – im Visier der Gewerkschaften

Herausforderung Umwelt und Sicherheit

- Umgang und Entsorgung der Schlämme im Vortrieb und Ausbau. Das Problem Schlamm und insbesondere die Kontaminierung der Schlämme mit Kohlenwasserstoffen, mit Chrom 6 und die Nitratproblematik, das ganz allgemein gewaltig unterschätzt wurde. Auf jedem Abschnitt wurden sehr hitzige Diskussionen über die Kosten, d.h. konkret über den Kostenverteiler geführt. Die Kosten sind ausserordentlich hoch.
- Arbeitssicherheit – Stichwort: Stop Risk Kampagne

Logistical Challenges

- Complex supplying of individual structural components, up to 30 km inside the interior of the mountain and 800 m underground, opened up via rail-bound and shaft operations
- Parallel work for driving and supporting the vault
- Inter-action between rough excavation, furnishing the rough excavation and rail technology

Operational Challenges

- Continuous operation involving 4 shifts for 320 days per year – 10 years long
- Organising ancillary services, safety and quality monitoring
- Operating the control centre as the supply hub
- Dealing with enormous repair and inspection requirements, malicious damage and vandalism

Human Challenges

- Leadership over many stages with different protagonists – Implementation
- Warding off apathy during continuous operation lasting 10 years – motivation
- Assuring continuity of leadership – selection
- Dealing with managers, who “fail” – Change management
- Dealing with threats of strike and strikes – watched by the unions

Environmental and Safety Challenges

- Dealing with and disposing of sludges during excavation and supporting. The sludge problem and especially sludge

Der Rahmen dieses Aufsatzes würde bei Weitem gesprengt, kämen alle zuvor genannten Themen detailliert zur Sprache. Hervorzuheben gibt es stellvertretend 3 Themenkreise:

- Ungewohnt **komplexe Logistik** im engeren Sinne des Wortes, mit Betrieb der Leitstelle rund um die Uhr – welche den Takt vorgibt (und vorgeben muss)
- Ausserordentlich **lange Baudauer** von insgesamt einem Dutzend Jahren
- Umgang mit **ungewöhnlichen klimatischen Verhältnissen** mit Felstemperaturen deutlich über 40 Grad Celsius

Zurück zu eingangs gestellter Frage: Hat es sich gelohnt, zu lernen, mit diesen Herausforderungen umzugehen? – Ist die Mühe gerechtfertigt? – Macht sich der enorme Aufwand „bezahlt“?

Die involvierten Mitarbeiter, insbesondere in Führungsfunktionen, auch in unteren und mittleren Positionen haben sich Know-how aneignen können, welche sie befähigt, in Zukunft selbständig und „gelassen“ ihrer Arbeit, auch in internationalen Gross-Projekten, nachzugehen. – **Unter diesem Gesichtspunkt hat sich die Mühe gelohnt.**

Nebst den vorerwähnten Themen gilt es einen weiteren Aspekt auszuleuchten, denjenigen der Innovation, im Sinne von neuen Ideen, neuen Lösungen, ein grosses Feld bei einem Megaprojekt. Stellvertretend für die vielen kleinen und grossen Innovationen seien hier einige aufgeführt:

- Verwendung von Bergbautechnik im Untertagbau am Beispiel der erfolgreichen Durchörterung der stark druckhaften Zonen im Tavetscher Zwischenmassiv unter Einsatz eines „nachgiebigen“ Innenausbau und komplett aufgehängten GTA Ausbaumaschinen.
- Direkte pneumatische Förderung von Zement vom Installationsplatz Sedrun nach Untertag mehr als 1000 m in den Berg und 800 m tief direkt in die Silos der untertägigen Betonanlage.
- Förderung von 15 000 m³ Qualitätsbeton erster Güte für den Endausbau der Kavernen am Schachtfuss in Sedrun; mit einer Betonfallleitung von 800 m Tiefe – der „schnellste“ Beton der Welt.
- Sicherstellung der Verarbeitbarkeit des Betons für den Gewölbe- und Innenausbau mit bis zu 30 km Zutransport über die Stollenbahn in Faido.
- Gleichzeitigkeit von Vortrieb und Innenausbau mit dauernder Durchfahrt durch die Gewölbebaustelle unter Aufrechterhaltung der logistischen Versorgung der TMB, inkl. Durchführung aller Versorgungsleitungen – die berühmte „Wurmlösung in Bodio/Faido“.

Gelingt es, das erworbene Know-how zu bewahren, zu mehren und schlussendlich in der Zukunft zu nutzen, so **hat sich der Aufwand gelohnt** – aber die Erfahrungen sind nicht gratis.

4.2 Fertigstellung und Finish über 2 Jahre

Der Gewölbeausbau mit dem statisch genutzten Tragring gehört zweifelsohne zu den Kerntätigkeiten des Untertagbaus.

contamination with carbon hydrides, with chrome 6 and the nitrate problem, which was generally entirely underestimated. Extremely fervid discussions were pursued at every section on the costs, or to be concrete, the distribution of costs. The costs are enormously high.

- Industrial safety – keyword: stop risk campaign

It would far exceed the bounds of this paper if all the above mentioned problems were to be discussed in detail. Three groups of topics are dealt with in their stead:

- Unusually **complex logistics** in the narrowest sense of the word, with the control centre operating 24/7 – which sets the pace (as it must)
- Extremely **protracted construction period** totalling 12 years
- Dealing with **unusual climatic conditions** with rock temperatures substantially in excess of 40° C

Let's return to the initial question that was posed: was it worthwhile learning to tackle these challenges? – Is the effort justified? – Does the enormous outlay “pay off”?

The members of staff involved, particularly in executive positions, also at lower and middle level, were able to accumulate know-how, which enables them to pursue their work in future in an independent and “assured” manner. This also relates to international major projects. **Seen under this aspect, the effort was worth it.**

Apart from the topics previously mentioned, a further aspect must be subject to scrutiny, that of innovation in the sense of new ideas, new solutions, a major field within a mega project. A few innovations are cited in the following that represent the many large and small ones:

- Application of mining technology for underground construction taking the example of the successful penetration of the starkly squeezing zones in the Tavetsch Intermediate Massif employing a “yielding” inner support and completely suspended GTA roadway support machines.



6 Faido – Doppelspur Gleisanlage mit Backup Wurm
Faido – dual track system with back-up worm

Spricht man dagegen von Banketten, Kabeltrassen, Trenn- und Abschlusswänden sowie Fertigstellungsarbeiten ist man eher geneigt, das als „Übriges und Verschiedenes“ zu qualifizieren. Doch bei einem Megaprojekt ist das weit gefehlt, insbesondere dann, wenn die Nutzungsdauer 100 und mehr Jahre beträgt.

Dieser Umstand, die lange Nutzungsdauer, ist ein matchentscheidender Treiber für die Kosten, sei es für den Besteller, den Ersteller und letztendlich auch den Tunnelbauer. Ich bin mir aber nicht sicher, ob diese lange Nutzungsdauer immer bestmöglichst ins Projekt überführt wurde, ich meine damit nicht, um die absolute Klarheit zu wahren, die essentiellen Tragstrukturen, sondern Annexbauten und Nebenbauwerke.

„Teure“ Erfahrungen, bei der Fertigstellung und beim Finish:

- Sehr kostenintensiver Finish und aufwändige Reinigungsarbeiten.
- Durchgehende Kalibrierung aller Kabelschutzrohre mit protokollarischer Dokumentation. Dabei muss man sich vor Augen führen, dass es sich um mehrere 1000 km handelt!
- Einsatz von Kunststoffrohren (HDPE Rohre) für eine sehr lange Nutzungsdauer für alle Entwässerungsrohre. Wobei hier nicht verschwiegen werden soll, dass die Materialqualität der verwendeten Rohre teilweise Gegenstand von laufenden Untersuchungen ist.
- Hochdruckreinigung aller Entwässerungsrohre. Gewölbdrainageleitung, Schmutzwasserleitung sowie Hauptentwässerungsleitung wurden allesamt mit TV Kameras befahren und das Ergebnis lückenlos dokumentiert. Hunderte von Kilometer!
- Druckprüfung der gesamten Schmutzwasserleitung.
- Durchgehende Messung der Bewehrungsüberdeckung bei bewehrten Bauteilen.

Die Erfahrungen unter den zuvor genannten Titeln dürfen nur unter dem Aspekt „lernen und weiter erzählen“ als lohnend eingestuft werden. Finanziell sind diese Aufwendungen krass unterschätzt worden. In künftigen Ausschreibungen mit analogen Anforderungen muss dem Rechnung getragen werden, auch seitens des Projekts.

5 Partnerfirmen

5.1 Entschädigung für Gesellschafterleistungen

Die Partnerfirmen (Gesellschafter) teilen sich die Führung und die Aufgaben in der Arbeitsgemeinschaft, welche gemäss Ausschreibung zwingend als einfache Gesellschaft nach Artikel 580 ff (OR) zu konstituieren war. Für ihre Arbeit werden sie entschädigt, in Prozenten der Abrechnungssumme, mit total 1 bis 2 % (Management Fee für alle Partner zusammen).

Üblicherweise werden zudem Stammhauskosten ausgerichtet, das trifft hier zu. Hier liegt die Spanne bei 3 bis 4 %; die Partner werden anteilig in Bruchteilen des Gesamten bedient.

- Direct pneumatic conveyance of cement underground from the Sedrun installation yard to more than 1,000 m into the mountain and 800 m deep directly to the silos of the subterranean concrete plant.
- Conveying the 15,000 m³ of premium quality concrete for the final support of the chambers at the shaft base in Sedrun with a 800 m deep concrete downpipe – the world’s “fastest” concrete.
- Securing concrete processibility for supporting the vault and interior involving up to 30 km transportation distance via the tunnel railway in Faido.
- Coordination of excavation and inner supporting with continuous passage through the vault construction site whilst maintaining logistic provision of the TBM, incl. execution of all supply lines – the renowned “worm solution” in Bodio/Faido.

If it is possible to preserve, consolidate and ultimately take advantage of the acquired know-how in future, then **the effort was worthwhile** – however the experience is not cheap.

4.2 Two Years for Completion and Finish

Supporting the vault with the statically essential bearing ring is undoubtedly one of the main activities of underground construction.

If on the other hand one refers to shoulders, cable ducts, partition walls and cutoffs as well as completion activities, the tendency is if anything to qualify them under “miscellaneous”. However this would be wrong in the case of a mega project, which possesses a service life of 100 years and more.

This circumstance, the protracted service life, is a decisive factor for the costs, whether this relates to the client, designer or even the contractor. It is not always evident whether this long service life was incorporated in the project in the best possible manner, i.e. that the essential bearing structures, annex buildings and secondary structures were properly taken into consideration.

“Expensive” experiences during Completion and Finish:

- Extremely cost-intensive finish and complicated cleaning activities.
- All protective conduits must be calibrated thoroughly and listed in a log. It must be realised that several 1,000 km are involved here!
- Application of plastic pipes (HDPE pipes) for an extremely long service life for all drainage pipes. It should not be concealed at this point that the material quality of the deployed pipes is targeted by ongoing inspections.
- High-pressure cleaning of all drainage pipes. The vault drainage conduit, sewage line as well as main drainage line were all inspected using TV cameras and the results consistently documented. Hundreds of kilometres!
- The entire sewage line tested for pressure.
- Continuous measurement of the overhead reinforcement for reinforced construction elements.



7 Hauptdurchschlag Oströhre am 15. Oktober 2010
Main breakthrough of eastern bore on October 15, 2010

Das sind die einzigen direkten, monetären Impacts, welche den Partnern zu Gute kommen und dem Projekt belastet werden. Weitere Deckungsbeiträge, in geringerem Ausmass, können durch direkte Dienstleistungen an die Arge, wie durch das Beistellen von Personal, generiert werden.

Doch Achtung: diesen Entschädigungen stehen direkte Kosten in den Stammhäusern gegenüber, denn niemand kann dort gratis arbeiten. In der Regel entsteht eine Unterdeckung, denn die Höhe der ausgeschütteten Stammhauskosten decken die echten Verwaltungskosten in den Stammhäusern nur ungenügend.

Ein Projektverlust wird von den Partnern im Verhältnis ihrer Beteiligung getragen. Ein Gewinn wird anteilig gutgeschrieben und falls es die Liquidität erlaubt ausgeschüttet. Schreibt ein Projekt rote Zahlen, schlägt das in jedem Falle direkt auf die Partnerfirma durch, allerdings müssen die (normalerweise dem internen Konto) der Partner gut geschriebenen Partnerentschädigungen in der Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden. Soviel zur monetären Situation in den Stammhäusern.

Fazit: ein Projektverlust schlägt in jedem Falle durch – wenn sich das Projekt monetär nicht lohnt, lohnt es sich auch für den einzelnen Partner nicht – eigentlich logisch.

The experiences under the above-cited captions can only be classified as worthwhile under the aspect of “learning and passing it on”. Speaking financially, these expenditures were vastly underestimated. This must be taken into account for future invitations for tenders with similar demands, also on the project-side.

5 Partner Companies

5.1 Reimbursement for Partner Services

The partner companies (associates) share the leadership and duties within the consortium, which in keeping with the tender must be established as an ordinary company in accordance with Article ff (OR). They are reimbursed for their work, in percentages of the sum due, totalling 1 to 2 % (management fee for all the partners).

Normally, parent company costs are also levied, which applies in this case. The amount here varies from 3 to 4 %; the partners are accorded fractions of the total.

These are the sole direct, monetary impacts, which the partners receive from the project. Further settlements, to a limited extent, can be generated through direct services for the joint venture, such as providing manpower.

5.2 Nichtmonetäre Aspekte

Die Treiber zur Akquisition eines Megabaulos mittels eines (zu) knappen Preises können für die einzelnen Partner vielfältiger Natur sein und bedingen eine Betrachtung, welche über den vordergründig rein monetären Ansatz hinausgeht.

Hier eine Aufzählung, welche keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt:

- Sicherung einer weitherum sichtbaren Marktpräsenz
- Sicherung einer langjährigen Grundauslastung
- Verdrängung der Konkurrenz und Ausbau der Marktstellung
- Aneignung, Pflege und Weiterentwicklung von Know-how
- Partizipieren an und Generieren von Innovationen
- Ausbau der Nachfragemacht (Wertschöpfungskette nach unten, Einkauf)
- Weiterbeschäftigung der Mitarbeiter (soziale Verantwortung)
- Äufnung der Auftragspipeline (scheinbare oder echte Wertsteigerung der Firma)

Alle diese Faktoren, welche keinen unmittelbaren monetären Return haben, können sich aber langfristig bezahlen, rentieren – alles ist aber ein Frage des Masses.

Sind die Projekte technisch ein Erfolg, was hier zutrifft, entsteht Mehrwert, für jeden einzelnen Partner, insbesondere für die federführende Firma:

- Weltweite Referenz und eine hohe Reputation für grosse Untertagbaulose
- Befähigung Megabaulose in der ganzen Welt anzubieten, Tor zur Internationalisierung offen, wenn „man“ dann will und kann
- Medienpräsenz in Tages- und Fachpresse, national und international
- Bestes Kommunikations- und Werbemittel (Internet, Berichte, Firmenbroschüren etc.)
- Vorzeigebaustelle mit interessanten bis spektakulären Baustellenbesuchen

Zudem darf jeder Beteiligte stolz auf das Werk sein, das er errichtet hat – der Stolz und die Befriedigung ist das, was man zuletzt monetarisieren kann – aber gerade deshalb dürfen die Unternehmer zu Recht ihrem Stolz Ausdruck geben an einem Megabaulos, hier am Jahrhundertbauwerk, beteiligt gewesen zu sein.

Aber eben erfolgreich beteiligt? – Lohnt es sich?

6 Fazit

Aufgrund der vorstehenden Ausführungen lässt sich folgendes Fazit ziehen. Ein Werkvertrag für ein Megabaulos ist:

- Finanziell – nur in einem Fall lohnend
- bezüglich Erfahrung und Know-how – lohnend
- für die Reputation – lohnend
- für die Referenzen – lohnend

But be aware: this reimbursement stands opposed to direct costs within the parent companies for nobody works there for nothing. Generally this is inadequately covered for the amount of costs incurred by the parent companies fails to cover the actual administrative costs properly.

A project loss is borne by the partners according to their involvement. A profit is credited accordingly and distributed depending on liquidity. If a project is in the red, this has certainly a direct effect on the partner company, however the amounts credited to the partners must be taken into consideration in the total settlement. So much for the monetary situation in the parent companies

Conclusion: a project loss undoubtedly makes an impact – if the project is not worth it in monetary terms, then it is also not worth it for the individual partner – quite logical really.

5.2 Non-Monetary Aspects

The factors leading to the acquisition of a mega contract section through an (excessively) low price can differ from partner to partner and require to be examined in a way that goes beyond the ostensible monetary approach.

The following list is not necessarily complete:

- Securing an obvious market presence
- Securing ongoing basic capacity
- Squeezing out the competition and establishing a market segment
- Acquiring, consolidation and further development of know-how
- Participation and generation of innovations
- Expanding buyer power (value chain downwards, purchasing)
- Further employment of staff (social responsibility)
- adding on to (increasing/building up) the order pipeline (apparent or genuine increase in value of the company)

All these factors, which possess no immediate monetary return, can, however, be beneficial in the long term, actually be worthwhile – it is all merely a question of the extent.

If the projects are a technical success, which is true in this case, added value accrues for each individual partner, especially for the company in charge:

- Worldwide reference and a high reputation for underground construction lots
- Ability to offer mega contract sections throughout the world, opening gate to internationalisation, if “one” wants and can
- Media presence in newspapers and trade journals, national and international
- Best communication and PR media (Internet, reports, companies brochures etc.)
- Reference construction site involving interested parties right up to visits to sites

- für die Persönlichkeitsbildung – lohnend
- für die Partnerinteressen – lohnend

Ob die nichtmonetären Komponenten den finanziellen Verlust aufwiegen, in einem ausgewogenen Verhältnis stehen, hängt von der absoluten Höhe des monetären Verlustes ab, bei hohen Verlusten lohnt sich das Ganze nicht. Bei einem kleinen Verlust kann die Erfahrung, die Reputation, falls sie dann gepflegt und genutzt wird den Verlust aufwiegen. Generell ist die Gewinnmarge für die eingegangenen Risiken deutlich zu klein – das ist das Schicksal der (hiesigen) Bauindustrie.

Mein persönliches Fazit ist – es war der Mühe wert, der Aufwand hat sich gelohnt, es ist einem (Bau)Ingenieur nur einmal im Leben vergönnt, an einem Jahrhundertbauwerk prägend dabei zu sein – und wertvolle Erfahrungen zu sammeln.

Furthermore each person involved can be proud of the structure that he has set up – pride and satisfaction is something that takes time to be turned into money – but still entrepreneurs can be justifiably proud to have participated in a mega contract section, in this case a structure of the century.

But actually to have participated with success? – Is it worthwhile?

6 Conclusion

The following conclusion can be drawn on the basis of the previous observations. A contract of works for a mega contract section is:

- Financially – only worthwhile in one respect
- Worthwhile – regarding experience and know-how
- Worthwhile – for the reputation
- Worthwhile – for the references
- Worthwhile – for forming personalities
- Worthwhile – for cooperative interests

Whether these non-monetary components compensate the financial loss, stand in a balanced relationship, depends on the absolute amount of the monetary loss. It's not at all worthwhile given high losses. If the loss is small, experience, reputation, if nurtured and exploited, can counterbalance it. Generally the profit margin is simply too small for the risks undertaken – that is the fate of the "local" construction industry.

From a personal viewpoint, it was worth the effort, a rewarding task, after all, a (civil) engineer only gets the chance once in his life of playing an active role in a contract of the century – and collecting invaluable experience.



8 Durchschlag Weströhre am 23. März 2011
Breakthrough of western bore on March 23, 2011

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

Gotthard-Basistunnel

Innovationsschub auf allen Ebenen

Das Jahrhundert-Projekt Gotthard-Basistunnel ist eine Erfolgsgeschichte. Angefangen beim Mut und der Notwendigkeit, sowohl bei der Finanzierung wie auch bei der politischen Abstützung lange und zum Teil neue Wege zu gehen.

Weiter über den frühen Einbezug aller Interessenpartner und das gemeinsame Ringen um akzeptierbare Lösungen. Dann das umfassende und vorausschauende Risiko- und Projektmanagement bis hin zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit zwischen Behörden, Bauherrschaft, Planern und Unternehmern.

Auf allen Ebenen hat dieses Projekt einen Innovationsschub ausgelöst, welcher vorab auf das Konto der beteiligten Planergemeinschaften und der ausführenden Konsortien geht.

Auch wenn kurzfristig nicht alle Rechnungen betriebswirtschaftlich aufgegangen sein mögen: Mittel- und langfristig haben die Planer- und die Baubranche und letztlich das gesamte Ingenieurwesen der Schweiz weit über die Landesgrenzen hinaus an Erfahrung, Know-how und Reputation gewonnen.

Gotthard Base Tunnel

Innovations at all Levels

The project of the century Gotthard Base Tunnel represents a success story. It was undertaken with courage and the need to embark on in some cases new paths both with regard to how it was financed and lent political support.

It continued thanks to the early inclusion of all those involved and mutual efforts to attain acceptable solutions. Then there was the extensive and future-oriented risk and project management right up to collaboration based on real partnership between the authorities, the client, planners and contractors.

This project provided an impulse for innovation at all levels, which can be credited to the groups of planners involved and the responsible contractors.

Even although not everything may have worked out economically in the short term, in the medium and long term the planners and the construction industry and of course Swiss engineering as a whole have profited in experience, know-how and reputation far beyond their national frontiers.

Le tunnel de base du Saint-Gothard

Poussée d'innovation à tous les niveaux

Le projet du siècle, celui du tunnel de base du Saint-Gothard, est une « success story ». Elle commence par le courage et la nécessité qu'il y a eu, tant au niveau du financement qu'à celui du soutien politique, d'emprunter des chemins longs et parfois inédits.

Elle passe ensuite par l'intégration précoce de tous les partenaires impliqués et la bataille commune pour trouver des solutions acceptables. Puis elle va de la gestion globale et anticipatrice du projet et des risques à la collaboration partenariale entre les autorités publiques, la maîtrise du projet, les architectes et les entreprises.

À tous les niveaux, ce projet a généré une poussée d'innovation que l'on doit d'abord aux communautés d'architectes impliquées et aux consortiums exécutants.

Même si sur le plan gestionnaire, tous les résultats espérés n'ont peut-être pas été au rendez-vous à court terme, à moyen et à long terme, les architectes et la branche du bâtiment, et finalement tout le génie civil de la Suisse, y ont gagné en expérience, en savoir-faire et en réputation bien au-delà des frontières du pays.

Galleria di base del San Gottardo

Impulsi all'innovazione a tutti i livelli

Il progetto secolare della Galleria di base del San Gottardo è una storia di successo. Iniziando dal coraggio e dalla necessità di incamminarsi verso percorsi lunghi ed in parte nuovi per quel che riguarda sia il finanziamento sia l'appoggio politico.

Passando per il coinvolgimento, già nella fase iniziale, di tutti i gruppi interessati e la lotta comune per trovare soluzioni accettabili. E poi l'ampia gestione proattiva del progetto e dei rischi fino al partenariato tra autorità, committente, progettisti ed imprese.

A tutti i livelli questo progetto ha dato un impulso all'innovazione che va anzitutto attribuito ai team di progettisti coinvolti e ai consorzi esecutivi.

Ed anche se a breve termine non tutti i conti sono tornati da un punto di vista economico-aziendale va pur detto che a medio e lungo termine il settore dei progettisti e delle costruzioni ed in fin dei conti l'intera ingegneria in Svizzera hanno acquisito esperienze, know-how ed una buona reputazione che vanno ben oltre i confini nazionali.

Alessandro Ferrari, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Ingenieurgesellschaft GECA, B+S AG, Bern/CH

Tobias Witschi, Dipl. Bauing. ETH, Ingenieurgesellschaft GECA, B+S AG, Bern/CH

Walter Steiner, Dr.sc., Dipl. Bauing. ETH/SIA, Ingenieurgesellschaft GECA, B+S AG, Bern/CH

CEVA Tunnel de Champel

1,6 km innerstädtischer Tunnelvortrieb im Lockergestein

Der Tunnel de Champel ist Teil der neuen Bahnlinie CEVA, welche voraussichtlich ab 2017 den Hauptbahnhof Genf mit der französischen Stadt Annemasse verbinden soll. Der 1631 m lange Doppelspurntunnel unterquert bei minimalen Firstüberdeckungen von 10 m ein dicht bewohntes Quartier. Der Vortrieb in fluvioglazialen Ablagerungen der Rhone und Arve erfolgt als Vollausbau im Schutze eines Rohrschirms.

CEVA Tunnel de Champel

1.6 km urban tunnelling in soft soil

The Tunnel de Champel forms part of the new railway linking the Swiss Geneva central station to Annemasse in France estimated in 2017. The 1,631m long double track tunnel crosses with an overburden of less than 10 m below major residential buildings. The tunnel will be excavated in full section by mechanical means under the protection of a continuous pipe umbrella roof.

1 Einleitung

Die Abkürzung CEVA steht für die neue Bahnlinie, welche voraussichtlich ab 2017 den Genfer Hauptbahnhof Cornavin über die bisherige französische Endstation Eaux-Vives mit der grenznahen Stadt Annemasse in Frankreich verbinden soll. Bereits im Jahre 1912 in einem Vertrag ratifiziert, schliesst das Projekt nicht nur eine Lücke zwischen dem französischen SNCF- und dem schweizerischen SBB-Schiennetz, sondern dient gleichzeitig auch der Anbindung mehrerer wichtiger Zentren der Stadt Genf (Bild 1).

Der 1631 m lange Tunnel de Champel ist eines der Kernstücke des Projekts CEVA. Mit dem gleichnamigen, stark urbanisierten Quartier "Plateau de Champel" unterquert er eine bevorzugte Wohnlage nicht nur des Stadtteils Plainpalais, sondern der ganzen Stadt Genf.

2 Baugrundverhältnisse

Der Vortrieb des Tunnel de Champel erfolgt auf der gesamten Länge im Lockergestein. Die quartären Sedimente verschiedenen Ursprungs und Alters können in 2 wesentliche geologische Schichten unterteilt werden: Glaziale und fluvioglaziale Ablagerungen des Rhone-Gletschers, stammend aus den östlich gelegenen Walliser Alpen, werden von Sedimenten des Flusses Arve, stammend aus den südlich gelegenen französischen Alpen, namentlich des Mont-Blanc

1 Introduction

The rail-link CEVA, an acronym for Cornavin, the Swiss Railway station in Geneva, Eaux-Vives, the former French terminal station, and Annemasse in France, has a long history. After approval from the Swiss Parliament construction was initially planned to begin in 1912, it has however taken more than a century for construction to begin. The alignment chosen allows the construction of several stations close to important centers within the city (Fig. 1).

The central and main section of the CEVA project is formed by the 1,631 m long Tunnel de Champel beneath the synonymous plateau, some 50 m above the level of the Arve River, a favored residential area and close to the Geneva main hospital on the north slope of the plateau.

2 Ground conditions

The entire length of the Tunnel de Champel will be excavated of soft soil. The ground consists of quaternary sediments of varying ages that were jointly deposited by the glaciers and rivers that came from different valleys of the Alps. The Rhone glacier flowed in from east along what is now Lake Geneva (Lac Léman) and transported material from the west-central Alps in the Valais. The tributary Arve brought sediments from the French Alps in Savoie, a region to the south, essentially from the north slope of the Mont Blanc massif.

CEVA Tunnel de Champel

Percement d'un tunnel de 1,6 km en terrain meuble dans le centre-ville

Le tunnel de Champel fait partie de la nouvelle ligne ferroviaire du CEVA qui devrait relier la gare centrale de Genève à la ville française d'Annemasse à partir de 2017. Long de 1631 m, le tunnel à 2 voies passe sous un quartier fortement urbanisé, avec une couverture minimale de seulement 10 m. Le percement dans les dépôts fluvio-glaciaires du Rhône et de l'Arve a lieu en pleine section sous la protection d'une voûte parapluie.

CEVA Tunnel de Champel

1,6 km di scavo di galleria in materiale sciolto in centro città

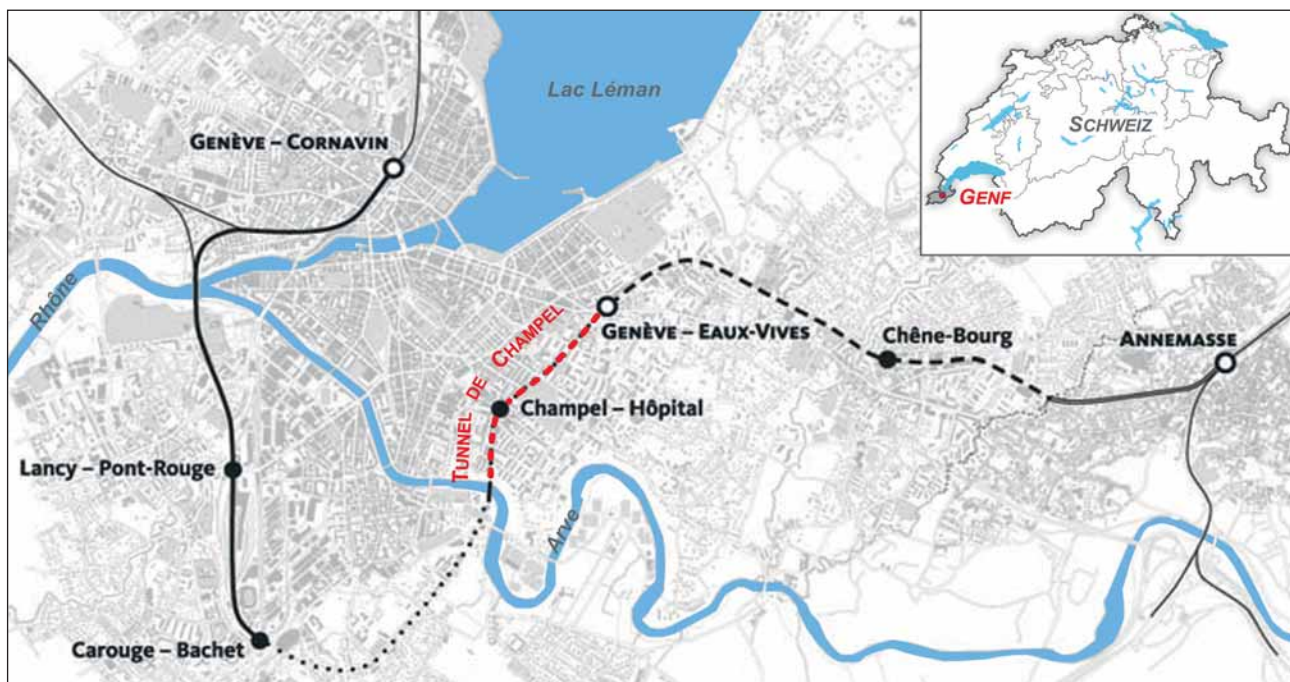
Il Tunnel de Champel fa parte della nuova linea ferroviaria CEVA, che a partire dal 2017 dovrebbe collegare la stazione di Ginevra con la città francese di Annemasse. Questa galleria a doppia corsia lunga 1,631 m passa sotto un quartiere densamente abitato con coperture minime di soli 10 m. L'avanzamento nei sedimenti fluvio-glaciali del Rodano e dell'Arve avviene con scavo a sezione piena sotto protezione sistematica di un ombrello d'infilaggi.

Massivs, sowie Deckschichten überlagert. Der Grundwasserspiegel liegt 5 bis 10 m unterhalb der Tunnelsohle.

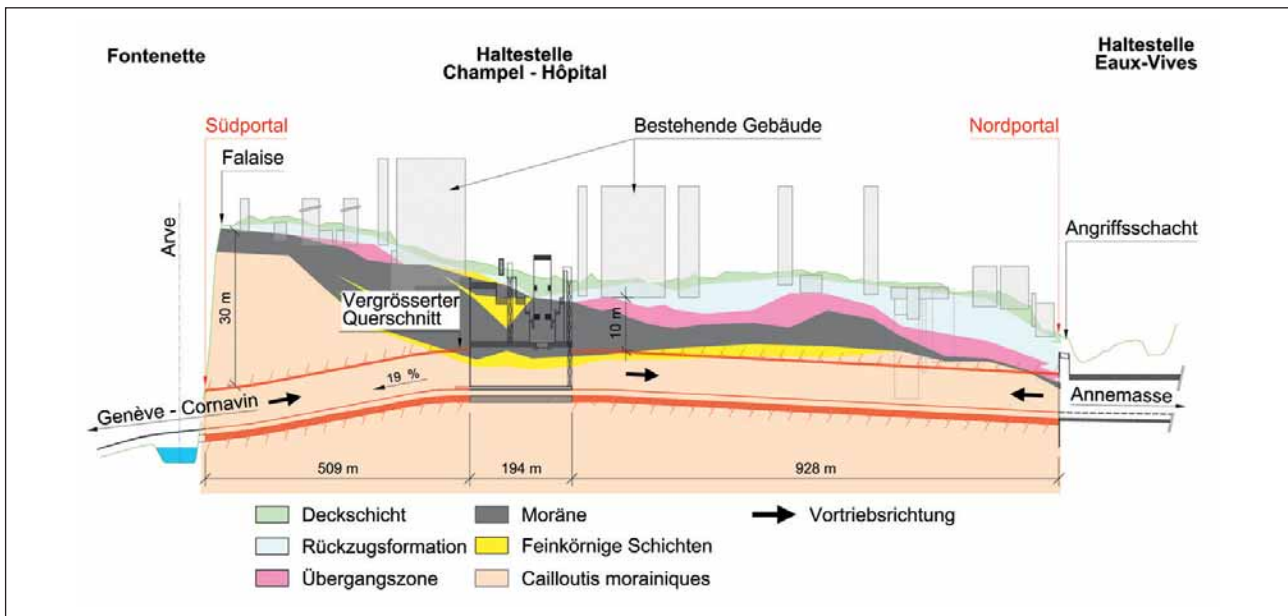
Die untere Hälfte des Tunnelprofils befindet sich über die ganze Strecke in Alten Schottern, in Genf als Cailloutis morainiques bezeichnet (Bild 2). Abgelagert zwischen den letzten beiden Eiszeiten (Würm und Riss) weist diese teilweise zementierte Schicht eine sehr heterogene Kornverteilung auf. Saubere Kiese mit maximalen Korngrößen zwischen 50 und 200 mm wechseln sich mit siltigen Kiesen ab. Klassifiziert werden die Cailloutis morainiques mehrheitlich als GM oder GP, lokal werden jedoch auch sandigere Abschnitte mit SM, SW oder SP prognostiziert.

Die Cailloutis morainiques werden von einer dicht gelagerten, undurchlässigen Moräne der letzten Eiszeit (Würm)

Geneva has developed a system of classification that describes the geotechnical properties of the different formations. The lower part of the plateau de Champel (Fig. 2) is formed by old gravel (Cailloutis morainiques) deposited between the last 2 stages (Würm and Riss) of the ice age. These gravels are locally heterogeneously and are partly cemented. Other parts are essentially clean gravels with maximum grain sizes between 50 and 200 mm. Slightly silty gravels are also present. They are classified as either GM or GP. Below the water table GP exist, as well as some sandier sections with SM, SW, SP. Boulders are also present in certain layers. The groundwater table is about 5 to 10 m below the tunnel invert. The lower part of the tunnel cross section is located within this gravel layer. Moraine from the last phase (Würm) of the ice age covers this old gravel. This consists of dense silty gravel, clayey silt to silty clay. Suspended water



1 Linienführung der Bahnlinie CEVA
Route of the new railway CEVA



2 Geologisches Längenprofil des Tunnel de Champel
Geological section along the Tunnel de Champel

überlagert. Diese setzt sich aus siltigem Kies, tonigem Silt bis hin zu siltigem Ton zusammen und kann lokal in durchlässigeren Linsen gespannte Grundwasserverhältnisse aufweisen. Überdeckt wird die Moräne von einer normalkonsolidierten, während des Gletscherrückzugs entstandenen Formation. Diese Schicht weist eine variable Dicke von maximal 10 m auf, wird jedoch durch den Tunnelvortrieb nur auf den nördlichen 200 m aufgeföhren.

Die Deckschichten und künstlichen Auffüllungen weisen nur eine geringe Mächtigkeit auf und sind für den Tunnelvortrieb von untergeordneter Bedeutung.

Die in mehreren Etappen zwischen 2004 und 2011 ausgeführten Baugrunduntersuchungen umfassten insgesamt 14 Kernbohrungen. In den Bohrungen wurden systematisch alle 3 m SPT-C-Tests sowie sporadisch Dilatometerversuche durchgeführt. Vier Kernbohrungen reichten bis unter den Grundwasserspiegel und dienten der Bestimmung der Durchlässigkeit der Cailloutis morainiques. Zusätzlich wurden in den Abschnitten mit geringster Firstüberlagerung 8 dynamische Penetrometer-Versuche zur Bestimmung der Schichtdicke der Rückzugsformation ausgeführt.

3 Bahnlinie im innerstädtischen Gebiet

3.1 Horizontale und vertikale Linienführung

Wie in Bild 1 dargestellt verbindet die geplante Bahnlinie CEVA das heutige Ende des SBB-Schienennetzes ab Carouge-Bachet mit demjenigen der SNCF im bestehenden Bahnhof Eaux-Vives. Dazwischen soll das Quartier Champel mittels der neuen Haltestelle Champel-Hôpital an das neue Trasse angebanden werden.

tables may be present in this moraine. The moraine is covered by a soft glacial retreat of variable thicknesses close to the surface. The material of the retreat was left frozen by the glaciers and thawed thereafter, and is not pre-consolidated. With the exception of the northern 200 m, this material is only present above the tunnel. This layer has a thickness of several meters to a maximum of approximately 10 m. Some of the buildings near the northern end of the tunnel located outside the tunnel alignment are founded on piles.

Site investigation, that was carried out from 2004 to 2011, included over several stages, 14 borings 10 m below the invert of the tunnel. Four of them were made into the aquifer to determine the permeability of the old gravel or gravel moraine (Cailloutis morainiques). In addition – the area of the smallest overburden – 8 dynamic penetrometers were used to determine the thickness of the soft layer of the glacial retreat. In the borings, SPT tests were systematically carried out every 3 m with the closed conical tip (SPT-C).

3 Alignment and urban constraints

3.1 Horizontal and vertical alignment

The various constraints interact with one another. When attempting to avoid a constraint it is often the case that another constraint is created. Constraints consist in planes, i.e. in horizontal and vertical directions. As illustrated in Figure 1 the CEVA project begins at the end of the existing Swiss Rail line at La Praille, the intermediate station is located at Champel-Hôpital and the northern portal is located at the French Rail Terminus Eaux-Vives. An important requirement when designing the station was that the platforms were not to be located too deep below the surface. In effect this reduces the overburden over the tunnel, below the existing

Die vertikale Linienführung des Tunnel de Champel wird auf der Nordseite durch die Höhenlage des Bahnhofs Eaux-Vives bestimmt. Auf der Südseite dagegen muss die zur Querung der Arve erforderliche Brücke eine ausreichende lichte Höhe zum Hochwasserpegel aufweisen. Und nicht zuletzt dürfen in Tunnelmitte die Perrons der Haltestelle Champel-Hôpital aus Gründen der Kundenattraktivität nicht zu tief liegen.

Unter Berücksichtigung all dieser Randbedingungen sowie den bahntechnischen Anforderungen bleibt wenig Spielraum zur Optimierung der Linienführung, was eine direkte Auswirkung auf die möglichen geotechnischen und bautechnischen Gefährdungsbilder und somit auf die Herausforderungen für den Tunnelvortrieb zur Folge hat.

3.2 Innerstädtische Randbedingungen

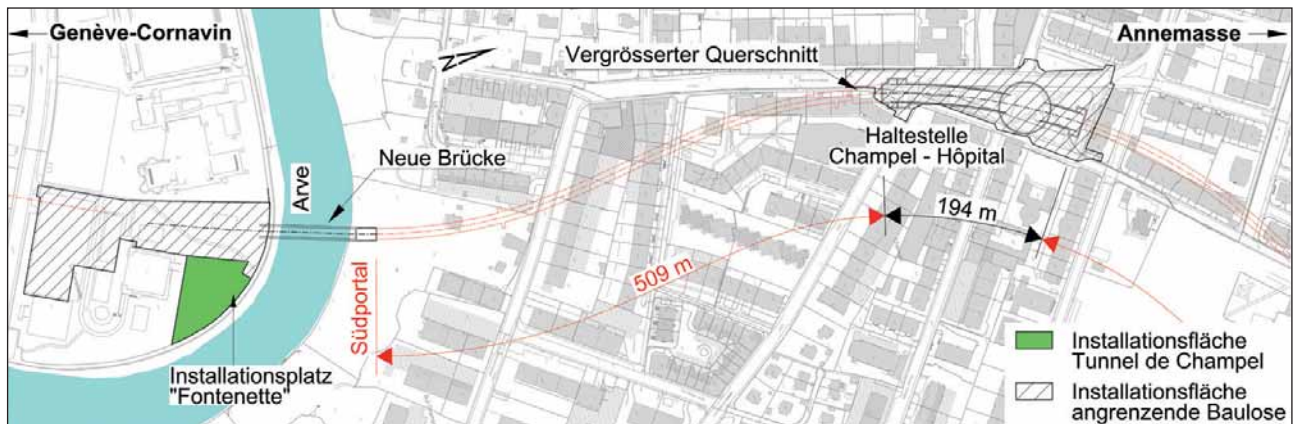
Im Verlauf des 20. Jahrhunderts wurde das Plateau de Champel – vom Stadtzentrum bzw. Carouge aus nur über steile Rampen zu erreichen – zu einer bevorzugten Wohnlage in Genf. Der Baustellenverkehr innerhalb dieses Quartiers ist deshalb auf ein Minimum zu beschränken, d.h. nur die in Deckelbauweise zu erstellende, 30 m tiefe Haltestelle Champel-Hôpital kann von der Oberfläche erschlossen werden. Der Tunnelvortrieb dagegen erfolgt vom Südportal in Richtung Haltestelle. Die letzten 28 m vor der Haltestelle sind hierbei in einem vergrößerten Querschnitt auszubrechen, um die normgemässe Perronlänge von 220 m zu ermöglichen (Bild 3).

buildings. For environmental reasons, the aquifer below the Arve River cannot be penetrated. The Arve River has to be crossed with sufficient clearance of the flood level. When all these factors are considered, there remains little margin for shifting the alignment. The alignment was dictated by these constraints and as a result, not all unfavorable geotechnical conditions could be avoided.

3.2 Urban constraints and access for construction

The western portal is located on the eastern bank of the Arve River (Fig. 3) at the foot of a steep high slope, comparable to a cliff (In French, "Falaise"). To begin the tunnel excavation, a portal cut, as well as a temporary river crossing from the west bank (where the contractor can establish his work areas) has to be built. The steep slope of the "Falaise" requires different stabilization measures. The upper part of the slope will be protected by a wire mesh preventing the separation of blocks of cemented gravel from the face of the cliff. The construction of the supporting works in the cliff is planned with a combination of soil nailing, micro piles and tiebacks.

During the 20th century the Plateau de Champel has become a favored residential area, accessible only by steep ramps from the river levels. For this reason, only essential construction traffic shall enter this area. This means that the excavation of the intermediate Champel station (to be built in a 30 m deep cut-and-cover pit) can only be carried



3 Übersicht über den südlichen Abschnitt des Tunnel de Champel
Plan view of the southern section of the Tunnel de Champel

Das Südportal des Tunnel de Champel befindet sich auf der Nordseite der Arve (Bild 3) am Fusse einer ca. 40 m hohen Steilböschung, im Französischen "Falaise" genannt. Die Arbeiten für den Portaleinschnitt umfassen einerseits vorgängige Hangsicherungsmaßnahmen, andererseits Spezialtiefbaumaßnahmen in Form einer Kombination von Nagelwänden, Mikropfählen und Vorspannankern. Vor Beginn dieser Arbeiten wird vom Nachbarlos eine Hilfsbrücke ab dem Installationsplatz Fontenette zur Verfügung gestellt. Dieser befindet sich auf dem Gebiet der angrenzenden Stadt Carouge direkt neben dem Freibad bzw. dem Bouldrome und dient gleich 3 Baulosen des Projekts CEVA als Hauptinstallationsfläche.

out from the surface. For the construction of the tunnel no transport of material (muck, construction material) is allowed from the surface. Once the station structure is completed and the tunnel from the south portal is excavated, transportation will solely be carried out from the south portal. For the same reason the south end of the station, (a 28 m long section), must be constructed underground, in an enlarged section of the tunnel (Fig. 3).

At the northern end, near Eaux-Vives (Fig. 4), the major road "Avenue Théodore Weber" passes from the south and allows for transportation. Access to the north portal is however limited, meaning transportation has to pass through the Eaux-



4 Übersicht über den nördlichen Abschnitt des Tunnel de Champel
Plan view of the northern section of the Tunnel de Champel

Eine weitere dem Unternehmer zur Verfügung stehende, wiederum von mehreren Baulosen genutzte Installationsfläche befindet sich beim Bahnhof Eaux-Vives (Bild 4). Der Gegenvortrieb vom Nordportal in Richtung Haltestelle Champel-Hôpital startet auf Höhe der Avenue Théodore Weber. Hier wird durch das Nachbarlos vorgängig ein Angriffsschacht zur Verfügung gestellt, allerdings verhindern die engen Platzverhältnisse auch hier den direkten Zugang von der Oberfläche aus. Vielmehr erfolgen die Materialtransporte durch den angrenzenden Abschnitt in Deckelbauweise über den Bahnhof Eaux-Vives. Das bedeutet, dass sowohl der Zeitpunkt des Vortriebsbeginns als auch die Dauer des Gegenvortriebs abhängig von den Bautätigkeiten der angrenzenden Baulose sind.

Ergänzend zu den begrenzten Platz- und Zugangsverhältnissen hat eine Tunnelbaustelle im innerstädtischen Umfeld strenge umwelt- und anwohnerbedingte Auflagen zu erfüllen. Von der Bauherrschaft wurde aus diesem Grund ein aufwendiges Überwachungskonzept aufgestellt, welches eine durchgehende Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte bzgl. Lärm, Vibrationen, Staubbildung oder Schutz des Grundwasserträgers gewährleisten soll.

3.3 Normalprofil

Der Doppelspurtunnel weist einen zweischaligen Ausbau (Bild 5) bestehend aus einer Ausbruchsicherung und einer definitiven Verkleidung mit einer dazwischen liegenden Regenschirmabdichtung auf. Der Innenradius des Innengewölbes beträgt 5,10 m. Infolge des Rohrschirmvortriebs variiert die Ausbruchfläche zwischen 105 und 140 m². Die Dicke der Festen Fahrbahn richtet sich an die jeweiligen Anforderungen zur Vibrationsbegrenzung. Die Regenschirmabdichtung besteht aus einer Drainageschicht sowie einer FPO-Abdichtungsfolie. Die Tunnelentwässerung erfolgt im Mischwassersystem.

4 Vortriebskonzept

Wie im Längenprofil (Bild 2) dargestellt, werden durch den Tunnelvortrieb mehrere Gebäudekomplexe mit einer minimalen Firstüberdeckung von ca. 10 m direkt unterquert.

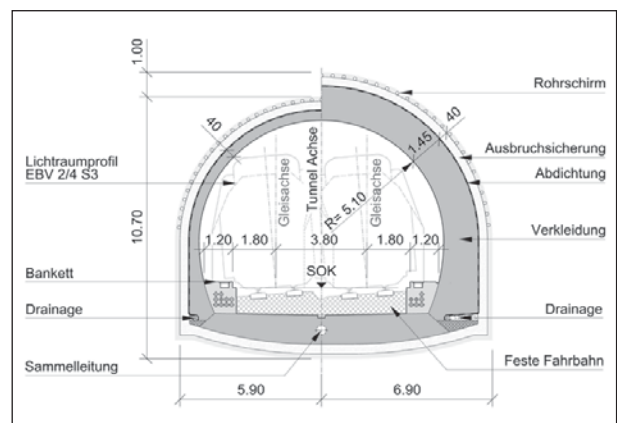
Vives station and the west-bound cut-and-cover, where the basic structures have to be completed first. The contractors must establish their work areas within the Eaux-Vives station.

Even though a shaft at the contract section will be constructed for lifting of large machinery and materials, such as drilling equipment for the roof umbrella and the formwork for placing the concrete for the final liner, the main tunnel drive only starts more or less 2 years after initiation of the works.

In addition, the construction must fulfill the various environmental regulations, such as the protection of aquifers and surface water, noise and vibration limits, dust and exhaust gas limits. A mandate for an environmental follow-up has been awarded that takes care of these aspects.

3.3 Tunnel design

The ballastless double track tunnel is supported by a double shell lining (Fig. 5) with an inner radius of 5.10 m. Due to the pipe umbrella the total excavation section varies between 105 and 140 m². The tunnel is waterproofed by an umbrella system consisting of a drainage layer and a membrane. The waterproofing is connected to a combined drainage system.



5 Normalprofil des Tunnel de Champel
Standard cross section of the Tunnel de Champel

Die Gebäude weisen hierbei sehr unterschiedliche Fundationsverhältnisse und daraus resultierende Setzungsanfälligkeiten auf. So stammen die Gebäude südlich der Haltestelle (Bild 3) aus den Jahren 1950 bis 1970 und weisen Untergeschosse in Stahlbeton auf. Dagegen wurde das Gebäude auf der Ostseite der Haltestelle in den 1920ern erbaut, ist auf Streifenfundamenten gegründet und weist Backsteinmauern sowie höchstwahrscheinlich Holzböden auf (Bild 4). Wiederum andere Fundationsverhältnisse sind ca. 200 m vom Nordportal entfernt bei der Unterquerung einer Einstellhalle aus den 1970ern zu erwarten.

Tagbruch, Instabilität der Ortsbrust und die Erzeugung von unzulässigen Oberflächensetzungen stellen die Hauptgefährdungsbilder für den Tunnelvortrieb dar. In Anbetracht der dichten Bebauung und des sensiblen Umfelds ist die konsequente Begrenzung von Oberflächensetzungen eine der zentralen Anforderungen des Projekts. Neben der Planung eines geeigneten Vortriebsverfahrens sowie der Wahl der erforderlichen Bauhilfsmassnahmen wurde deshalb bereits in einer frühen Projektierungsphase der Tunnelvortrieb simuliert (im vorliegenden Fall erfolgte dies sowohl mit empirischen als auch mit numerischen Methoden) und die resultierende, prognostizierte differentielle Setzung mit der Schadenanfälligkeit der Gebäude verglichen. Während des Vortriebs schliesslich werden die Konvergenzen im Tunnel, Baugrunddeformation, Oberflächensetzungen sowie die Gebäude kontinuierlich überwacht. Falls notwendig, muss als Konsequenz der Messergebnisse das Vortriebsverfahren in geeigneter Weise angepasst werden.

4.1 Gewähltes Vortriebsverfahren

Infolge der dichten Überbauung oberhalb des Tunnels sind Setzungen soweit möglich zu begrenzen und Ortsbrustinstabilitäten oder gar Tagbrüche zu verhindern. Zusätzlich zu diesen Anforderungen musste ein flexibles Vortriebsverfahren gewählt werden, um sowohl auf unterschiedliche Baugrundverhältnisse, als auch den vergrösserten Ausbruchquerschnitt am Süden der Haltestelle Champel-Hôpital reagieren zu können.

Aufgrund der vergleichsweise kurzen Vortriebsstrecken (509 m Vortrieb für den südlichen und 928 m für den nördlichen Abschnitt) sowie den innerstädtischen Verhältnissen, welche die Möglichkeit von Interventionen von der Oberfläche stark begrenzen, wurde ein konventioneller bergmännischer Vortrieb gewählt. Bei einem solchen Vortrieb im Lockergestein mit kleinen Überlagerungen sind vorausseilende Bauhilfsmassnahmen wie z.B. ein Rohrschirm oder ein Jetting-Gewölbe sowie eine ausreichende Ortsbruststützung mittels subhorizontalen Brustankern oder Jettingsäulen unumgängliche Massnahmen zur Beherrschung der vorhandenen Gefährdungsbilder. Zusätzlich ist zur Begrenzung der Oberflächensetzungen ein Vollausbuch mit sofortigem Ringschluss von Vorteil.

Der Tunnel de Champel wird auf der gesamten Länge im Vollausbuch im Schutze eines Rohrschirms aufgeföhren (Bild 6).

4 Tunnel construction method

The longitudinal section (Fig. 2) displaying the location of the buildings and their foundation shows the critical areas on both sides of Champel station. The smallest overburden measures approximately 10 m. The location of the building in the section south of Champel station is shown in Figure 3 and east of the station in Figure 4. The buildings south of the station date from the 1950 to 1970's. Their basements are constructed from reinforced concrete. In contrast, the building on the eastern side of Champel station dates back to the 1920's. It has been constructed with a strip footing, masonry walls and more than likely wooden floors and beams. About 200 m from the northern end, a parking garage dating from the 1970's has to be crossed with small overburden of a few meters. The sensitivity of the buildings is thus substantially different.

Consequently avoiding face collapses and limiting the surface settlements are 2 of the main issues in this project. To achieve this, an appropriate tunnel method must first be chosen. The tunnel excavation must then be simulated (in the present case this was done by both empirical and numerical methods) and the resulting, estimated differential settlements and inclinations must be compared with the vulnerability of the existing buildings. During construction, tunnel convergences, ground deformations as well as surface settlements and existing buildings must be continuously monitored. If necessary, the tunnel construction method must to be adapted appropriately.

4.1 Selected tunnelling method

Damage to the densely populated settlement below the tunnel must be avoided. Face collapse with subsequent collapse to the ground surface will not be accepted. In addition the selected construction method must remain flexible, allowing the adaption to different ground conditions, and to the enlarged tunnel cross section at the southern end of the Champel station.

Due to the comparatively short tunnel sections, (509 m excavation for the southern and 928 m for the northern section) and the urban area eliminating the possibility of interventions from the surface, excavation by mechanical means was chosen. In large scale excavations where settlements have to be limited, pre-support methods such as a pipe umbrella arch in combination with sub-horizontal fiber glass support are widely used. They are judged to be advantageous with regard to settlements, compared to the traditional heading and benching method, where substantial deformations are anticipated, as the support in the crown may punch into the temporary invert.

In the present case, the Champel tunnel will be excavated in full section under the protection of a continuous pipe umbrella arch, overlapping 3 to 5 m depending on the ground

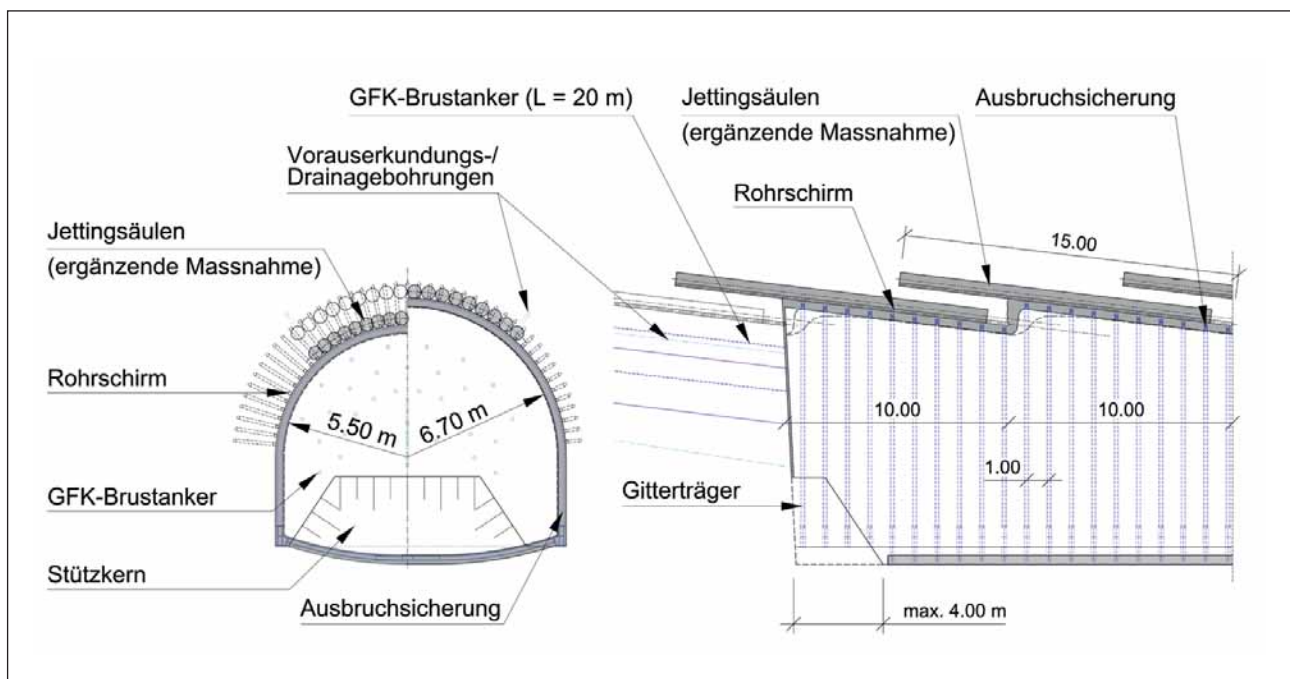
Die Überlappung des Rohrschirms variiert je nach Geologie zwischen 3 und 5 m. Die Stahlrohre weisen einen Durchmesser von 140 mm, eine Wanddicke von 10 mm sowie eine Länge von 15 m auf. Auch aufgrund der horizontalen Linienführung mit engen Radien werden sie mit einer Neigung von 6 bis 7° gebohrt und anschliessend verfüllt oder ausinjiziert. Jede Rohrschirmetappe besteht aus ca. 40 Rohren angeordnet in einem Achsabstand von 40 cm. Die Gesamtlänge einer Ausbruchtetappe beträgt 10 bis 12 m je nach geologischen Verhältnissen. Die Ortsbruststützung erfolgt systematisch durch 20 m lange, subhorizontale GFK-Brustanker. Ihre Anzahl wurde mittels des Ansatzes von Anagnostou [1] zur Berechnung der Ortsbruststabilität bestimmt und infolge der grossen prognostizierten Spannweite der Kohäsion anhand von probabilistischen Methoden verifiziert. In der Regel sind 30 bis 45 GFK-Anker pro Ausbruchtetappe vorgesehen. Die Ausbruchsicherung besteht aus schweren 4-Gurt-Gitterträgern alle 1,0 m sowie stahlfaserbewehrtem Spritzbeton. Die Abschlagslänge beträgt 1,0 m, der Ringschluss erfolgt 3 bis 4 m hinter der Ortsbrust. In der Sohle besteht die Ausbruchsicherung aus Stahlbogen, welche über einen vorgefertigten Stahlfuss an die Gitterträger angeschlossen werden, sowie aus stahlfaserbewehrtem Spritzbeton. Als weitere, systematische Bauhilfsmassnahme sind vortriebsbegleitende Vorauserkundungs- und Drainagebohrungen vorgesehen.

In Abschnitten, in denen die glaziale Rückzugsformation im oberen Profilteil eintritt, sieht das Projekt Jetting-Säulen im Firstbereich ergänzend zum Rohrschirm vor. Hier wird das Jetting-Gewölbe bis zum Übergang mit der besseren unterliegenden geologischen Schicht ausgeführt. Im Übergangsbereich zur Haltestelle Champel-Hôpital, einer Zone mit speziell geringer Firstüberdeckung sowie direkt überlagernden

conditions (Fig. 6). The steel pipes used have a diameter of 140 mm, a wall thickness of 10 mm, a length of 15 m and are bored at 7°, in an upward direction (due to the horizontal alignment). Each section contains about 40 pipes with a constant distance of 40 cm between the pipes. The glacial subsoil poses further challenges. The drilling works is a difficult process. Resistant drilling heads and powerful rigs are essential requirements. Sub-horizontal fiber glass bolts with a length of 20 m will systematically support the tunnel face. Their density was estimated based on an approach previously used to determine the face stability by Anagnostou [1]. Given the wide range for the cohesion of the main geologic layers, additional studies have been carried out using probabilistic methods. After an excavation of maximal 1.0 m is completed, the circumference is supported by lattice girders and reinforced shotcrete. The closed support ring is installed 3 to 4 m behind the tunnel heading, representing another crucial part for limiting the ground deformations. It consists of steel ribs connected to the lattice girders by a special prefabricated steel element and 40 cm of shotcrete.

Geotechnical measures include the drilling of systematic boreholes used for investigation and drainage, as well as for making injections through the umbrella pipes. In cases where soft glacial retreat is expected, the space between the umbrella pipes will be stabilized by jet-grouting. In zones with small overburden combined with important overlying buildings, adjacent to Champel station (Fig. 2), a double umbrella is planned.

The distribution of the different types of pre-support and auxiliary measures is summarized in Table 1.



6 Vortriebsverfahren des Tunnel de Champel
Excavation method of the Tunnel de Champel

Typ	Baugrundverhältnisse	Vorauseilende Sicherung	Ergänzende Bauhilfsmassnahmen	Bruststützung	Prognostizierte Länge [m]
1	Sohle in Cailloutis morainiques, First in Moräne	Einfacher Rohrschirm	Ausinjizieren des Rohrschirms	GFK-Anker	940
2	Sohle in Cailloutis morainiques, First in Rückzugsformation	Einfacher Rohrschirm	Ausinjizieren des Rohrschirms, Jetting	GFK-Anker	430
3	Wie 1, geringe Überdeckung (Übergang zur Haltestelle)	Doppelter Rohrschirm	Ausinjizieren des Rohrschirms	GFK-Anker	67

Table 1 Verteilung und Kombination der Bauhilfsmassnahmen

Type	Ground conditions	Pre-support	Auxiliary measures	Face support	Predicted length [m]
1	Invert in gravel, crown in moraine	Single pipe umbrella	Injection through pipes	Fiber glass bolts	940
2	Invert in gravel, crown in glacial retreat	Single pipe umbrella	Injection through pipes, jet-grouting in crown	Fiber glass bolts	430
3	As 1, but small overburden (entrance to the station)	Double pipe umbrella	Injection through pipes	Fiber glass bolts	67

Table 1 Main types of pre-support and auxiliary measures

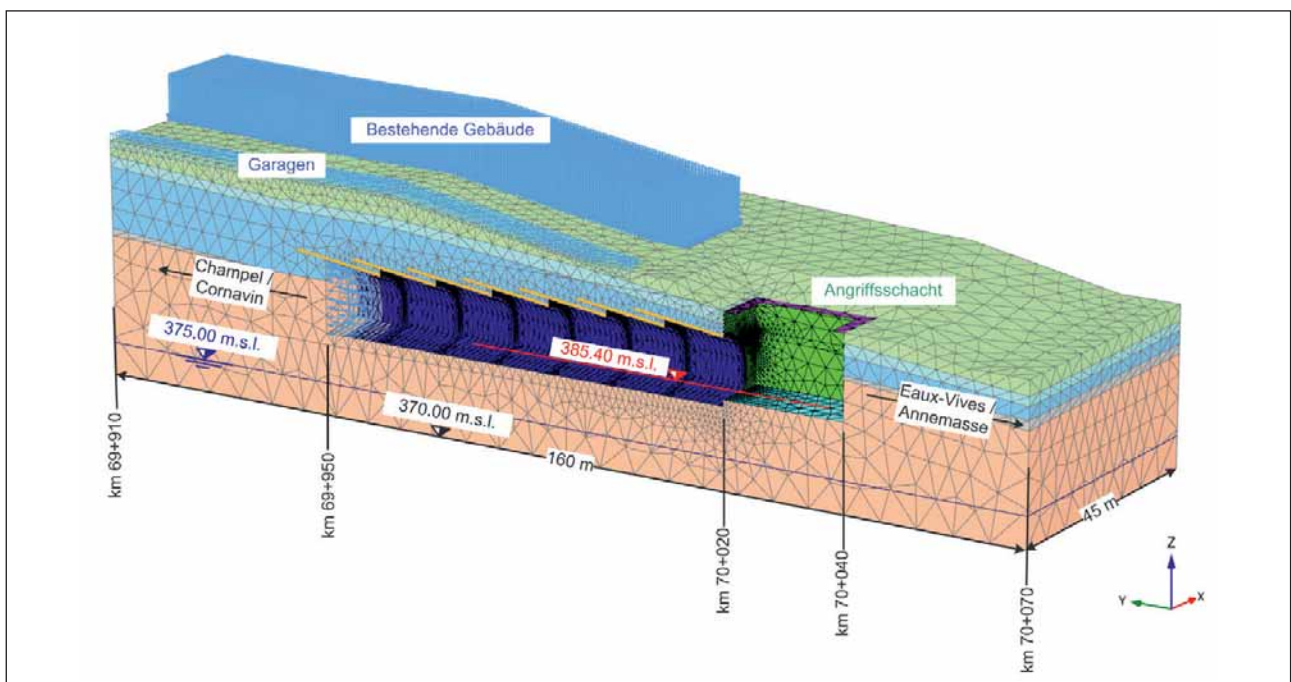
Gebäuden, ist ein doppelter Rohrschirm geplant. In Tabelle 1 ist eine Zusammenstellung der geplanten systematischen und ergänzenden Bauhilfsmassnahmen pro Homogenbereich ersichtlich.

Die Hauptsicherungstypen werden vervollständigt durch vordefinierte, sporadische Zusatzmassnahmen (z.B. Erhöhung des Grades der Ortsbruststützung, Reduktion des Abstandes zwischen Ortsbrust und Ringschluss, zusätzliche Drainagebohrungen usw.), welche nach Bedarf angewendet werden können.

The main types are completed by pre-defined sporadic measures (e.g. increasing the density of fiber glass bolts, reducing the distance of the closed support to the tunnel heading or additional boreholes for drainage) which will then be applied as needed.

4.2 Modeling tunnel excavation in order to estimate the surface settlements

Due to the complexity of tunnelling in a dense urban area, analyses based on empirical methods or even numerical plane strain models were not considered to be sufficiently



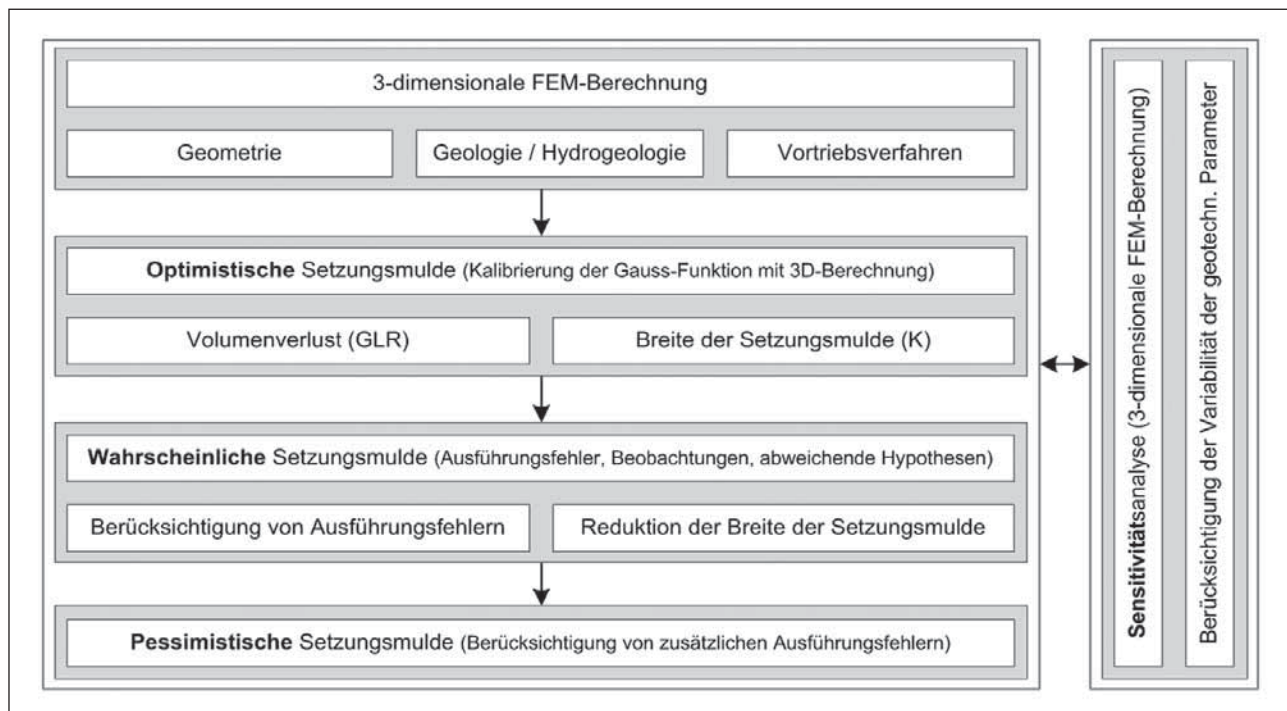
7 Beispiel eines 3-dimensionalen FE-Berechnungsmodells
Example of a 3-dimensional FEM-model

4.2 Prognose der Oberflächensetzungen

In Anbetracht der Komplexität des vorliegenden Projekts wurden Berechnungen zur Abschätzung der zu erwartenden Oberflächensetzungen nur basierend auf empirischen Methoden oder auch numerischen Modellen im ebenen Spannungszustand als ungenügend erachtet. Um den Vortriebsvorgang korrekt simulieren zu können, wurden 3-dimensionale Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente (FE) für nahezu die gesamte Tunnellänge durchgeführt (Bild 7). Damit konnten sowohl die geotechnischen Parameter des Baugrunds, die initialen Spannungsverhältnisse, als auch das Vortriebsverfahren unter Berücksichtigung der Bruststützung, der Steifigkeitsentwicklung der Ausbruchsicherung, der Abschlagslänge sowie der Ringschlussdistanz nachgebildet werden. Selbstverständlich basiert ein solches FE-Modell auf zahlreichen Annahmen und stellt weiterhin eine starke Vereinfachung der Wirklichkeit dar. So können u.a. Ausführungsfehler wie z.B. ein un-

reliable. A 3-dimensional analysis is therefore also required. In order to properly evaluate the excavation process, additional 3-dimensional finite element analyses (FEM) have been carried out for almost the total length of the tunnel (Fig. 7). These models are capable of assessing the geotechnical parameters, the initial stresses or the construction method, including face support, phasing of support, round length and distance of the closed support ring to the heading, but ignore errors due to inappropriate execution (e.g. boring and injection of the pipe umbrella). As a result, the FEM analyses provide estimated ground deformation due to 3-dimensional stress redistribution.

The 3-dimensional FEM-analyses method is very time-consuming and therefore does not allow a dynamic interaction between simulation and in-field-monitoring during the excavation works. Therefore, the concept shown in Figure 8 has been used.



8 Konzept zur Abschätzung der Oberflächensetzungen
Concept applied for the settlement estimation

korrektes Bohren und Injizieren des Rohrschirms mit dem Berechnungsmodell nicht berücksichtigt werden. Als Resultat liefern die FE-Berechnungen lediglich die rechnerischen Deformationen aufgrund der 3-dimensionalen Spannungsumlagerung infolge des Tunnelausbruchs.

Da die 3-dimensionalen FE-Berechnungen sehr zeitintensiv sind und somit einen kontinuierlichen Abgleich zwischen Berechnungsmodell und messtechnischer Überwachung während des Vortriebs praktisch unmöglich machen, wurde das in Bild 8 abgebildete Konzept entwickelt. In einem ersten Schritt wurde ein empirisches Modell basierend auf der Gauss-Funktion (z.B. [4, 3]) anhand der FE-Berechnungen

In a first step, an empirical model based on the Gaussian function (e.g. [4, 3]) has been calibrated with the FEM-analyses which results in the so-called "optimistic settlement trough". FEM-models often tend to overestimate the settlement trough width compared to observation [2]. This is then compensated in the next step. Adding volume loss due to execution errors results in the "probable settlement trough". Considering additional errors due to inappropriate execution leads us to the third and last step (pessimistic settlement trough).

Even a 3-dimensional FEM-analysis is only as good as the estimation of the geotechnical parameters taken into ac-

kalibriert. Daraus resultierte die hier als "optimistisch" bezeichnete Setzungskurve. Da FE-Berechnungen erfahrungsgemäss dazu neigen, die Breite der Setzungsmulde zu überschätzen [2], wurde dies im nächsten Schritt kompensiert. Zusammen mit einem zusätzlichen Volumenverlust zur Berücksichtigung von Ausführungsfehlern ergab sich die "wahrscheinliche" Setzungskurve. Im dritten und letzten Schritt wurden schliesslich nochmals weitere Ausführungsfehler und Ungenauigkeiten berücksichtigt ("pessimistische" Setzungskurve).

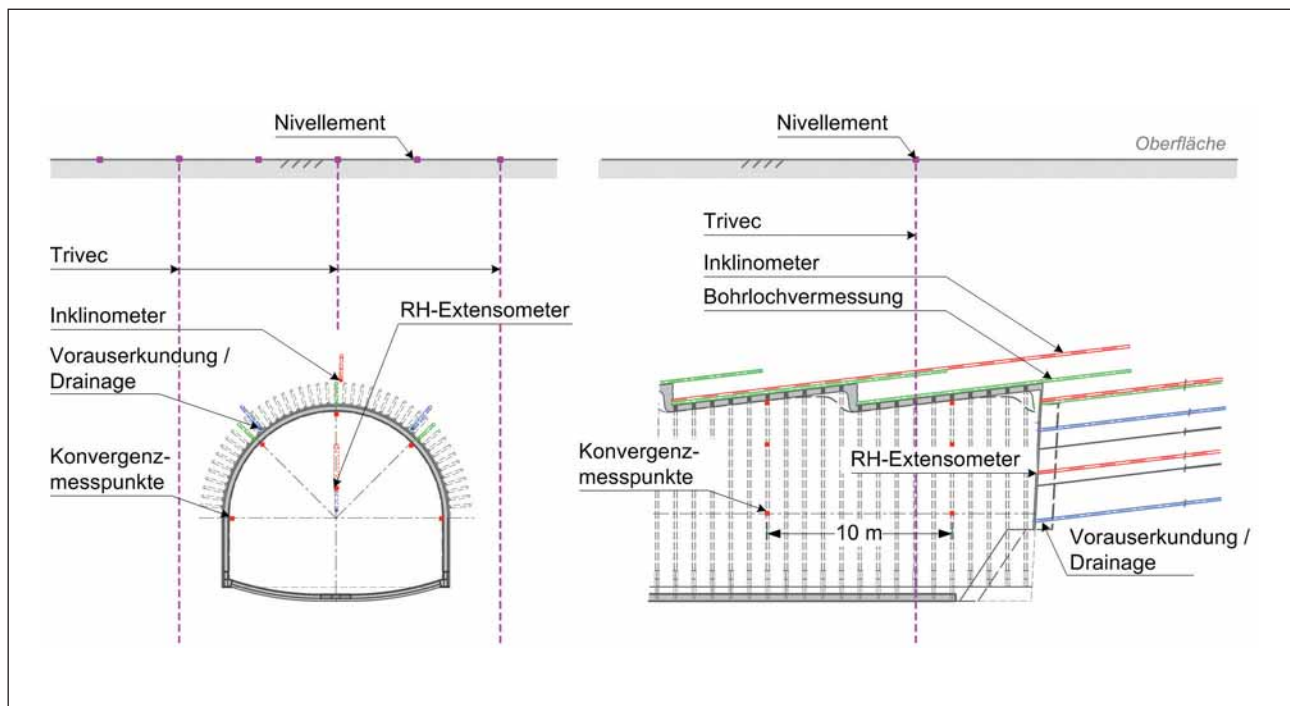
Auch eine 3-dimensionale FE-Berechnung ist jedoch nur so verlässlich wie die Abschätzung der geotechnischen Eingabeparameter. Da diese bekanntermassen stark variieren können, wurde zusätzlich eine Parameterstudie zur Bestimmung der Sensitivität der berechneten Setzungen in Bezug auf die geotechnischen Baugrundeigenschaften durchgeführt und für die Prognosen berücksichtigt.

count. It is well known that these parameters can vary greatly. For this reason an additional parametric study has been carried out in order to determine the sensitivity of the calculated surface settlements by varying geotechnical parameters.

4.3 Soil-structure interaction analysis

In the present case, the soil-structure interaction analysis falls to another mandate. This mandate covers the investigation of the existing buildings, an information synthesis and a damage criteria choice, leading to a vulnerability classification of the existing buildings. Combined with the estimated settlement trough (chapter 4.2), every single building within a certain range will be classified according to its risk of damage.

To ease the interface between settlement estimation and soil-structure interaction analysis, a computer-based form is



9 Konzept zur Überwachung des Tunnelvortriebs
Monitoring concept

4.3 Analyse der Boden-Bauwerks-Interaktion

Im vorliegenden Projekt bildet die Analyse der Boden-Bauwerks-Interaktion einen von der Planung des Tunnels gesonderten Auftrag. Nebst der messtechnischen Überwachung der bestehenden Gebäude während der Bauarbeiten beinhaltet dieses Mandat die Bestandsaufnahme der Gebäude, die Wahl von Schadenskriterien in Bezug auf Setzungen und Vibrationen sowie daraus resultierend die Klassifizierung der Gebäude anhand ihrer jeweiligen Schadenanfälligkeit. Kombiniert mit der voraussichtlichen Setzungsmulde (gemäss Kap. 4.2) kann anschliessend jedes Gebäude innerhalb des Einflussbereichs des Tunnels in eine vordefinierte Risikoklasse eingeteilt werden.

provided allowing the user to calculate the estimated settlement at a specific coordinate and as a function of the tunnel section excavated.

4.4 Monitoring

During construction, the tunnel monitoring will include geodetic convergence measurements on the lining, horizontal inclinometers in a selection of the pipes, and reverse-head-extensometers in the heading. In addition, some control sections at the surface, including leveling and combined incremental extensometers and inclinometers will be used to calibrate and validate the estimated settlements (Fig. 9).



10 Ansicht des Voreinschnitts an der Falaise für das Tunnel-Südportal im Februar 2013
View of the precut at Falaise for the tunnel south portal in February 2013

Zur Vereinfachung der Schnittstelle zwischen Berechnung der Oberflächensetzungen und Analyse der Boden-Bauwerks-Interaktion wurde ein neues, eigens für den vorliegenden Auftrag programmiertes Eingabebformular zur Verfügung gestellt, welches die Ausgabe der abgeschätzten Setzung bzw. Setzungsbandbreite (optimistisch, wahrscheinlich, pessimistisch) in Abhängigkeit der Koordinaten sowie in Funktion des Tunnelvortriebs ermöglicht.

4.4 Messtechnische Überwachung

Die messtechnische Überwachung des Vortriebs erfolgt mittels Konvergenzmessungen alle 10 m, subhorizontalen Inklinometern im Rohrschirm sowie Reverse-Head-Extensometern in der Ortsbrust. Zusätzlich sind zur Überwachung der Oberflächensetzungen sowie zur Kalibrierung bzw. Validierung der Berechnungsmodelle mehrere entlang der zu unterquerenden Strassen verlaufende Messquerschnitte vorgesehen. Diese beinhalten einerseits Nivellementpunkte an der Oberfläche, andererseits jeweils 3 vertikale, kombinierte Extensometer-/Inklinometermessketten (Bild 9).

5 Stand der Arbeiten und Ausblick

Im Oktober 2012 konnten die Vorbereitungsarbeiten in Form der Hangsicherung beim Südportal sowie der Bereitstellung des Installationsplatzes Fontenette beginnen. Die für den Voreinschnitt beim Portal "Falaise" notwendigen Spezialtiefbauarbeiten am Nordufer der Arve sind für 2013 geplant (Bild 10).

5 Work schedule and outlook

By October 2012, protection of the upper part of the steep slope, as well as the installation of the work areas on the southern bank of the Arve River will have just started. The construction of the supporting works in the cliff is planned for 2013 (Fig. 10).

The main tunnel excavation from the southern portal is expected to begin at the end of 2013 – beginning of 2014, and should reach the intermediate fully excavated Champel station, about 2 years later.

At the northern end, the basic structures of the Eaux-Vives station and the west-bound cut-and-cover are expected to be completed by spring 2014, allowing the main tunnel drive in direction of Champel station to commence.

6 Conclusions

The Tunnel de Champel will finally be constructed a mere century after being promised by the political authorities. It can be concluded that the design of the advancing method for shallow tunnels in soft ground requires great care. The selected construction method has to be flexible allowing the adaption to different ground conditions and settlement must be limited to a minimum in and around the densely settled urban area. This requires estimating settlement in the early stages of the project, extensive monitoring during

Der Tunnelvortrieb vom Südportal in Richtung der Haltestelle Champel-Hôpital wird nach heutiger Prognose Ende 2013/Anfangs 2014 beginnen und ca. 2 Jahre später die zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgehobene Haltestelle erreichen.

Auf der Nordseite schliesslich sollten die Spezialtiefbauarbeiten für den Bahnhof Eaux-Vives sowie den anschliessenden Tagbauabschnitt im Frühjahr 2014 abgeschlossen sein und so den Start des bergmännischen Gegenvortriebs in Richtung der Haltestelle Champel-Hôpital ermöglichen.

6 Schlussfolgerungen

Ziemlich genau 100 Jahre nach dem politischen Beschluss kann die Bahnlinie CEVA und damit der Tunnel de Champel in die Tat umgesetzt werden. Auch wenn der eigentliche Tunnelvortrieb erst gegen Ende 2013 beginnen wird, kann aus Sicht des verantwortlichen Projektverfassers bereits zum heutigen Zeitpunkt festgehalten werden, dass der Projektierung des Vortriebsverfahrens für einen oberflächennahen Tunnel im Lockergestein übergeordnete Priorität beizumessen ist. Das gewählte Vortriebsverfahren muss einerseits genügend Flexibilität aufweisen, um auf variierende Baugrundverhältnisse reagieren zu können, andererseits sind Oberflächensetzungen im innerstädtischen Umfeld soweit als möglich zu minimieren. Die Umsetzung dieser Ziele macht neben der Wahl des geeigneten Vortriebsverfahrens Setzungsprognosen bereits in frühen Projektphasen, eine ausgedehnte messtechnische Überwachung sowie eine kontinuierliche Überprüfung und Anpassung der verwendeten Berechnungsmodelle und -annahmen während des Tunnelvortriebs erforderlich – alles Elemente, welche heutzutage für ein solches Projekt unerlässlich sind.

Abschliessend kann und muss festgehalten werden, dass trotz minutiöser Planung der Bauarbeiten und professioneller Kommunikation mit der Bevölkerung die Akzeptanz von grossen Infrastrukturbauvorhaben im städtischen Gebiet oftmals problematisch ist. Risiken auf Kosten- und Terminplanung infolge schweizerischen Einspracherechts lassen sich trotz aller getroffenen Massnahmen kaum vermeiden.

excavation, as well as continued calibration and validation of the used analytical models. All essential for this type of project in this day and age.

Finally, it must be remembered, that despite meticulous design and planning of such construction works, as well as effective communication, developing urban infrastructure projects depends on public acceptance. Even with the appropriate planning, under Swiss law, objections influencing cost planning and time scheduling are rarely avoidable.

Literatur/References

- [1] Anagnostou, G. 1999. Standsicherheit im Ortsbrustbereich beim Vortrieb von oberflächennahen Tunneln. Symposium „Städtischer Tunnelbau: Bautechnik und funktionelle Ausschreibung“, Zürich
- [2] Leblais, Y., et al. 1999. AFTES Text of recommendations on settlements induced by tunnelling. Tunnels et ouvrages souterrains – Octobre 1999, 129-151
- [3] Mair, R.J., Taylor, R.N., Burland, J.B. 1996. Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunnelling. Proceedings International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London 1996, 713-718
- [4] O'Reilly M.P., New, B.M. 1982. Settlements above Tunnels in the United Kingdom – their magnitude and prediction. Proceedings Tunnelling 82, Institution of Mining and Metallurgy, London, 172-181

Sergio Massignani, Dipl. Bauingenieur FH, Dipl. Wirtschaftsingenieur FH, Marti Tunnelbau AG, Moosseedorf/CH

Tunnel de Choindex

Unterschiedliche Vortriebsverfahren im Faltenjura

Die 85 km lange Autobahn A16 verbindet die Stadt Biel im Berner Mittelland mit dem Grenzort Boncourt im Kanton Jura und ist teilweise bereits in Betrieb. Bis 2016 soll sie gänzlich vollendet sein. Für das zu durchquerende Juramassiv – daher der Name Transjurane – werden 22 Tunnel und 6 Galerien benötigt. Seit Baubeginn der Autobahn vor über 30 Jahren ist die Firma Marti mit 10 Tunneln und 3 Galerien massgeblich an deren Entstehung beteiligt. Unter anderem ist sie zurzeit mit der Realisierung des Tunnels de Choindex beschäftigt. Für die schwierige, häufig wechselnde Geologie kommen verschiedene Vortriebsverfahren zur Anwendung (Bild 1).

Tunnel de Choindex

Different Driving Methods in folded Jura

The 85 km long A16 motorway links the town of Biel in the Berne Mittelland with the border town of Boncourt in the Canton of Jura and is already partially operational. It is due to be entirely completed by 2016. Twenty-two tunnels and 6 galleries are needed for penetrating the Jura massif – hence the name Transjurane. The Marti Company responsible for 10 tunnels and 3 galleries has been heavily involved in the production of the motorway since construction began more than 30 years ago. Currently it is engaged in building the Tunnel de Choindex. Different driving methods are being applied for the tricky, highly varied geology (Fig. 1).

1 Einleitung

Mit seinen 3288 m wird der Tunnel de Choindex der drittlängste Tunnel der A16. Er ist noch der letzte zu bauende Tunnel im Kanton Jura. Die abwechselnd zu durchquerenden Kalk- und Mergelschichten sowie eine lange Lockergesteinsstrecke im Nordabschnitt erfordern jeweils unterschiedliche Ausbruchmethoden. Weitere Bestandteile des Projektes sind 2 Lüftungszentralen und der 462 m lange Tagbauabschnitt im Norden. Das mehrmalige Umstellen der Vortriebsmethoden sowie das gleichzeitige Ausführen der Lüftungszentralen und der Tagbaustrecke erfordern ein reibungsloses Zusammenspiel, welches wiederum eine hohe Anforderung an die Baustellenorganisation stellt.

2 Geologie

Das Projekt liegt quer zu den Strukturen des Faltenjuras und unterquert mit einer Steigung von 1,7 % von Norden nach Süden die Antiklinale von Vellerat. Das Gestein besteht aus einer Abfolge von jurassischen und tertiären Sedimenten. Das älteste Gestein, der Opalinuston, tritt im Kern der Antiklinale auf und wird mit Teilschnittmaschinen durchörtert. Der Kalk des Hauptrogensteins, der darüber folgt, tritt entlang des Tunnels am häufigsten auf und wird mittels Sprengvor-

1 Introduction

At 3,288 m the Tunnel de Choindex will be the third longest on the A16. It is the last of the tunnels to be built in the Canton of Jura. Different excavation methods are required to tackle the changing lime and marl rocks that have to be penetrated as well as a long soft ground section in the north. Further elements of this project are 2 ventilation centres and the 462 m long cut-and-cover section in the north. The need to switch from one driving method to another on several occasions as well as executing the ventilation centres and the cut-and-cover section at the same time call for perfect coordination, which in turn places high demands on the site organisation.

2 Geology

The project is located at an angle to the folded Jura structures and passes beneath the Vellerat anticline with a gradient of 1.7 % from north to south. The rock consists of a series of Jurassic and tertiary sediments. The oldest rock, Opalinus Clay, occurs at the core of the anticline and is excavated by roadheaders. The lime of the main rogenstein, which is located above it, prevails along the tunnel and is tackled via drill & blast. The limes found in the higher located Oxfordian

Tunnel de Choindez

Différentes méthodes d'avancement dans le Jura plissé

L'autoroute A16, longue de 85 km, relie la ville de Bienna, dans le Mittelland Bernois, au village frontalier de Boncourt dans le canton du Jura, d'où son nom de "Transjurane". L'autoroute A16 est déjà partiellement en service et devrait être complètement achevée d'ici à 2016. Pour traverser le Jura, 22 tunnels et 6 galeries sont nécessaires. La construction de l'autoroute A16 a débuté voici plus de 30 ans. La société Marti contribue de manière significative à sa création, avec l'exécution de 10 tunnels et 3 galeries. Actuellement, elle réalise entre autres le tunnel de Choindez. Pour faire face à une géologie difficile et souvent changeante, elle a recours à différentes méthodes d'avancement (Photo 1).

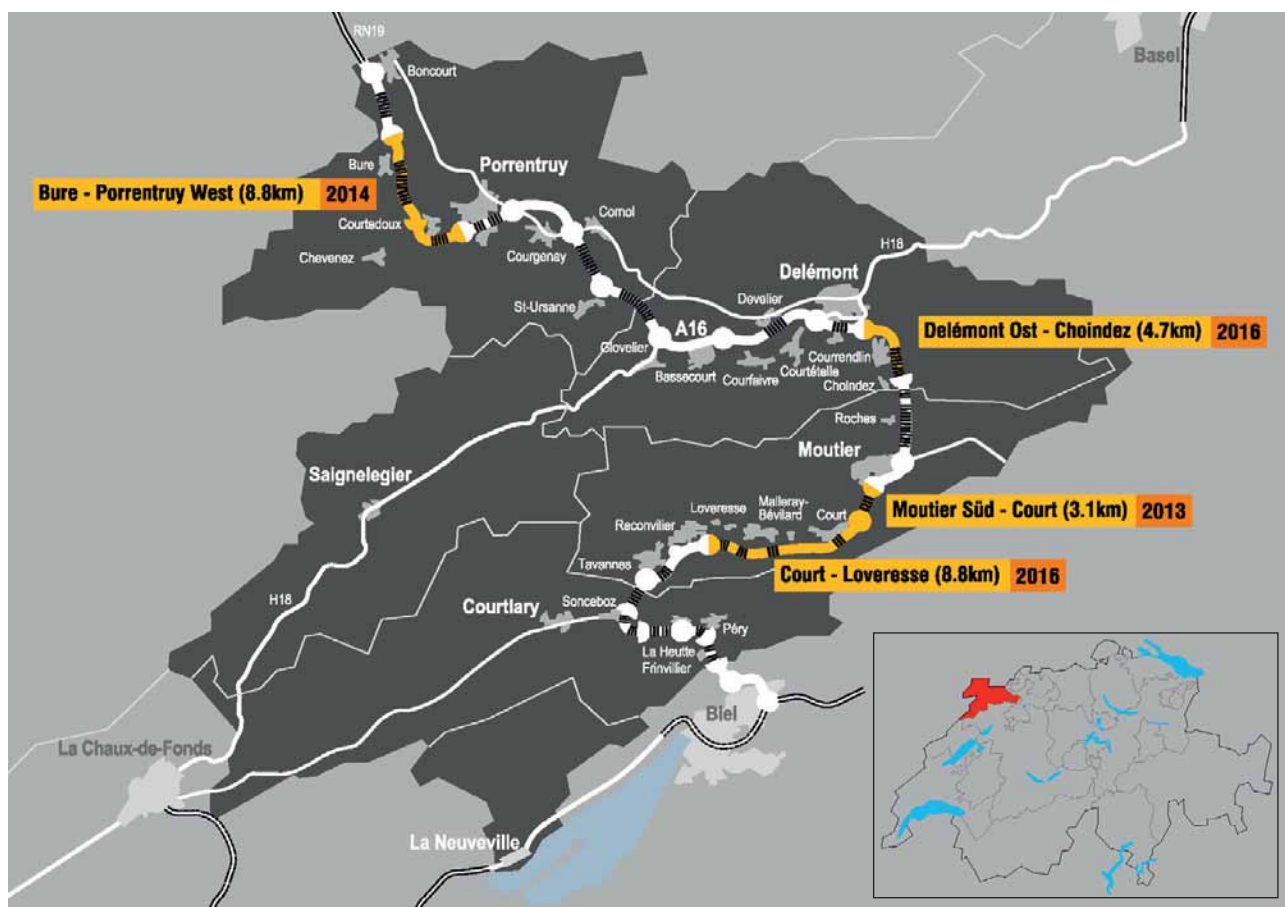
Tunnel de Choindez

Differenti tipologie di avanzamento nel Giura corrugato

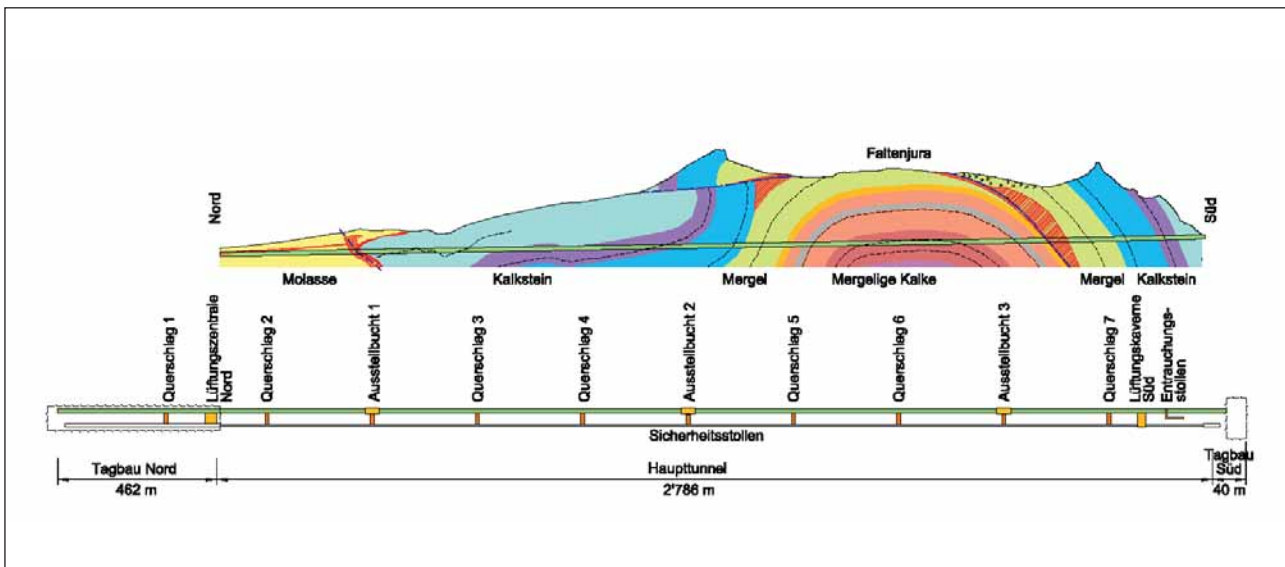
L'autostrada A16, lunga di 85 km, che collega la città di Bienna nel Mittelland bernese con la città di confine Boncourt nel Canton Giura, è parzialmente già aperto al traffico. Il completamento è previsto per il 2016. Per attraversare il massiccio del Giura, da cui il nome Transjurane, serviranno 22 tunnel e 6 gallerie. Dall'inizio dei lavori oltre 30 anni fa la ditta Marti ha dato un contributo determinante alla costruzione con 10 tunnel e 3 gallerie. Attualmente tra altre opere si sta occupando della realizzazione del Tunnel de Choindez. A causa della geologia complessa che varia continuamente si applicano diverse tipologie di avanzamento (Figura 1).

trieb ausgebrochen. Problematisch sind im höher liegenden Oxfordien vor allem die Kalke. Diese können stark Wasser führende und sehr ausgedehnte Karsthohlräume aufweisen. Ebenfalls stark verkarstet sind die Kalke des Kimmeridgiens. Da diese Verkarstung jedoch schon im Eozän geschah, sind

layer pose a problem. These can encompass extensive karst cavities conducting a great deal of water. The Kimmeridgien limes are also extremely weathered. However as this karstification took place during the Eocene period, the cavities are often filled with red clays. The youngest rock, the Oligocene,



1 Übersicht zur Inbetriebnahme der Autobahn A16
Overview of opening the A16 motorway



2 Geologischer Querschnitt durch die Antiklinale von Vellerat
Geological cross-section of the Vellerat anticline

die Hohlräume oft mit roten Tönen verfüllt. Das jüngste Gestein, das Oligozän, wird am Rand der Ebene von Courrendlin durchörtert. Es besteht aus einer Abfolge von Mergeln und Silten. Diese Gesteine werden von Norden her mittels Rohrschirmvortrieb ausgebrochen (Bild 2).

3 Vorarbeiten

In den Jahren 2006 bis 2009 wurde als Vorlos ein Sondierstollen im TBM-Vortrieb mit 3,6 m Durchmesser parallel zu der Streckenführung des künftigen Haupttunnels erstellt. Erst dieser von Norden nach Süden erstellte Erkundungsstollen ermöglichte es, eine genaue Abfolge der verschiedenen Kalk- und Mergelschichten zu erstellen. Dies war für die Wahl der verschiedenen Vortriebsmethoden für den Haupttunnel und eines entsprechenden Zeitplanes unerlässlich. Schon zu Beginn der Vortriebsarbeiten im Norden stieß man auf geologische Störzonen, welche, im Zusammenhang mit einer geringen Überdeckung, sogar zu einem Tagbruch führten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse erforderten eine Verschiebung des Nordportals des Haupttunnels um über 90 m in Richtung Süden. Die Portalverschiebung bedingte auch eine neue Konzeption des gesamten Voreinschnittes. Als weiteres Vorlos wurde daher in den Jahren 2010 und 2011 der 462 m lange Voreinschnitt Nord erstellt. Dieser bis zu 21 m tiefe Voreinschnitt wurde infolge der schlechten Geologie vollständig von einer überschnittenen und rückverankerten Pfahlwand gehalten. Der Sondierstollen wird im fertigen Bauwerk als Sicherheits- und Fluchttunnel ausgebildet. Dazu werden im Abstand von 300 m Querverbindungen zum Haupttunnel erstellt.

4 Objektbeschreibung

Der 3,29 km lange Bauabschnitt besteht aus einem 462 m langen Tagbauabschnitt Nord, einem 2,79 km langen bergmännischen Abschnitt und einem 40 m langen Tagbauab-

schnitt, das an der Grenze der Courrendlin area zu finden ist. Es besteht aus einer Abfolge von Mergeln und Silten. Diese Gesteine werden von Norden her mittels Rohrschirmvortrieb ausgebrochen (Bild 2).

3 Preliminary Work

From 2006 to 2009 an exploratory tunnel was driven by a 3.6 m diameter TBM parallel to the route alignment for the future main tunnel as an advance contract section. It was only possible to determine the exact sequence of the various lime and marl layers after the completion of this exploratory tunnel running from north to south. This was essential for selecting the methods of driving for the main tunnel and a corresponding timetable. When the driving operations started up in the north geological fault zones were encountered, which, in conjunction with shallow overburden, resulted in a cave-in. The recognitions gained here called for the main tunnel's north portal to be relocated by some 90 m towards the south. Relocating the portal also required the entire precut to be rethought. As a consequence the 462 m long precut was produced as a further advance contract section in 2010 and 2011. This up to 21 m deep precut was completely retained by an overcut and back-anchored piling wall owing to the poor geology. The exploratory tunnel will be used as a safety and evacuation tunnel once the project is completed. Towards this end cross-passages to the main tunnel are to be set up at 300 m gaps.

4 Description of Object

The 3.29 km long construction section comprises a 462 m long cut-and-cover north section, a 2.79 km long trenchless section and a 40 m long cut-and-cover south section. The trenchless section is divided into a molasse section 405 m in length, 2 marl section totalling 353 m and several lime sections of altogether 2,028 m. The ventilation centre in the

Tunnel de Choindex • Different Driving Methods in folded Jura

Vortriebsabschnitt/ Driving section	Tunnelmeter / Tunnel metre		Vortriebsabschnitt [m]/ Driving section [m]	Vortriebsmethode / Driving Method	Geologie / Geology
	von /from	bis /to			
Vortrieb von Norden / Drive from north			Total	956,00	
1	0,00	405,00	405,00	Vortrieb Lockergestein/ Soft ground drive	Molasse alsacienne
2	405,00	816,00	411,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Calcaires du Kimméridgien
3	816,00	956,00	140,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Marnes à Natica

16	1473,00	1830,00	357,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Marnes à Natica
15	1295,00	1473,00	178,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Calcaires du Pichoux
14	1174,00	1295,00	121,00	Teilschnittmaschine/ Roadheader	Argiles à Renggeri
13	1156,00	1174,00	18,00	Teilschnittmaschine/ Roadheader	Calcaire Roux Sableux
12	1121,00	1156,00	35,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Hauptrogenstein
11	1103,00	1121,00	18,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Marnes à Acuminata
10	1014,00	1103,00	89,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Hauptrogenstein
9	617,00	1014,00	397,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Blaukalk
8	508,00	617,00	109,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Hauptrogenstein
7	492,00	508,00	16,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Marnes à Acuminata
6	447,00	492,00	45,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Hauptrogenstein
5	429,00	447,00	18,00	Teilschnittmaschine/ Roadheader	Calcaire Roux Sableux
4	233,00	429,00	196,00	Teilschnittmaschine/ Roadheader	Argiles à Renggeri
3	112,00	233,00	121,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Calcaires du Pichoux
2	55,00	112,00	57,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Marnes à Natica
1	0,00	55,00	55,00	Sprengvortrieb/ Drill & blast	Calcaires du Kimméridgien
Vortrieb von Süden / Drive from south			Total	1830,00	
				Durchschlagsgrenze/ Point of breakthrough	<div style="background-color: #00a0e3; color: white; padding: 2px;">Teilschnittmaschine optimal / Roadheader optimal</div> <div style="background-color: #ffcc00; color: black; padding: 2px;">Teilschnittmaschine möglich / Roadheader possible</div> <div style="background-color: #cc0000; color: white; padding: 2px;">Teilschnittmaschine unmöglich / Roadheader impossible</div>

Tabelle 1 Übersicht der vorgesehenen Vortriebsabschnitte
Table 1 Overview of the intended driving sections

schnitt Süd. Der bergmännische Abschnitt teilt sich in eine Molassestrecke von 405 m Länge, in 2 Mergelstrecken von total 353 m und mehrere Kalkabschnitte von insgesamt 2028 m auf. Die Lüftungszentrale im Norden konnte im Voreinschnitt situiert werden. Die Lüftungszentrale im Süden wird als Kavernenbauwerk ausgeführt (Tabelle 1).

Die Bauarbeiten wurden im März 2011 an die Arbeitsgemeinschaft „Groupement Tunnel de Choindez“, bestehend aus 3 Einzelfirmen der Marti-Gruppe, vergeben. Am 2. Mai begannen die umfangreichen Vor- und Installationsarbeiten. Pünktlich auf den vertraglich vereinbarten Starttermin vom 1. Juli 2011 begannen gleichzeitig die Vortriebsarbeiten im Norden und im Süden. Für die gesamten Rohbauarbeiten wurde eine Bauzeit von 50 Monaten festgelegt. Das Überschreiten des geplanten Endtermins vom 30. Juni 2015 ist mit einer Penalen von 15000 CHF/Tag belegt. Ein Bonus wurde nicht vereinbart. Die Auftragssumme beträgt 190 Mio. CHF. Der Tunnel wird als einröhriger Strassentunnel mit parallelem Fluchtstollen ausgeführt. Dieser soll Ende 2016 als letzter Abschnitt der A16 dem Verkehr übergeben werden (Bild 3).

5 Vortrieb von Süden

5.1 Voreinschnitt

Der Voreinschnitt auf der Südseite liegt in einem tiefen, felsigen V-Tal. In der engen Talsohle liegt die Kreuzung der Kantonsstrasse Delémont – Moutier mit der Strasse nach Reu-

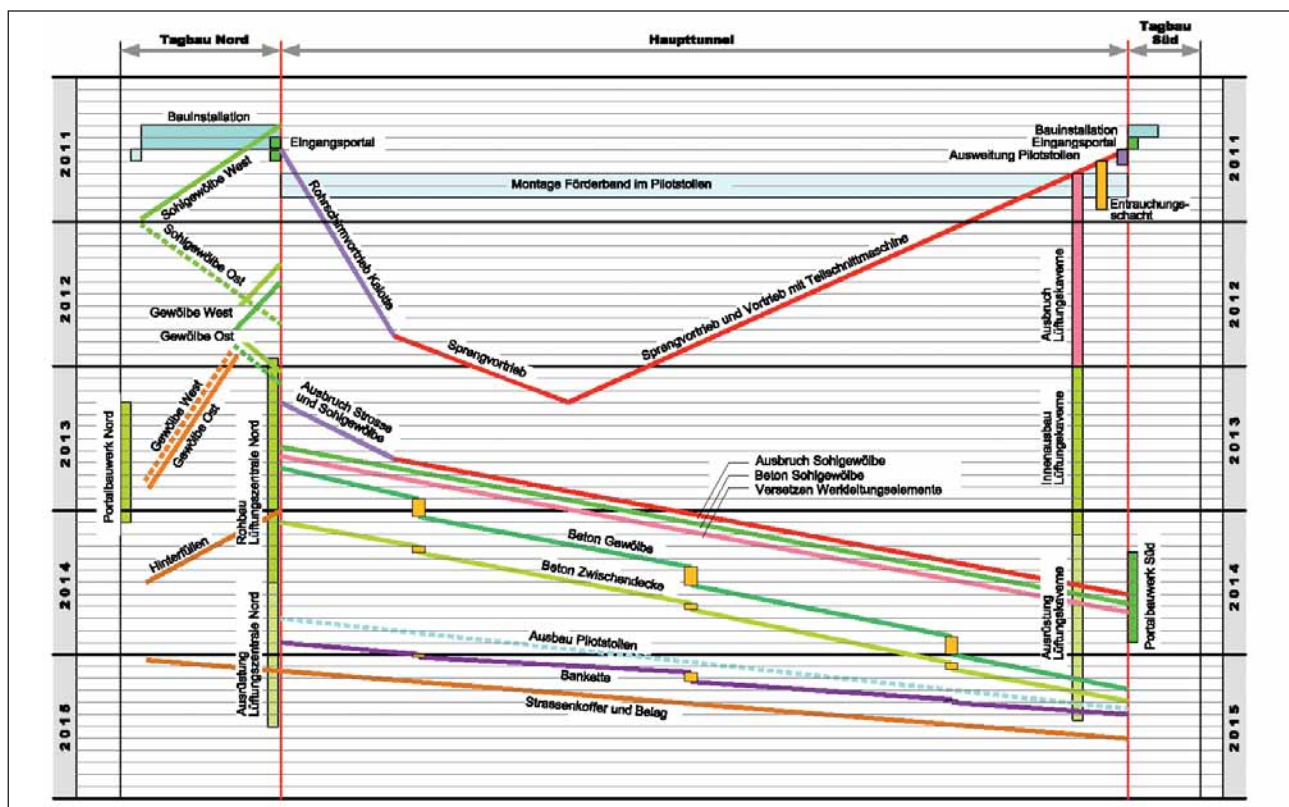
north could be set up in the precut. The south ventilation centre is devised as a cavern structure (Table 1).

The construction activities were awarded in March 2011 to a JV “Groupement Tunnel de Choindez” consisting of 3 individual companies belonging to the Marti Group. The extensive preliminary and installation operations began on May 2. Driving activities commenced at the same time in the north and south punctually marking the arranged starting date of July 1, 2011. 50 months of construction time was laid down for completing the entire roughwork. A penalty amounting to 15,000 CHF/day is incurred if the determined deadline of June 30, 2015 is exceeded. No bonus was agreed on. The contract sum amounts to 190 million CHF. The tunnel is devised as a single-bore road tunnel with parallel evacuation tunnel. It is to be opened to traffic in late 2016 as the final section on the A16 (Fig. 3).

5 Driving from the South

5.1 Precut

The precut on the south side lies in a deep, rocky V-valley. The Delémont – Moutier cantonal road intersects the road to Reubevelier in the constricted valley floor as well as the course of the River Birs. The SBB single-track route runs along the opposite slope. Furthermore the precut is completely located in the area of the existing motorway half-junction of Choindez. Although 2/3rds of the tunnel length is to be produced from the south, the steep prevailing slope and the



3 Bauprogramm
Construction programme

bevelier, sowie der Flusslauf der Birs. Am gegenüberliegenden Hang verläuft die eingleisige Bahnstrecke der SBB. Der Voreinschnitt liegt zudem vollständig im Bereich des bestehenden Autobahn-Halbanschlusses Choindéz. Obwohl 2/3 der Tunnellänge von Süden erstellt werden, erlaubten der steil anstehende Hang und die beengten Platzverhältnisse nur ein Minimum an Bauinstallationen. Zum Schutz gegen Steinschlag wurde über den Eingangsbereich des Pilot- und des Haupttunnels während der Bauinstallationsphase eine Schutzgalerie betoniert (Bild 4).

5.2 Beginn der Sprengarbeiten

Die komplexe Situation vor Ort erforderte von Beginn an grösstes Können. Diverse labile Hangpartien über der Kantonsstrasse und der Bahnlinie wurden mit Erschütterungsmessgeräten und Konvergenzdrähten zur Rissüberwachung ausgerüstet. In Zusammenarbeit aller Projektteilnehmer wurden innerhalb kurzer Zeit ein umfangreiches Informations- und Zuständigkeitsnetz und ein Notfallszenario, mit einer grossräumigen Umfahrungsmöglichkeit, ausgearbeitet. Die erlaubten Erschütterungswerte durften den Grenzwert von 3 mm/s nicht überschreiten. Die Messresultate wurden laufend über Funk und Internet durch das Umweltbüro Metrix online überwacht. Die ganze Sprengabwicklung hatte täglich in den 10 von der Bahn vorgegebenen Zugpausen von 7 bis 10 Minuten Dauer zu erfolgen. Ein Überschreiten der Zugpausen hätte kostspielige Zugverspätungen bewirkt. Zudem durfte nicht in der rush hour am Morgen, Mittag und Abend gesprengt werden. Für jede Sprengung musste die Kantonsstrasse und die Autobahn gesperrt werden. Zu Beginn wurden einzelne Versuchssprengungen mit reduzierten Lademengen ausgeführt, um das ganze Überwachungssystem zu „eichen“. Die Unternehmung meldete jeden Morgen die von ihr gewünschten Sprengintervalle für den neuen Tag an. Eine 1/2 Stunde vor der Sprengung wurde die Sprengzeit nochmals definitiv bestätigt. Der Ablauf der Sprengung erfolgte nach einer eigens erstellten Checkliste, in welcher sämtliche Zeitschritte rapportiert wurden. Jede Sprengstelle wurde mit Schutzmatten gegen Steinwurf gesichert. Der erste Schritt des Sprengablaufes bestand in der Bestätigung des Bahnwärters, dass die Bahnstrecke gesperrt ist. Danach erfolgte die Sperrung der Kantonsstrasse und der Autobahn mit Signalampeln und Sprengwachen vor Ort. Gleichzeitig wurde mit einer Handynummer eine Null- und Protokollmessung aller Überwachungsgeräte ausgelöst. Nach einem kurzen, letzten Augenschein des Sprengmeisters wurde die Sprengung nach dem Ertönen des Warnhorns ausgelöst. Unmittelbar nach der Sprengung erfolgte die Begutachtung des Sprengresultates und das Abfahren der Strasse zur Kontrolle und Beseitigen von eventuellen kleinen Steinschlägen. Gleichzeitig erfolgte die Kontrolle und Auswertung der Erschütterungsmessungen durch das Überwachungsbüro. Dieses gab jeweils nach positivem Resultat das Ende der Sprengung an. Danach wurde die Bahn und der Strassenverkehr sofort wieder freigegeben. Nach einer kurzen Einspielzeit dauerte ein Sprengablauf zwischen 4 und 6 Minuten.

restricted space conditions permit only a minimum of construction installations. A protective gallery was concreted in place above the entrance zone for the pilot and main tunnels during the construction installation phase to counter rockfall (Fig. 4).



4 Situation am Portal Süd
Situation at south portal

5.2 Start of Drill & Blast Activities

The complex situation on site called for immense skill from the very beginning. Various unstable slope sections above the cantonal road and the rail line were fitted with vibration measurement units and convergence wires for monitoring cracks. An extensive information and responsibility network and an emergency scenario with a large-scale bypass alternative were evolved within a short space of time thanks to the collaboration of all those involved. The permitted vibration values were not allowed to exceed the limit of 3 mm/s. The measurement results were constantly monitored online by the Umweltbüro Metrix via radio and internet. The entire blasting programme had to be undertaken in the 10 intervals between trains lasting 7 to 10 minutes provided by the SBB. If these intervals between trains had been exceeded this would have resulted in expensive train delays. In addition blasting was not allowed during the rush hour in the morning, around midday and in the evening. The cantonal road and the motorway had to be closed each time blasting was carried out. Initially individual trial rounds of blasting using reduced amounts of explosive were undertaken in order to “calibrate” the entire monitoring system. Every morning the contractor supplied information about the intervals required for carrying out the blasting programme for the new day. The actual time for blasting was confirmed again half an hour prior to execution. Blasting took place in keeping with a special checklist containing all time sequences. Each blasting point was secured against rockfall by protective matting. The first step of the blasting cycle consisted of getting the rail look-out man to confirm the route was closed. Then the cantonal road was closed down and signal lamps activated on the motorway and blasting monitored on site. At the same time a mobile phone number was used to trigger reference and protocol measurement of all monitoring units. After a short, final scrutiny by the chief blaster blasting was carried

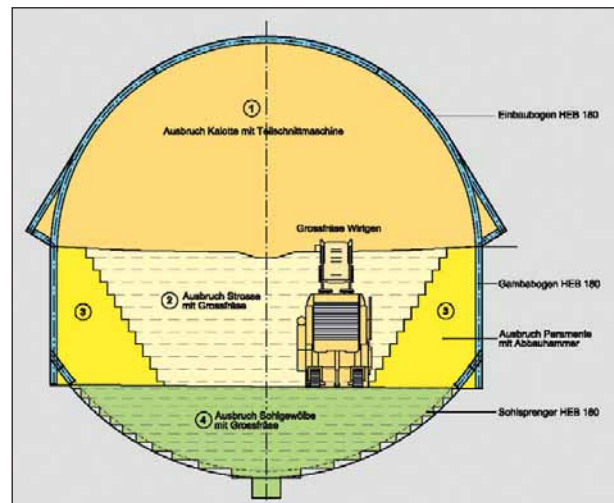
Um den enormen Überwachungsaufwand und die Verkehrsstörungen zu minimieren wurde abwechselnd die Kalotte des Haupttunnels, des Pilotstollens und der Zugangstollen zur Lüftungskaverne gesprengt. Nach 20 m Vortrieb der Kalotte wurde die Strosse nachgesprengt. Danach erfolgte der überwachte Vortrieb im Vollprofil noch bis zum Tunnelmeter 170. Auf eine Sperrung der Bahn und der Strasse konnte fortan verzichtet werden. In dieser intensiven Startphase zwischen Juli und August 2011 wurden insgesamt 95 überwachte Sprengungen ausgelöst. Bis zu 3 Sprengungen pro Tag wurden erzielt. Im Nachgang kann festgestellt werden, dass sich der Überwachungsaufwand gelohnt und die Zusammenarbeit aller Beteiligten bewährt hat. Es kam zu keiner Phase der Arbeiten zu Beeinträchtigungen Dritter.

5.3 Sprengvortrieb im Kalkstein

Die Hauptvortriebsart bilden die Sprengarbeiten. Sie werden in den verschiedenen Kalksteinformationen, bestehend aus Hauptrogenstein, Dogger und Blaukalk durchgeführt. Die vorhandene Felsqualität erlaubt einen Vollausbuch (Kalotte und Strosse) des rund 93 m² grossen Tunnelquerschnittes. Das Sohlgewölbe wird erst nach dem Durchschlag und als Vorlauf zum Innenausbau von Norden nach Süden ausgebrochen. Dadurch kann möglichst lange die flache Sohle der Strosse als Baupiste verwendet werden. Gebohrt wird mit einem dreiarmligen, halbautomatischen Bohrjumbo des Typs Atlas Copco XE3 mit Ladekorb. Die Sprengladung besteht aus einer Emulsionsmatrix, die mit Schlauchzündern gezündet wird. Im Zwei-Schichtbetrieb à 8 Stunden erfolgt jeweils ein Abschlag von 3,8 bis 4,8 m Länge pro Schicht. Die Schutterung erfolgt mit einem Pneulader Caterpillar 966 und mehreren Grossdumpfern des Typs Ferrari-CVS DM3227. Die Felssicherung in den überwiegenden Ausbruchklassen II und III besteht im Bereich L1 aus einer Kopfschutzsicherung mit 3 bis 4 m langen Reibrohrankern und je nach Ausbruchprofil zwischen 5 und 15 cm Stahlfaser-Spritzbeton. Im Bereich L3 besteht sie aus einer System-Ankerung mit 3 bis 5 m langen Mörtelankern im Rasterabstand von jeweils 2 m. Gespritzt wird im Nassverfahren mit einem Spritzmobil des Typs Meyco Potenza. Die vorgesehenen Ausstellbuchten, SOS-Nischen und Querschläge zum Pilotstollen werden direkt mit dem Hauptvortrieb ausgebrochen. Im Schnitt werden Vortriebsleistungen von 35 bis 45 m pro 5-Tage-Woche erzielt.

5.4 Ausbruch mit Teilschnittmaschine im Mergel

Die Mergelabschnitte werden in den 3 Teilausbrüchen Kalotte, Strosse und Sohlgewölbe aufgefahren. Bis zum vorgesehenen Durchschlag bei km 1,83 wird vorerst nur das Profil der Kalotte geschrämt. Dazu wird eine Teilschnittmaschine des Typs Eickhoff ET380 mit rund 107 t Einsatzgewicht eingesetzt. Geschrämt wird vorwiegend in der Ausbruchklasse IV, welche Abschlaglängen bis 2 m erlaubt. Die Felssicherung besteht auf der ganzen Abschnittslänge aus einem schweren Stahleinbau mit HEB180-Trägern, welche mit Beton hinterfüllt werden. Für das Hinterfüllen kommt dasselbe Nass-



5 Ausbruchphasen im Mergelabschnitt
Excavation phases in the marl layer

out following the sounding of an alarm horn. The outcome of blasting was assessed immediately after it was carried out and the road was inspected to check for and if need be remove minor rock falls. At the same time the vibration measurements were controlled and evaluated by the monitoring office. After a positive result, it then announced the blasting session was over. Subsequently the rail line and road were immediately opened up to traffic. After a brief familiarisation period a blasting cycle lasted between 4 and 6 minutes.

In order to minimise the enormous monitoring periods and disturbances to traffic the main tunnel's crown, the pilot tunnel and the access tunnel for the ventilation cavern were alternately blasted. After driving the crown for 20 m the bench was then tackled. Subsequently the full-face excavation was monitored up to tunnel metre 170. Afterwards there was no need to close the railway line and the road. During this intensive starting phase between July and August 2011, a total of 95 monitored rounds of blasting were carried out. As many as 3 per day were accomplished. Looking back it can be established that the amount of monitoring was worth it and cooperation between all those involved proved itself. No third parties were negatively influenced at any time during the work.

5.3 Drill & Blast in Limestone

Drill & blast activities represent the main type of driving. It is executed in the various limestone formations, consisting of main rogenstein, Dogger and blue lime. The prevailing rock quality enabled full-face excavation (crown and bench) of the roughly 93 m² large tunnel cross-section. The base invert is first tackled following the breakthrough and prior to completing the interior from north to south. As a result the flat base of the bench can be retained as a construction slab for as long as possible. A 3-arm, semi-automatic drilling jumbo – Type Atlas Copco XE3 with loading basket is applied. The explosive charge consists of an emulsion matrix, which is ignited via non-electric detonators. A length of advance of 3.8

spritzmobil wie im Sprengvortrieb zum Einsatz. Es werden Vortriebsleistungen von 16 bis 20 m pro Woche erzielt inklusive des periodischen Nachsetzens der in Kapitel 5.5 beschriebenen Entstaubungsanlage (Bild 5).

Der Ausbruch der Strosse erfolgt in 2 Phasen. Zuerst wird der Mittelteil der Strosse mit einer Grossfräse des Typs Wirtgen 2211, mit rund 45 t Einsatzgewicht, lagenweise abgefräst. Danach werden die seitlichen Paramente alternierend mit einer Teilschnittmaschine des Typs ET250 geschrämt. Die Längen der Schrämestappen sind geologisch bestimmt und betragen in der Regel zwischen 2 und 4 m. Nach einer Schrämestappe werden sofort die Einbaubögen der Kalotte mit sogenannten Gambabögen unterfangen und einbetoniert. Der Vorteil dieser zweiteiligen Ausführungsart besteht in einer erhöhten Arbeitssicherheit infolge Wegfallens der provisorischen Ausbruchrampen zwischen Strosse und Kalotte und der geringeren Behinderung des Durchgangsverkehrs. Die Ausbrucharbeiten der Strosse konnten wesentlich schneller erledigt werden als bei der herkömmlichen Arbeitsweise. Der Ausbruch des Sohlgewölbes erfolgt mit der gleichen Grossfräse, jedoch erst später als Vorlauf zu den Innenbetonarbeiten (Bild 6).

5.5 Entstaubungs- und Belüftungseinrichtung im TSM-Vortrieb

Aufgrund der kurzen Mergelabschnitte von bis maximal 214 m Länge wurde für den Vortrieb ein Lüftungskonzept bestehend aus einer blasenden Belüftung bei gleichzeitiger

to 4.8 m per shift is accomplished in a 2-shift operation of 8 h per shift. Mucking is carried out by means of a Caterpillar 966 wheel loader and several large dumpers – Type Ferrari-CVS DM3227. The rock in the prevailing excavation classes II and III is secured in sector L1 by overhead protection using 3 to 4 m long friction bolts and between 5 and 15 cm of steel fibre shotcrete depending on the excavated profile. In sector L3 there is an anchoring system with 3 to 5 m long mortar bolts at 2 m gaps. Shotcreting is executed by the wet method using a Meyco Potenza mobile spraying unit. The intended lay-bys, SOS niches and cross-passages to the pilot tunnel are excavated directly together with the main drive. On average, rates of advance amounting to 35 to 45 m per 5-day week are attained.

5.4 Excavating with Roadheader in Marl

The marl sections are driven in 3 part-excavations – crown, bench and base invert. Initially only the crown profile is cut up to the intended breakthrough at km 1.83. Towards this end an Eickhoff ET380 roadheader with 107 t operating weight is used. Cutting takes place mainly in excavation class IV, permitting lengths of advance of up to 2 m. The rock is secured along the entire section length by installing heavy HEB180 steel girders, which are backfilled with concrete. The same mobile wet spraying machine is applied for backfilling as is used for drill & blast operations. Rates of advance of 16 to 20 m per week are arrived at including the periodic relocation of the dedusting plant described in Chapter 5.5 (Fig. 5).



6 Grossfräse Wirtgen im Einsatz
Large cutting machine from Wirtgen in operation

saugender Entstaubung gewählt. Dieses Entstaubungs- und Lüftungskonzept widerspricht zwar der Lüftungsnorm SIA 196, in der bei TSM-Vortrieben über 100 m Länge und mehr als 25 m² Ausbruchfläche ein Pilotstollen für die Lüftung vorgeschrieben wird. Der Aufwand für einen zusätzlichen Lüftungstollen wäre aber in diesem Fall in keiner Weise zu rechtfertigen. Das nachfolgende Lüftungskonzept konnte die Grenzwerte für die Staubpartikel in der Luft nachweislich zu jedem Zeitpunkt einhalten.

Um die Ortsbelegung und insbesondere den Maschinenfahrer im staubfreien Bereich arbeiten zu lassen, muss eine „stabile Staubwand“ erzeugt werden. Die Luftmenge am Austritt der Blaslutte (Frischluff) muss grösser sein als die Luftmenge der einziehenden Sauglutte. Der Überschuss fliesst durch den Überlappungsbereich zwischen dem Austritt der Blaslutte der Frischlufttour und der des Entstaubers, um auch hier eine ausreichende Belüftung sicherzustellen. Das System arbeitet nur dann, wenn die Belüftung und Entstaubung leistungsmässig aufeinander abgestimmt sind. Die Absaugmenge der staubhaltigen Luft beträgt beim TSM-Betrieb mindestens 25 m³/min je m³ Ausbruchquerschnitt. Um vorzeitiges Sedimentieren des Staubes in der Ansauglutte zu verhindern, sollte eine Geschwindigkeit von 18 m/sec nicht unterschritten werden. Bei Querschnitten oberhalb 25 m² sollten erfahrungsgemäss mindestens 2 an den Stössen verlegte Ansaugleitungen verwendet werden, deren Öffnungen sich möglichst nah an der Ortsbrust befinden (grundsätzlich deutlich vor dem Maschinenfahrer). Die Frischluftzuführung ist wahlweise mit einer Schliessklappe und vorgeschalteter Sieblutte auszuführen oder so weit von der Ortsbrust zurückgesetzt zu führen, dass der Freistrahle keinen Einfluss mehr auf die „Staubwand“ hat. Im Weiteren sind Entstauber mit einem Wirkungsgrad einzusetzen, die eine Reststaubkonzentration < 1 mg/m³ Luft garantieren. Abschliessend kann festgehalten werden, dass mit einer entsprechenden Ausrüstung und einer geschulten Vortriebsmannschaft das Lüftungskonzept erfolgreich betrieben werden konnte (Bild 7).

6 Ausbruchphasen der Lüftungskaverne Süd

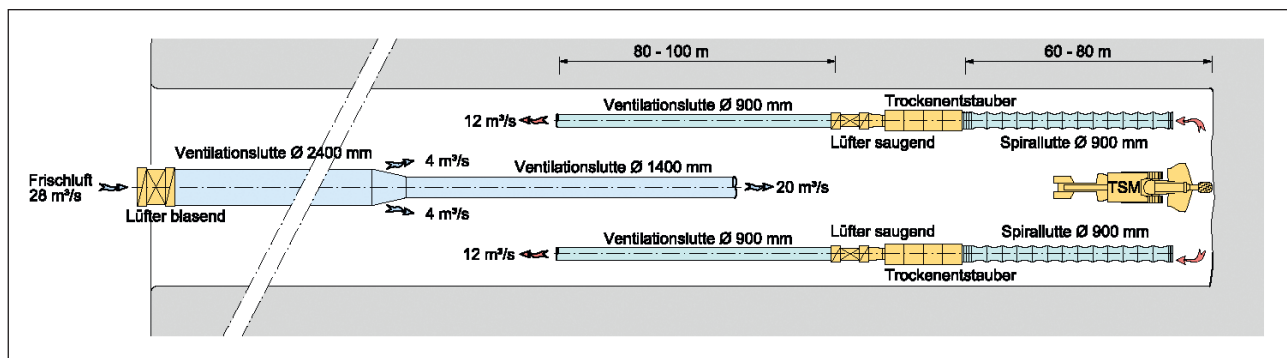
Die Lüftungszentrale im Süden wurde aus Platzmangel beim Portal in einer 160 m vom Tunneleingang entfernt gelege-

The bench is excavated in 2 phases. First of all the central part of the bench is cut layer by layer using a Wirtgen 2211 large milling machine with an operating weight of roughly 45 t. Subsequently the side walls are alternately cut by a ET250 roadheader. The lengths of the cutting stages are determined geologically and amount on average to between 2 and 4 m. The arches for the crown are immediately underpinned by so-called Gamba arches following a cutting stage and concreted in place. The advantage of this 2-part manner of execution is that it provides greater industrial safety as the temporary excavation ramps between the bench and crown are not required and through traffic is hampered less. The excavation operations for the bench were fulfilled a lot more quickly than would have been the case if conventional means had been applied. The same large milling machine was used for excavating the base invert, however first at a later stage prior to the interior concreting work (Fig. 6).

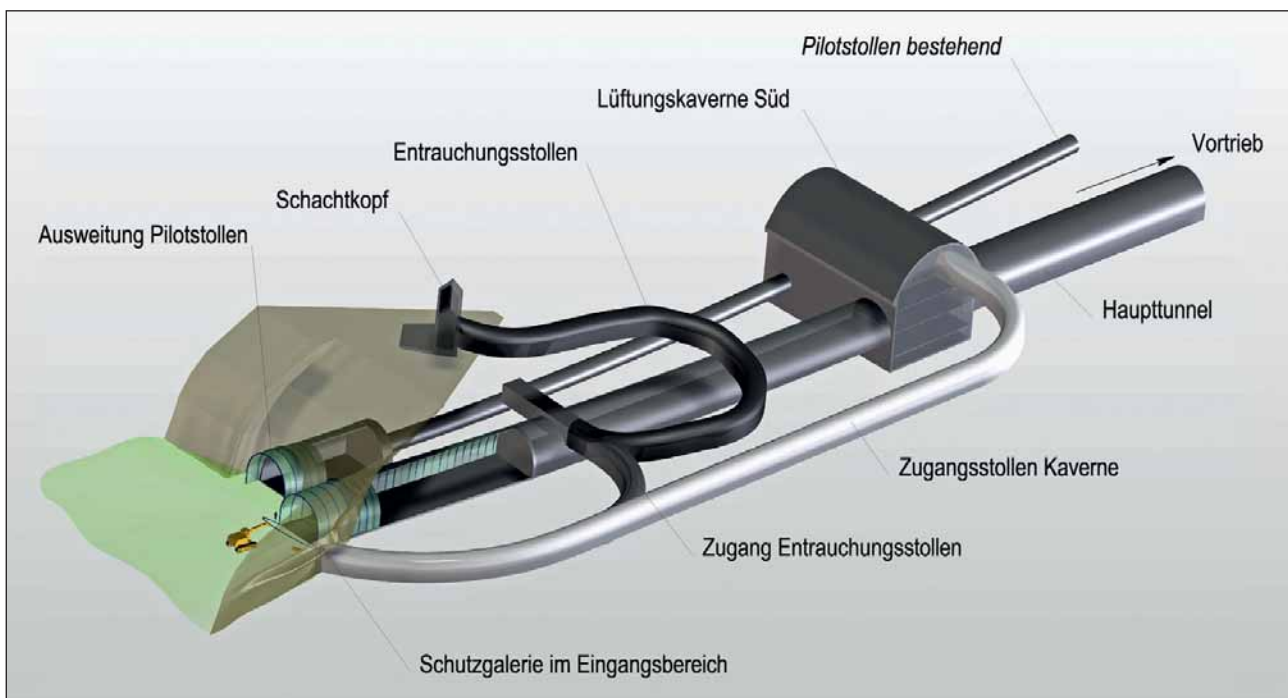
5.5 Dedusting and Ventilation Unit in the Roadheader Drive

On account of the short marl sections of up to a maximum of 214 m in length a ventilation concept was devised for the drive comprising blowing ventilation with simultaneous sucking dedusting. Albeit this dedusting and ventilation concept contradicts the ventilation norm SIA 196, which prescribes a pilot tunnel for the ventilation in the case of roadheader drives in excess of 100 m and 25 m² excavated area. However the outlay for an additional ventilation tunnel would not at all been justifiable in this case. The subsequent ventilation concept was able to adhere to the limit values for dust particles in the air at any time.

A “stable dust wall” had to be created to enable the crew at the face and the machine operator in particular to work in the dust-free area. The amount of air exiting from the blowing duct (fresh air) has to be greater than the amount of air entering the sucking duct. The surplus flows through the overlapping area between the outlet of the blowing duct for the circulating fresh air and that of the deduster, so that sufficient ventilation is assured here as well. The system only operates when the ventilation and the dedusting process are geared to each other in terms of performance. The quantity of air sucked off containing dust amounts to at least 25 m³/



7 Entlüftungsschema für den TSM-Vortrieb
Ventilation scheme for the roadheader drive



8 Anordnung der Lüftungskaverne Süd
Setup of the south ventilation cavern

nen Kaverne angeordnet. Die Ausschreibung sah vor, den Tunnelvortrieb für die Zeitdauer des Ausbruchs der Kaverne zu unterbrechen. Um die aufwendigen Kavernenarbeiten jedoch gleichzeitig mit dem Tunnelvortrieb ausführen zu können, wurde auf Sondervorschlag der Arbeitsgemeinschaft ein separater Zugangsstollen erstellt. Ebenfalls auf Vorschlag der Arge wurde der in Zusammenhang mit der Lüftungszentrale benötigte Entrauchungsschacht – geplant in Form eines 45 Grad steilen Schrägschachtes – durch einen Steigstollen mit einer Steigung von 20 % ersetzt. Dieses erlaubte sämtliche Bauarbeiten, inklusive die des Schachtkopfes, vom Stolleninneren aus durchzuführen. Auf eine unverhältnismässig aufwendige Zufahrtsstrasse im steilen und durch Steinschlag gefährdeten Gelände konnte damit verzichtet werden. Die Lüftungskaverne ist quer über dem Haupttunnel und dem Sicherheitsstollen angeordnet (Bild 8).

Als Vorarbeit wurden mit dem Vortrieb des Haupttunnels im Bereich der Kaverne 30 Einbaubögen gestellt und einbetoniert. Diese dienen als Schutzmantel, um jegliche Gefährdung des Tunnels durch die darüber liegenden Kavernenarbeiten auszuschliessen. Die Kaverne ist 26 m hoch, 23 m breit und 37 m lang. Die Ausbruchkubatur beträgt 22 000 m³. Die Ausbrucharbeiten erfolgten in 2 Arbeitsetappen für die Kalotte und in 3 Etappen für die Strosse, von oben nach unten und alle im Sprengvortrieb. Nach dem Ausbrechen des 249 m langen Zugangsstollens wurde die Ausweitung der ersten Etappe der Kalotte erstellt. Diese wurde mit Bewehrungsnetzen, Mörtelanker und Spritzbeton gesichert. Danach folgte der Ausbruch der zweiten Etappe der Kalotte mit den gleichen Sicherungsarbeiten. Es folgte die Abdichtung der ganze Kalotte mit einer 2 mm dicken Abdichtungsfolie

min per m³ of excavated cross-section for the roadheader operation. In order to prevent the dust from sedimenting prematurely in the suction duct, performance must not fall below 18 m/sec. Experience shows that in the case of cross-sections in excess of 25 m² at least 2 suction lines installed at the benches should be applied, whose openings should be located as close to the face as possible (essentially considerably in front of the machine operator). The fresh air supply can be generated either with a shutter preceded by a filter duct or installed as far from the face as possible so that the free flow no longer effects the “dust wall”. Furthermore efficacious dedusters should be used, which guarantee a residual dust concentration of < 1 mg/m³ of air. In conclusion it can be observed that the ventilation concept could be operated successfully thanks to appropriate equipment and a well-versed driving crew (Fig. 7).

6 Excavation Phases for the South Ventilation Cavern

The ventilation cavern in the south was set up in a cavern located 160 m away from the tunnel entrance owing to a lack of space at the portal. The tender foresaw interrupting the tunnel drive for the duration of the period needed to excavate the cavern. However in order to be able to carry out the complicated work on the cavern at the same time as driving the tunnel, a separate access tunnel was produced based on a special proposal put forward by the JV. In addition also at the suggestion of the JV, an exhaust shaft needed in conjunction with the ventilation centre – planned in the form of a 45 ° inclined shaft – was replaced by a rising tunnel with a gradient of 20 %. This enabled all construction activities



9 Gewölbeschalung der Lüftungskaverne Süd
Vault formwork for the south ventilation cavern

aus PVC. Nun begannen die Arbeiten für das 50 cm dicke Innengewölbe aus Beton. Zuerst wurden die beiden Widerlager bewehrt und betoniert. Diese wurden danach mit mehreren, 12 m langen Vorspannankern in den Fels gebunden. Auf die Widerlager wurde alle 3 m ein Gitterbogen gestellt. Diese dienen als Stützgerüst für das Verlegen der gesamten Gewölbebewehrung. Gleichzeitig erfolgte die Montage der grossen Gewölbeschalung. Diese Schalung bestand einzig aus Norm-Elementen und -trägern der Firma Peri und erlaubte so eine zügige Montage auf kleinstem Raum. Mit einer Schalungslänge von 6,30 m wurde in 6 Etappen das Innengewölbe der Kaverne realisiert (Bild 9).

Nach Demontage der Schalung folgte die erste Ausbruch- etappe der Strosse. Mit dieser wurde auch der Firstbereich des Haupttunnels freigelegt. Alle bisher beschriebenen Arbeiten wurden durch den Zugangsstollen bedient. Nun wurden im Haupttunnel die provisorischen Schutzbögen abgebrochen und gleichzeitig der Zugangsstollen gesperrt. Aus dem Tunnel folgte nun das Ausbrechen der zweiten und der dritten Etappe der Strosse. Bei der zweiten Etappe wurde der Pilotstollen freigelegt und abgebrochen. Die gesamten Ausbrucharbeiten der Kaverne konnten sicher, termingerecht und ohne Beeinträchtigung des Hauptvortriebes auf Ende 2012 abgeschlossen werden. Krönung war die Barbarafeier am 4. Dezember 2012 in der imposanten, vollen Hallengrösse. In 2013 erfolgen sämtliche Betonarbeiten für den Rohbau der Lüftungszentrale von unten nach oben.

including those at the shaft head to be undertaken from inside the tunnel. As a result there was no need for a relatively complicated access road through steep terrain endangered by rockfall. The ventilation cavern is set up crosswise above the main tunnel and the safety tunnel (Fig. 8).

30 arches were installed and concreted at the cavern in advance during the driving of the main tunnel. These serve as a protective shield in order to safeguard the tunnel from any danger posed by the work on the cavern going on above. The cavern is 26 m high, 23 m wide and 37 m long. 22,000 m³ of material had to be excavated. The excavation work was carried out in 2 stages for the crown and in 3 stages for the bench, from top to bottom – all by drill & blast. Once the 249 m long access tunnel was driven, the first stage of the crown was enlarged. This was secured by reinforcement netting, mortar anchors and shotcrete. This was followed by excavating the second stage of the crown and involved a 2 mm thick PVC sealing membrane. Now work on the 50 cm thick concrete inner vault could begin. First of all the 2 abutments were reinforced and concreted. These were then bonded with the rock by means of several, 12 m long pre-tensioning anchors. A lattice arch was set up on the abutments every 3 m. These serve as a support frame for installing the entire vault reinforcement. Assembly of the large vault formwork took place simultaneously. This formwork only consisted of standard elements and beams from Messrs. Peri thus enabling speedy assembly in a limited space to take place. The inner vault for the cavern was accomplished in six 6.30 m stages (Fig. 9).

7 Vortrieb von Norden

7.1 Rohrschirmvortrieb durch Lockergesteinsstrecke

Anfang Juli 2011 begann der Vortrieb durch die rund 405 m dicke Lockergesteinsstrecke. Dieser geologisch äusserst schwierige Abschnitt bildet das bauliche Herzstück des Tunnel Choindez. Allein für die Ausbrucharbeiten der Kalotte sind im Bauprogramm ganze 1 ½ Jahre berücksichtigt! Somit liegt dieser Vortrieb auf dem kritischen Weg des Gesamtbauprogrammes. Der Lockergesteinsabschnitt besteht hauptsächlich aus einer Mischung Elsässer Molasse, Silten und mergeligen Kalken mit eingelagerten Sandsteinlinsen. Die tektonische Lagerung ermöglicht zudem ein freies Zirkulieren von infiltriertem Regenwasser.

Das An- und Unterfahren der bestehenden Pfahlwand im Voreinschnitt erwies sich als wesentlich aufwendiger als vorgesehen. Zudem musste als Vorausmassnahme für eine spätere, zweite Tunnelröhre auf der Achse des Pilotstollens ebenfalls ein erster Rohrschirm gebohrt werden, welcher zu ähnlichen Verzögerungen führte. Die ersten 50 m Vortrieb waren ebenfalls durch erheblichen Wassereintritt und einer äusserst instabilen Geologie gekennzeichnet. Dies verhinderte von Anfang an einen geordneten Leistungsaufbau und führte wiederum zu zusätzlichen Verzögerungen. Als Sofortmassnahme wurde auf die geplante Betriebschliessung im Sommer verzichtet. Zudem unterbreitete die Unternehmung einen Vorschlag zur Auswechslung des einarmigen Rohrschirm-Bohrgerätes durch ein zweiarmiges Bohrgerät als Beschleunigungsmassnahme. Die Lieferung dieses Gerätes war bereits für eine zukünftige Baustelle in Genf vorgesehen, deren Start jedoch durch Einsparungen hinausgeschoben ist. Aus der Palette der möglichen Beschleunigungsmassnahmen war dies die zeitlich am schnellsten umzusetzende und kostengünstigste Lösung. Nach etlichen Verhandlungen genehmigte der Bauherr Anfang 2012 diese Lösung. So konnte mit der 18. Rohrschirmetappe die Umstellung erfolgen. Obwohl die Geologie nach den ersten 50 m besser wurde und dadurch mit dem einarmigen Bohrgerät die vertraglichen Leistungswerte pro Tag von 1,2 m mit Sohlsprenger und 1,5 m ohne Sohlsprenger erzielt wurden, war ein zusätzliches Aufholen der Verspätung nicht möglich. Erst durch den Einsatz des zweiarmigen Bohrgerätes konnte die Bohrdauer eines Rohrschirmes von ursprünglich 3 ½ Tagen auf bis zu 2 Tage reduziert werden. Dies erhöhte die durchschnittliche Vortriebsleistung auf 1,5 respektive 1,7 m pro Tag. Diese relativ hohe Vortriebsleistung lässt sich nur über den Lerneffekt und das Ausschöpfen der vorhandenen Optimierungsmöglichkeiten bei längeren Rohrschirmvortrieben realisieren. Zur Freude aller Beteiligten konnte am 27. September 2012 die Felsgrenze im Norden erreicht werden, rund 3 Wochen früher als im Bauprogramm vorgesehen.

7.2 Bohren des Rohrschirmes

Der ganze Lockergesteinsabschnitt wurde in 36 Rohrschirmetappen von jeweils 11,30 m Länge aufgeteilt. In der ersten

After dismantling the formwork it was time to tackle the first excavation stage of the bench. As a result the roof area for the main tunnel was also exposed. All activities previously described were executed through the access tunnel. Now the temporary protective arches were removed in the main tunnel and at the same time the access tunnel closed down. The second and third stages for the bench were now undertaken in the main tunnel. The pilot tunnel was exposed and demolished for the second stage. The entire excavation work for the cavern was completed at the end of 2012 safely according to schedule without affecting the main drive. This was crowned by the St. Barbara celebrations on December 4, 2012 held in the imposing full length of the hall. All concreting jobs for the roughwork in the ventilation centre from the bottom to the top will be accomplished in 2013.

7 Driving from the North

7.1 Pipe Umbrella Drive through soft Ground Section

In early June 2011 the drive through the roughly 405 m thick soft ground section was started. This geologically extremely tricky section forms the constructional core of the Choindez Tunnel. No less than 1 ½ years are earmarked in the construction programme for excavating the crown! As a result this drive represents a critical factor for the entire construction programme. The soft ground section mainly consists of a mixture of Alsatian molasse, silts and marly limes with interspersed sandstone lentils. In addition the tectonic structure enables infiltrated rainwater to circulate freely.

Overcoming the existing piling wall in the precast turned out to be considerably more complicated than anticipated. Furthermore an initial pipe umbrella had to be drilled as an advance measure for a subsequent second tunnel bore, which led to similar delays. The first 50 m of the drive was also marked by a considerable amount of ingressing water and extremely unstable geology. From the very outset this prevented a good rate of advance being established leading in turn to additional delays. As an immediate response the planned summer break was cancelled. In addition the contractor put forward the notion of replacing the single-arm pipe umbrella drilling rig by a 2-arm unit to speed things up. This unit was scheduled to be delivered to a future construction site in Geneva, whose start was however postponed following consultations. From the range of possible speed-up measures this was the solution that could be accomplished most quickly and inexpensively. The client approved this approach at the beginning of 2012 after protracted negotiations. It was then possible to undertake the changeover for the 18th pipe umbrella stage. Although the geology improved after the first 50 m and the contractually agreed rates of 1.2 m per day with base invert reinforcement and 1.5 m without base invert reinforcement were arrived at with the single-arm drilling rig, it was not additionally possible to compensate for the delays. It was only after the 2-arm drill unit was introduced that the drilling time for a pipe umbrella could be reduced from an original 3 ½ days

Arbeitsphase wurde mit einem Gross-Bohrgerät des Typs EGT TD5200 im Gewölbeumfang der Kalotte fächerförmig der Rohrschirm gebohrt. Der Abstand zwischen den Rohren beträgt 30 cm. Je nach Gesteinsqualität wurden Schirmetappen mit 27 oder 47 Rohren ausgeführt. Die Stahlrohre in der Güte N80 haben eine Länge von 16 m, einen Durchmesser von 159 mm und eine Wanddicke von 8 mm. Bei Etappen mit geologisch günstigeren Verhältnissen konnte jeweils die Hälfte der Bohrlöcher mit einem zentrischen Bohrer vorgebohrt und anschliessend die Stahlrohre in Serie eingebracht werden. Dies reduzierte ganz erheblich die übliche Rüstzeit der Rohre. Bei schlechten Verhältnissen wurden die Rohre sukzessive mit dem „Im-Loch-Bohrhammer“ versetzt. Zur Stützung der Ortsbrust wurden jeweils 22 Glasfaseranker von 20 m Länge des Typs Durglass FLES100 versetzt. Zur Entlastung eventueller Wasserdrücke wurden zusätzlich noch 8 Drainagerohre ebenfalls mit 20 m Länge eingebracht (Bild 10).

7.3 Ausbruch der Kalotte

Die Kalotte wurde mit einem Tunnelbagger mit Abbauhämmer gelöst. Nach einem Vortrieb von 1 bis 2 m wurde die Ortsbrust mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton gesichert. Danach erfolgte das Versetzen des Einbaubogens aus HEB200-Trägern sowie das Hinterfüllen des Bogens mit Beton. Abschliessend erfolgte das Versetzen und Einbetonieren des Sohlsprengrers. Nach Beenden der 11 m langen Vortriebsphase wurde die nächste Rohrschirmetappe in Angriff genommen.

to roughly 2 days. This increased the average rate of advance to 1.5 resp. 1.7 m per day. This relatively high rate of advance can only be accomplished via the learning effect and exploiting the existing possibilities for optimisation in the case of longer pipe umbrella drives. The rock boundary in the north was reached on September 27, 2012 some 3 weeks earlier than foreseen in the construction programme much to the delight of all those involved.

7.2 Drilling the Pipe Umbrella

The entire soft ground section was divided into 36 pipe umbrella stages each 11.30 m in length. In the first working phase the pipe umbrella was drilled fan-shaped in the vault of the crown area using a large drilling rig – Type EGT TD5200. The gap between the pipes amounts to 30 cm. Depending on the rock quality umbrella stages with 27 or 47 pipes were drilled. The N80-quality steel pipes are 16 m long, 159 mm in diameter and possess a wall thickness of 8 mm. For stages with geologically better conditions it was possible in each case to produce the half of the holes with a centric drill in advance and subsequently install the steel pipes in succession. This considerably reduced the normal set-up time for the pipes. Given poor conditions the pipes were placed successively by the “down the hole hammer”. In each case 22 glass fibre anchors 20 m in length – Type Durglass FLES100 – were installed to support the face. Furthermore 8 drainage pipes also 20 m in length were installed to relieve possible water pressures (Fig. 10).



10 Zweiarmiges Rohrschirm-Bohrgerät EGT TD4025 im Einsatz
2-arm pipe umbrella drilling rig EGT TD4025 in operation

7.4 Setzungen

Ein Grossteil des Lockergesteinsabschnittes ist sehr setzungsempfindlich. Um die vorgesehenen Setzungen zu kompensieren wurde der ganze Vortrieb um 29 cm gehoben. Im Widerlagerbereich der Kalotte wurde zudem pro Laufmeter Tunnel je ein 5,5 m langer Mikropfahl versetzt. Die Mikropfähle bestehen aus Stahlrohren mit einem Durchmesser von 89 mm der Stahlgüte N80, welche mit einem spiralförmig aufgeschweissten Bewehrungsstab verstärkt sind, um die Mantelreibung des Pfahles im Mörtelbett zu erhöhen. Zusätzlich ist der Kopfbereich des Mikropfahles mit einem Bewehrungskorb bewehrt, welcher ebenfalls mit Mörtel vollständig ausgegossen wird. Dadurch wird ein guter Verbund mit dem Hinterfüllbeton des Gewölbes sichergestellt. Die Mikropfähle haben ihre Wirkung bereits erzielt, indem eine deutliche Stabilisierung der Setzungen erreicht werden konnte.

7.5 Durchschlagsgrenze

Nach den 405 m Rohrschirmvortrieb wurde auf den Sprengvortrieb umgestellt. Geplant war von Norden eine totale Vortriebslänge von 956 m und von Süden deren 1830 m bis zum Durchschlag. Aufgrund der guten Leistungen im Südvortrieb und um ein Reservepuffer für den ebenfalls auf dem zeitkritischen Weg liegenden Ausbruch der Strosse und des Sohlgewölbes in der Rohrschirmstrecke zu schaffen, wurde die geplante Durchschlagsgrenze verschoben. Die Vortriebslängen wurden neu von Norden auf den Tunnelmeter 633 verkürzt und entsprechend die Strecke von Süden auf Tunnelmeter 2153 verlängert. Ende 2012 fehlten insgesamt noch 545 m Tunnel bis zum Durchschlag. Trotz Verschiebung der Durchschlagsgrenze bleibt der Zeitpunkt des Durchschlags gemäss Werksbauprogramm im April 2013 möglich. Insgesamt waren 5 Vortriebsumstellungen für die Ausbrucharbeiten des ganzen Tunnels erforderlich.

7.6 Ausbruch der Strosse im Lockergesteinsabschnitt

Ab Anfang 2013 wurde die Strosse und parallel dazu das Sohlgewölbe mit Hydraulikbagger mit Abbauhammer ausgebrochen. Um zeitlich einen Ringschluss mit den Einbaubögen der Kalotte innerhalb eines Monats zu gewährleisten, darf das Sohlgewölbe nicht länger als 25 m hinter der Strosse folgen. Sowohl in der Strosse wie auch im Sohlgewölbe erfolgt der Ringschluss mit Einbaubögen.

8 Tagbauarbeiten Nord

Im Gegensatz zum einröhrigen Verkehrstunnel untertage werden im 462 m langen Voreinschnitt Nord 2 komplette Tunnelröhren im Tagbau erstellt und überdeckt. Dies ist als eine Vorleistung für einen allfälligen, späteren Ausbau des Sicherheitsstollens zu einer zweiten Verkehrsröhre zu verstehen. Die Länge des Voreinschnittes ergab sich einerseits durch den flachen Übergang zwischen dem Gebirgshang und der Ebene von Delémont, andererseits durch die schlechte Bodenbeschaffenheit. Die Tagbauarbeiten sind in 3 Bauabschnitte aufgeteilt. Im ersten und tiefsten Abschnitt vor dem Tunnelein-

7.3 Excavating the Crown

The crown was created by a tunnel excavator with rock drill. After driving 1 to 2 m the face was secured with steel fibre reinforced shotcrete. Then the support arches consisting of HEB200 girders were placed and the arches backfilled with concrete. Subsequently the base invert reinforcement was installed and concreted in place. After completion of the 11 m long driving phase the next pipe umbrella stage was tackled.

7.4 Settlements

A major portion of the soft ground section is highly prone to settlements. The entire drive was raised by 29 cm in order to compensate for the predetermined settlements. Furthermore a 5.5 m long micropile was installed per running metre of tunnel in the crown's abutment area. These micropiles comprise steel pipes 89 mm in diameter in steel quality N80, which are strengthened by a spiral-shaped reinforcement bar that is welded on to increase the skin friction of the pile in the bed of mortar. In addition the head area of the micropile is strengthened by a reinforcement cage, which is also completely grouted with mortar. In this way good bonding with the backfill concrete of the vault is assured. The micropiles were able to serve their purpose by ensuring that the settlements were considerably stabilised.

7.5 Breakthrough Boundary

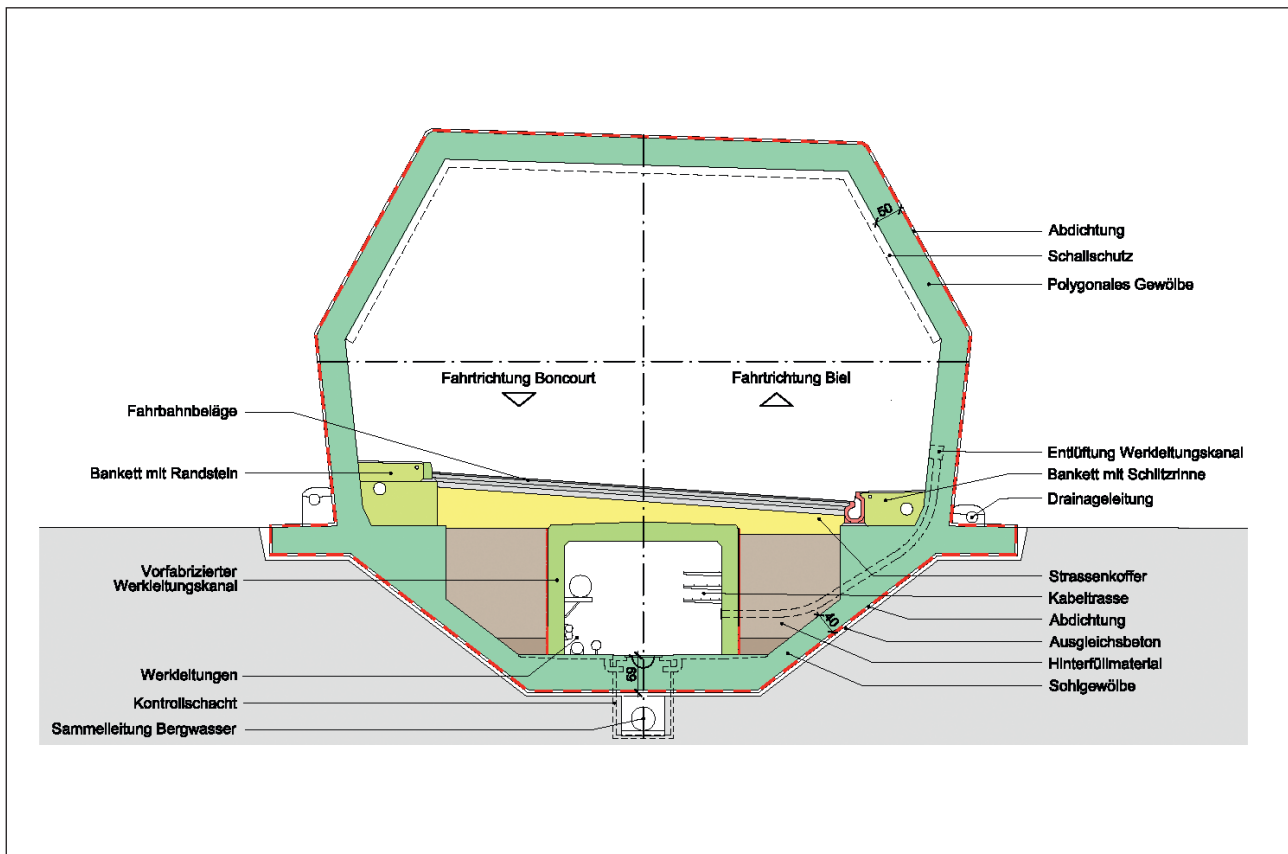
Drill & blast was resorted to after 405 m of pipe umbrella driving. Seen from the north a total driving length of 956 m was foreseen and from the south 1,830 m to the breakthrough. Thanks to the satisfactory rates attained in the south drive and to create a reserve buffer for excavating the bench and the base invert in the pipe umbrella section, which were also subjected to time pressure, the entire breakthrough boundary was relocated. The driving lengths were reallocated being reduced to tunnel metre 633 from the north and extended to tunnel metre 2,153 from the south. At the end of 2012, 545 m of tunnel still had to be completed until the breakthrough was achieved. In spite of relocating the breakthrough boundary the point-in-time of the breakthrough scheduled for April 2013 in the construction programme still remains possible. Altogether 5 modifications to the drive were necessary for the excavation activities for the whole tunnel.

7.6 Excavation of the Bench in the soft Ground Section

As from early 2013 the bench and parallel to it the base invert were driven with a hydraulic excavator equipped with a rock drill. The base invert must not follow the bench by more than 25 m in order to assure that ring closure is accomplished with the support arches for the crown within a month. The ring is closed by means of support arches both in the bench as well as in the base invert.

8 North Cut-and-Cover Operations

In contrast to the single-bore transport tunnel produced underground, 2 complete tunnel bores are produced and



11 Polygonales Normalprofil im Tagbau Nord
 Polygonal standard profile in the north cut-and-cover section

gang entsteht quer über beide Tunnelachsen die 34 m breite Lüftungszentrale Nord. Einzig deren oberstes Geschoss wird aus dem Boden sichtbar bleiben. Daran anschliessend folgt der zweite Abschnitt mit den zwei 128 m langen Röhren im Kreisprofil. Im dritten, 300 m langen Bauabschnitt wird infolge der geringen Überdeckungshöhe das Gewölbe der beiden Röhren zu einem polygonalen Profil gekröpft. Mit dem Start der Vortriebsarbeiten im Juli 2011 wurden auch die erste Hälfte der Lüftungszentrale und das Sohlgewölbe der Weströhre begonnen. In 2012 erfolgten der Bau des Sohlgewölbes der Oströhre sowie die Gewölbearbeiten für das Kreisprofil an der Weströhre. 2013 werden das Kreisprofil der Oströhre, das polygonale Profil der beiden Röhren parallel und die zweite Hälfte der Lüftungszentrale gleichzeitig ausgeführt. Bei all diesen Arbeiten im Tagbau musste die Zufahrt und Versorgung des Vortriebs Nord ständig gewährleistet werden. Dazu wurde ein detaillierter und zeitlich ausgeklügelter Phasenplan ausgearbeitet, der ein mehrmaliges Umstellen der Zufahrt vorsieht. Dadurch konnten Schnittstellenprobleme und gegenseitige Behinderungen vermieden werden (Bild 11).

9 Logistik für das Ausbruchmaterial

Auf die Planung der Logistik zur Abfuhr des Ausbruchmaterials wurde bereits bei der Ausarbeitung des Angebotes ein grosser Schwerpunkt gesetzt. Folgende Rahmenbedingungen mussten berücksichtigt beziehungsweise gelöst wer-

covered in the 462 m long north precut. This should be understood as an advance provision for a possible, subsequent development of the safety tunnel to carry traffic. The length of the precut resulted on the one hand from the flat transition between the rock slope and the plain of Delémont and on the other, from the poor nature of the soil. The cut-and-cover operations are split into 3 construction sections. The 34 m wide north ventilation centre is produced over the 2 tunnel axes in front of the tunnel entrance in the first and deepest section. Only its upper storey will remain visible from the ground. This is followed up by the second section with the two 128 m long bores with a circular profile. In the third, 300 m long construction section the vault for the 2 tubes is accorded a polygonal profile on account of the shallow overburden height. The start of driving activities in July 2011 also heralded in the beginning of the first half of the ventilation centre and the base invert for the west bore. The base invert for the east bore as well as work on the vault for the circular profile of the west bore followed in 2012. In 2013, the circular profile for the east bore, the polygonal profile for the 2 bores and the second half of the ventilation centre will be undertaken at the same time. Access to and provision of the north drive must be assured at all times during all these cut-and-cover activities. Towards this end a detailed and well thought out schedule was evolved, which foresees the access being relocated on several occasions. In this way interface problems and mutual hindrances can be avoided (Fig. 11).



12 Förderband im Pilotstollen
Belt conveyor in the pilot tunnel

den. Fast das gesamte Ausbruchmaterial muss zur Aufbereitung in die Deponie „La Paroisse“ auf die Nordseite geführt werden. Nur während einer kurzen Startphase des Südvortriebes konnte der Ausbruch in eine Deponie in der Nähe von Moutier gebracht werden. Zweidrittel der gesamten Ausbruchmenge von 350 000 m³ kommt aus dem Südvortrieb. Mit maximal 15 Fahrten pro Tag durch die Gemeinde Courrendlin wurde bereits in der Ausschreibung die Lastwagenmenge auf ein Minimum reduziert. Im Süden fällt gleichzeitig Ausbruchmaterial aus dem Vortrieb und der Lüftungskaverne an. Die Benützung des bestehenden Pilotstollens als Logistikstollen wurde ermöglicht. Daher lag die Lösung mit einem Förderband im Pilotstollen auf der Hand (Bild 12).

Die Bandanlage wurde mit einer Gurtbreite von 800 mm und einer Förderleistung von 500 t/h ausgelegt. Die Lieferung erfolgte durch die Marti Technik AG. Die Bandanlage wurde in 2 Phasen gegliedert. In der ersten Phase wurde die Brechanlage für das Ausbruchmaterial am Südportal des Pilotstollens aufgestellt. Mit dem Förderband gelangte der Ausbruch in den Voreinschnitt Nord. Die im Kapitel 8 beschriebene Gleichzeitigkeit der Arbeiten im Tagbau stellte bezüglich der Linienführung des Förderbandes im Voreinschnitt eine Knacknuss dar. Die Lösung bestand im Verlegen des Förderbandes in den Werkleitungskanal. Dazu musste vorerst das Kellergeschoss der Lüftungszentrale Nord erstellt werden. In dieser ersten Phase wurde das Ausbruchmaterial daher im

9 Logistics for the excavated Material

Great importance was placed on planning the logistics for removing the excavated material when working out the offer. The following general conditions had to be observed and solved. Practically all the excavated material had to be carried to the “La Paroisse” dump located at the north side for preparation purposes. The material could only be transported to a dump in the vicinity of Moutier during a brief start-up phase of the south drive. Two-thirds of the entire 350,000 m³ of excavated material is derived from the south drive. Already at the tendering stage the amount carried by truck was confined to a minimum permitting 15 trips per day at the most through the community of Courrendlin. In the south excavated material from the drive and from the ventilation cavern must be tackled at the same time. It was possible to use the existing pilot tunnel as a logistics tunnel. Consequently the obvious solution was to make use of a belt conveyor system in the pilot tunnel (Fig. 12).

The conveyor system was designed with a belt width of 800 mm and a haulage rate of 500 t/h. It was supplied by the Marti Technik AG. The conveyor system was divided into 2 phases. In phase 1 the crusher unit for the excavated material was set up at the south portal of the pilot tunnel. The excavated material was carried via the belt conveyor to the north precut. The concurrency of the cut-and-cover operations



13 Provisorischer Bandabwurf vor der Fertigstellung des Werkleitungskanals im Tagbau Nord
Temporary belt discharge prior to completion of the utility duct

Voreinschnitt abgeworfen, auf Dumper verladen und in die Deponie „La Paroisse“ transportiert (Bild 13).

Nach der Fertigstellung des Sohlgewölbes und des Werkleitungskanals der Weströhre wurde das Förderband darin verlegt und bis zur Deponie verlängert. Der Werkleitungskanal besteht aus vorfabrizierten Betonelemente welche aus dem eigenen Werk in Balsthal per Bahn nach Delémont geliefert wurden. Das einfache Versetzen dieser Elemente erlaubt einen raschen Baufortschritt. Gleichzeitig wurde im Süden nach dem Durchfahren der ersten Ausstellbucht bei Tunnelmeter 573 der Querschlag zum Pilotstollen erstellt und die Brechanlage vom Portal in die Ausstellbucht versetzt. Dies ermöglichte nun in der Kaverne das freie Abbrechen des Pilotstollens und des Haupttunnels ohne Behinderung des Vortriebes.

10 Innenausbau

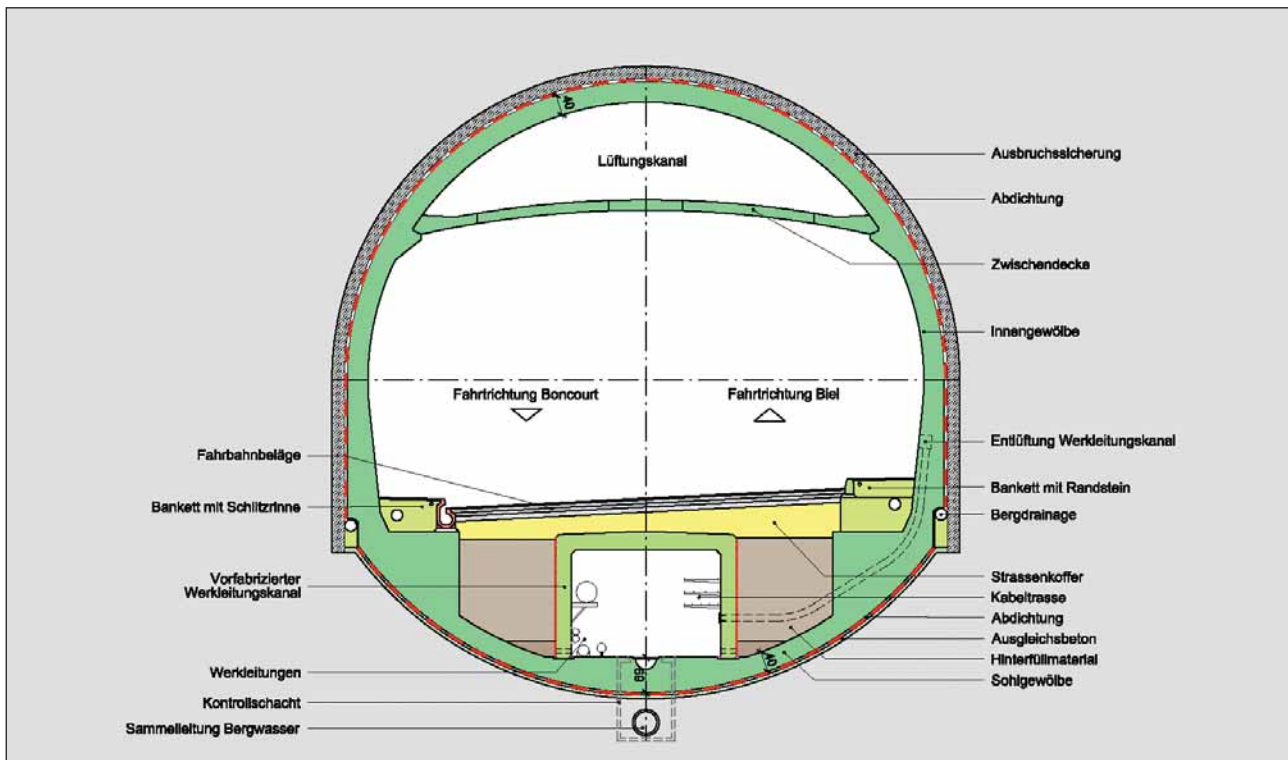
Nach dem Ende der Vortriebsarbeiten im Frühjahr 2013 werden von der Nordseite beginnend alle Betonarbeiten für das Innengewölbe in Angriff genommen. Parallel erfolgt von Süden her der vorlaufende Ausbruch des Sohlgewölbes. Die Betonarbeiten beinhalten das Verlegen der Sammelleitung in der Sohle, das Abdichten, Bewehren und Betonieren des Sohlgewölbes sowie das Verlegen und Hinterfüllen der Werkleitungselemente. Danach folgen das Betonieren des Kickers und des Innengewölbes sowie das Erstellen der Zwischendecke. Beendet werden die Rohbauarbeiten durch das Erstellen der seitlichen Bankette und das Einbringen des Strassenkoffers und der ersten Belagsschicht (Bild 14).

described in Chapter 8 represented a tough nut to crack regarding the alignment of the belt conveyor system in the precut. The solution was to relocate the conveyor in the utility duct. Towards this end the basement of the north ventilation centre first had to be produced. During this first phase the excavated material was thus discharged in the precut, loaded onto dumpers and transported to the “La Paroisse” disposal site (Fig. 13).

After completion of the base invert and the utility duct for the west bore the belt conveyor was set up in it and extended to the dump. The cable duct consists of precast concrete elements, which are delivered by rail to Delémont from the contractor’s own plant. The straightforward installation of these elements enabled work to forge ahead rapidly. At the same time after breaking through the first lay-by at tunnel metre 573 the cross-passage to the pilot tunnel was produced in the south and the crusher unit shifted from the portal to the lay-by. This enabled the pilot tunnel and the main tunnel to be excavated freely in the cavern without any hindrance to the drive.

10 Completing the Interior

After the driving operations are completed in spring 2013 all concreting jobs for the inner vault will be tackled starting from the north side. Parallel to this the base invert will be excavated from the south. Concreting operations involve the laying of the supply line in the base as well as the laying and backfilling of the utility duct elements. This is followed



14 Normalprofil des Innenausbaues
Standard profile for completing the interior

11 Ausblick

Die vielfältigen und verschachtelten Bauvorgänge erfordern eine sorgfältige Vorausplanung, eine laufende Überwachung und ein grosses Mass an Flexibilität aller Teilnehmer. Dabei darf, trotz der notwendigen Betreuung der Detailprobleme, die Übersicht und das Endziel nicht verloren gehen. Dazu ist eine schlanke Organisation, gemäss der Strategie „Alles aus einer Hand“, sehr hilfreich. Nach dem Beenden der komplexen Ausbrucharbeiten kann festgestellt werden, dass die gesamte Baustelle gut auf Kurs ist. Die nicht minder anspruchsvollen Betonarbeiten konnten rechtzeitig gestartet werden, sodass der Endtermin zuversichtlich eingehalten werden sollte.

up by concreting the kicker and the inner vault as well as completion of the intermediate ceiling. The roughwork will be brought to a conclusion by producing the shoulder at the side and installing the road bed and the initial layer (Fig. 14).

11 Outlook

The manifold and complicated construction processes need careful advance planning, constant monitoring and a good deal of flexibility on the part of all those involved. In this connection in spite of the need for paying attention to details, the final target must never be lost from sight. For this purpose lean organisation in keeping with the “everything from a single source” strategy is helpful. After concluding the complex excavation activities it can be established that the entire construction site is on an even keel. The no less sophisticated concreting operations could be started on time so that the deadline can certainly be adhered to.

Thomas Gut, Dipl. Kulturingenieur ETH, MBA, Projektleiter Ausland, Marti Contractors Ltd., Moosseedorf/CH

Wasserkraftstollen in Bhutan

Logistische Herausforderungen beim Bau

Im kleinen Himalaja-Staat Bhutan wird der Ausbau der Wasserkraft mit grossen Anstrengungen voran getrieben. Das Mangdechhu HEP ist eines der 3 Grosswasserkraftwerke, welche sich derzeit im Bau befinden. Neben den bautechnischen Herausforderungen, die der Bau eines Wasserkraftstollens in der Himalaja-Geologie mit sich bringt, sind anspruchsvolle logistische Aufgaben zu bewältigen. Die abge-schiedene Lage der Baustelle, die klimatischen Besonderheiten des Himalajas oder die Beschaffung jegli-chen Materials aus Indien erfordern eine den lokalen Gegebenheiten angepasste und vorausschauende Baustellenlogistik, damit die Baustelle zum Erfolg geführt werden kann.

Hydropower Tunnel in Bhutan

Logistical Challenges during Construction

The development of hydroelectric power is forging ahead in the small Himalayan state of Bhutan. The Mangdechhu HEP is one of the 3 large hydroelectric power plants currently under construction. Apart from the engineering challenges, which the building of a hydropower tunnel entails in the Himalayan geology, sophisticated logistical challenges have to be mastered. The remote location of the construction site, the climatic particularities of the Himalayas as well as the procurement of all materials from India call for visionary site logistics adapted to local requirements to ensure the site will be successful.

1 Bhutan und die Bedeutung der Wasserkraft

Das Königreich Bhutan ist ein kleiner, im Himalaja gelege-ner Gebirgsstaat. Einklemmt zwischen Indien im Süden und China im Norden erstreckt sich das Land auf einer Flä- che knapp so gross wie die Schweiz (38 394 km²). Mit rund 740 000 Einwohner ist die Besiedlung spärlich.

Bhutan ist bekannt für seine zahlreichen Bergflüsse, welche von den vergletscherten Himalaja-Gipfeln über mehrere tausend Höhenmeter hinab in das Indische Ganges-Brahma-putra-Tiefeland fliessen. Das technisch nutzbare Wasserkraft- potential wird auf knapp 24 000 MW geschätzt, was einer Produktionsmenge von 100 000 GWh/a entspricht [1] (zum Vergleich: das Wasserkraftpotential der Schweiz beträgt ca. 37 000 GWh/a [2]). Davon sind zurzeit jedoch nur 5 % des Po- tentials ausgebaut.

Die wirtschaftliche Entwicklung Indiens und die damit wach- sende Energienachfrage im südlichen Nachbarland hat je- doch die systematische Erschliessung und den Export der Bhutanischen Wasserkraft in den vergangenen Jahren stark vorangetrieben. Indien und Bhutan haben zusammen den Ausbau weiterer 10 000 MW – also fast die Hälfte des derzei-

1 Bhutan and the Significance of Hydroelectric Power

The Kingdom of Bhutan is a small mountain state located in the Himalayas. Squeezed in between India in the south and China in the north; the country possesses an area almost as big as Switzerland (38,394 km²). It is sparsely populated with 740,000 inhabitants.

Bhutan is renowned for its numerous mountain streams, which flow from the glacier-rich Himalaya peaks descending several thousand metres down to the Ganges-Brahmaputra plain in India. The technically feasible hydropower poten- tial is estimated at almost 24,000 MW, corresponding to a production quantity of 100,000 GWh/a [1] (compared with Switzerland's hydroelectric power potential of around 37,000 GWh/a [2]). However currently only 5 % of this potential is being exploited.

India's economic development and the accompanying growing demand for energy in Bhutan's southern neighbour have how- ever encouraged the systematic development and exportation of the country's hydroelectric power in recent years to a marked extent. India and Bhutan have jointly decided to generate a fur-

Galerie hydroélectrique au Bhoutan

Les défis logistiques de la construction

Le petit royaume du Bhoutan fait de gros efforts pour faire avancer le développement de son énergie hydraulique. Le projet Mangdechhu est l'une des 3 grandes centrales hydroélectriques actuellement en construction. En plus des défis techniques que pose la construction d'une galerie hydroélectrique dans la géologie de l'Himalaya, il s'agit de maîtriser des tâches logistiques extrêmement difficiles. L'emplacement retiré du chantier, les particularités climatiques de l'Himalaya et l'approvisionnement de tout le matériel en Inde exigent une logistique de chantier prévoyante et adaptée aux conditions locales pour mener à bien le projet.

Galleria idroelettrica in Bhutan

Sfide logistiche per la sua realizzazione

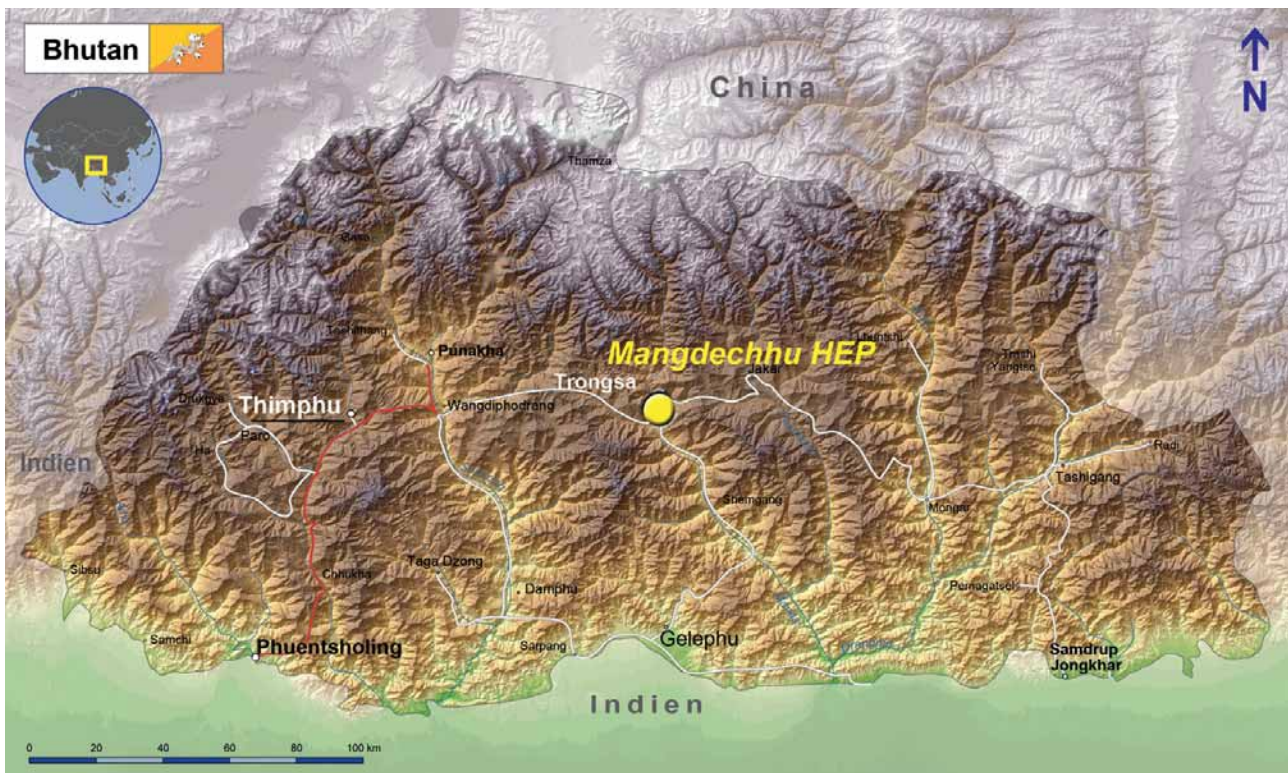
In Bhutan, il piccolo stato nell'Himalaya, l'espansione delle risorse idroelettriche viene promossa con grande impegno. La Mangdechhu HEP è una delle 3 grandi centrali idroelettriche attualmente in fase di costruzione. Oltre alle sfide tecniche e costruttive legate alla realizzazione di una galleria idroelettrica nella situazione geologica dell'Himalaya devono essere affrontati compiti molto impegnativi in campo logistico. L'ubicazione isolata del cantiere, le particolarità climatiche dell'Himalaya o l'acquisto dei materiali dall'India richiedono una logistica di cantiere proattiva ed adattata alla situazione locale per poter portare al successo il cantiere.

tigen Wasserkraftpotentials – beschlossen. Davon befinden sich zurzeit 3 Projekte mit einer installierten Leistung zwischen 720 und 1200 MW im Bau. Weitere 7 Projekte durchlaufen die Bewilligungsphase resp. sind in den Vorbereitungen zur Bauausführung.

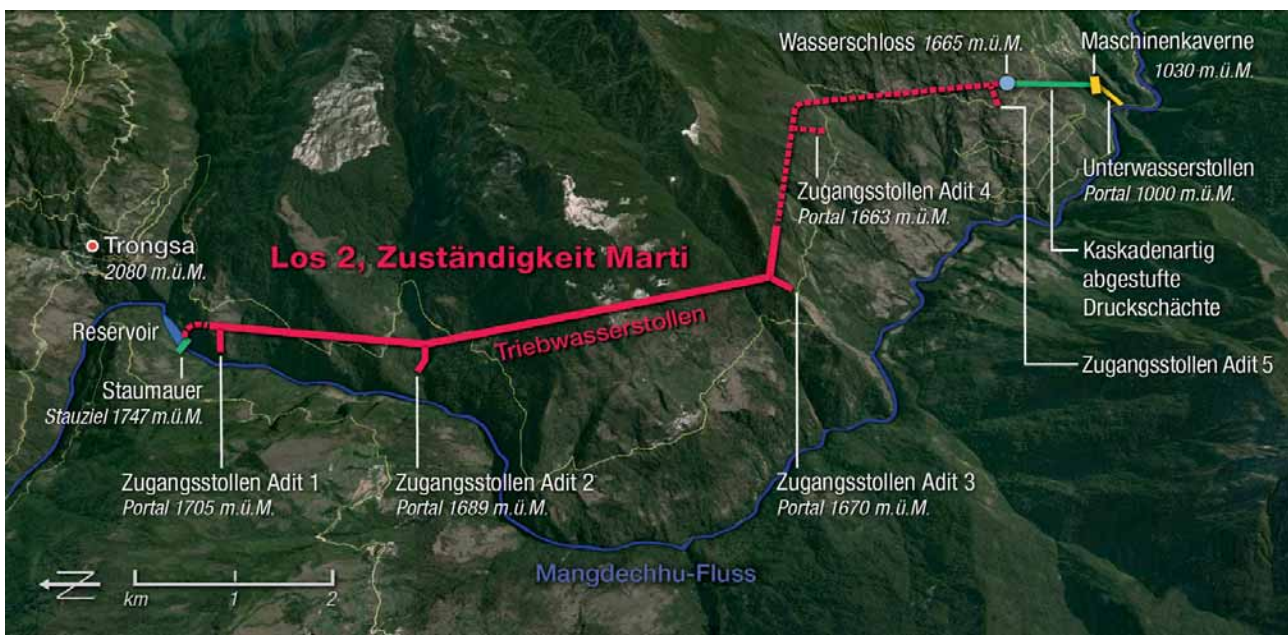
Die Wasserkraft und insbesondere der Export von Wasserkraftstrom nach Indien ist bereits heute der wichtigste Wirtschaftszweig Bhutans. Stromexporte nach Indien generieren die Hälfte der Staatseinnahmen.

ther 10,000 MW – in other words almost half the present hydroelectric power potential. Towards this end at the moment 3 projects with an installed capacity of between 720 and 1,200 MW are under construction. A further 7 projects are in the process of being approved or at the pre-construction stage.

Hydropower and especially the export of hydroelectricity to India already represents Bhutan's most important economic branch. Exports of electricity to India generate the half of the state's revenues.



1 Mangdechhu HEP liegt im Zentrum Bhutans
The Mangdechhu HEP lies in central Bhutan



2 Übersicht des Gesamtprojekts und Teil des Loses 2
Overview of entire project and part of contract section 2

2 Projektbeschreibung

Mangdechhu Hydro-Electric Project (HEP) ist eines der 3 sich im Bau befindenden Wasserkraftgrossprojekte in Bhutan. Die installierte Leistung wird 720 MW betragen. Das Kraftwerk befindet sich am gleichnamigen Fluss Mangdechhu nahe des Ortes Trongsa in Zentralbhutan und ist auf einer Höhe von 1000 bis 1750 m ü. M. gelegen (Bild 1).

Das Mangdechhu Wasserkraftwerk ist als Laufwasserkraftwerk konzipiert mit einer täglichen Speicherung zur Bereitstellung einer Spitzenlast während ca. 3h/Tag. Es nutzt für die Stromproduktion einen Höhenunterschied von 733 m.

Die Hauptelemente des Projekts sind im Folgenden beschrieben (Bild 2). Die 56 m hohe und 141 m breite Betongewichtsmauer, die den Mangdechhu auf einer Länge von ungefähr 800 m aufstaut, der 574 m lange Umleitungstunnel, 2 Einlaufwerke und ein unterirdisches Absetzbecken. Danach schliesst der 13,561 km lange Triebwasserstollen (hufeisenförmig mit 6,5 m ausgebautem Durchmesser) an, welcher für einen Wasserdurchfluss von 118 m³/s dimensioniert ist. Der Triebwasserstollen verfügt über 5 Zugangsstollen von total 2,325 km Länge, die während der Bauphase als Zwischenangriffe verwendet werden. Das vertikale Wasserschloss ist 152 m hoch. Über zwei 1,856 km lange, kaskadenartig abgestufte Druckschächte wird das Wasser der unterirdisch liegenden Maschinenkaverne zugeführt. Diese wird 4 Pelton-Turbinen mit je 180 MW unterbringen. Das Transformatorenhaus ist ebenfalls unterirdisch angeordnet. Der Unterwasserstollen weist eine Länge von 1,295 km auf.

Geologisch gesehen liegt das Projekt in der „Great Himalayan Sequence“. Der Triebwasserstollen liegt hauptsächlich

2 Project Description

Mangdechhu Hydroelectric Project (HEP) is one of the 3 major hydropower projects being built in Bhutan. The installed capacity will amount to 720 MW. The power plant is located on the river bearing the same name, Mangdechhu, close to the small town of Trongsa in central Bhutan and is located at an altitude of 1,000 to 1,750 m ASL (Fig. 1).

The Mangdechhu hydroelectric project is envisaged as a run-of-river scheme with diurnal storage for providing peaking power for about 3 hours in a day. The head will be 733 m difference in elevation for producing electricity.

The main elements of the project are described as follows (Fig. 2). The 56 m high and 141 m wide concrete gravity dam, which holds back the Mangdechhu over a length of some 800 m, the 574 m long diversion tunnel, the 2 intake structures and an underground desilting chamber. This is subsequently followed up by the 13.561 km long headrace tunnel (horseshoe shaped with 6.5 m finished diameter), which is designed for a discharging capacity of 118 m³/s. The headrace tunnel possesses 5 adits totalling 2.325 km in length, which are used as intermediate access to the headrace tunnel during the construction phase. The vertical surge shaft is 152 m high. Water is fed to the underground power house complex via two 1.856 km long, stepped vertical pressure shafts. The power house cavern will house 4 Pelton turbines each of 180 MW. The transformer cavern is also located underground. The tailrace tunnel is 1.295 km long.

In geological terms the project is located in the “Great Himalayan Sequence“. The headrace tunnel mainly lies in highly deformed granitic gneiss zones and metasediments

in stark verformten granitischen Gneiss-Zonen und Metasedimenten in Form von Schiefer und Phyllit. Die maximale Überdeckung beträgt knapp 1000 m. Es ist mit zahlreichen Störzonen, teilweise druckhaftem Gebirge und lokal hohen Wasserdrücken zu rechnen. Bhutan befindet sich zudem in einer der seismisch aktivsten Regionen der Welt: das Erdbebenrisiko im Projektgebiet ist entsprechend hoch.

Als Bauherr tritt die Projektgesellschaft „Mangdechhu Hydro-Electric Project Authority“ (MHPA) auf, in welcher die Regierungen Indiens und Bhutans vertreten sind. Die Projektfinanzierung wird vollumfänglich durch Indien bereitgestellt, die Projektgesamtkosten belaufen sich auf umgerechnet knapp 700 Mio. CHF.

Die Bauausführung ist in 3 Lose unterteilt, welche gegenüber MHPA von 2 indischen Baukonzernen als Hauptunternehmer realisiert werden.

Das Los 2 umfasst Ausbruch und Innenausbau des Triebwasserstollens inklusive der Zugangsstollen und wird von MARTI India Pvt. Ltd., welche zur schweizerischen MARTI Holding AG gehört, und Gammon India Ltd. (Hauptunternehmer) ausgeführt. In der Zuständigkeit von MARTI liegen die ersten 8,668 km des Triebwasserstollens sowie 3 Zugangsstollen (Gesamtlänge 1,339 km). Die gesamten Ausbrucharbeiten erfolgen im Sprengvortrieb.

in the form of schist and phyllite. The maximum overburden amounts to nearly 1,000 m. Numerous fault zones, in some cases squeezing rock and local high water pressures are to be reckoned with. In addition Bhutan is located in one of the world's most active seismic regions: the risk of earthquakes in the project area is correspondingly high.

The project company “Mangdechhu Hydroelectric Project Authority” (MHPA), which contains representatives of the Indian and Bhutanese governments, functions as client. The project is entirely financed by India with the overall costs for the project amounting to the equivalent of almost 700 million CHF.

Construction work is divided into 3 lots (contract packages), which are being tackled by 2 Indian construction companies acting towards MHPA as the responsible main contractors.

Lot 2 entails the excavation and concrete lining of the headrace tunnel including the access tunnels and is being executed by MARTI India Pvt. Ltd., which belongs to the Swiss MARTI Holding AG, and Gammon India Ltd. (main contractor). Under the responsibility of MARTI are the first 8.668 km of the headrace tunnel as well as 3 access tunnels (totalling 1.339 km in length). The entire excavation work is carried out by drill & blast method.

Construction work on all 3 sections started in summer 2012. This will probably last until end of 2016 in lot 2.



3 Am Portal des Adits 2: Beginn der Ausbrucharbeiten
Adit 2 portal: start of excavation work

Die Bauarbeiten wurden im Sommer 2012 auf allen 3 Losen gestartet. In Los 2 werden sie voraussichtlich bis Ende 2016 andauern.

3 Stand der Arbeiten im Triebwasserstollen von Los 2

Der Ausbruch des Triebwasserstollens von KM 0,020 bis 8,686 erfolgt über die 3 Zugangsstollen Adit 1 bis Adit 3. Vom Ende der 3 Zugangsstollen wird der Vortrieb jeweils tunnelaufwärts und -abwärts ausgeführt. Insgesamt wird an 6 Vortrieben gleichzeitig gearbeitet.

Nach einer gut zweimonatigen Mobilisationszeit wurde im August 2012 am Adit 3 mit den Vortriebsarbeiten gestartet. Zurzeit laufen die Vortriebsarbeiten in den 2 Zugangsstollen Adit 2 und 3 sowie im Triebwasserstollen über Adit 1 (Bild 3). Der erste Zugang zum Triebwasserstollen ist bereits Anfang März erfolgt. Die Fertigstellung der anderen beiden Adits soll bis im Herbst 2013 erreicht sein.

Bis Ende März 2013 konnten gut 60 % der total 1336 m Zugangsstollen im Sprengvortrieb ausgebrochen werden. Die angetroffene Felsqualität war bisher durchgehend schlechter als erwartet und bewirkte Verzögerungen auf das Bauprogramm. Die Stollen mussten daher hauptsächlich mit Stahlbögen und Spritzbeton gesichert werden (Bild 4). Mitte März 2013 konnte der erste Vortrieb im Triebwasserstollen begonnen werden.

Zeitgleich zu den Vortriebsarbeiten in den Zugangsstollen erfolgt der Aufbau der Baustelleninstallationen, welche bis April 2013 abgeschlossen sind.

4 Logistische Herausforderungen

4.1 Erreichbarkeit der Baustelle

Die Baustelle liegt im Zentrum Bhutans am Kreuzungspunkt zweier „National Highways“: Der Hauptverbindung in West-Ost-Richtung sowie der Erschließung vom Süden her. Der



4 Vortriebsarbeiten im Adit 3: Fellsicherung durch Stahlbögen
Driving operations in Adit 3: securing the rock with steel arches

3 Current progress of work in Lot 2 Headrace Tunnel

The headrace tunnel excavation from km 0.020 to 8.686 takes place via the 3 access tunnels Adits 1 to 3. From the end of the 3 adits, the headrace tunnel will be driven in 2 directions, tunnel upwards and tunnel downwards. Altogether 6 drives are tackled at the same time.

After a 2-month long mobilisation period, tunnel excavation work began in August 2012 at Adit 2. Currently work is progressing in the 2 access tunnels Adit 2 and 3 (Fig. 3) and has just started in the headrace tunnel from Adit 1. First access to headrace tunnel has been reached beginning of March 2013. The other 2 adits are due to be completed until autumn 2013.

By mid-January 2013 some 35 % of the altogether 1,336 m of access tunnel had been excavated. The rock quality encountered so far has generally been poorer than anticipated causing delays to the construction programme. As a result the adits had largely to be supported with steel arches and shotcrete (Fig. 4). First excavation in the headrace tunnel has commenced mid of March 2013.

At the same time as the excavation works in the adits and headrace tunnel, setting up the construction site installations and camp is progressing due to be concluded in March 2013.

4 Logistical Challenges

4.1 Site Accessibility

The construction site is located in the centre of Bhutan at the intersection of 2 national highways: the main west-east link as well as the route running from the south. The standards of these national highways cannot be compared at all with roads of this category in Europe. Generally speaking it relates to a carriageway several metres wide, which precariously snakes its way along steep valley slopes and more than 3,000 m ASL high mountain passes. As a result in spite of its relatively modest proximity to most of the important places in Bhutan – border crossing points with India at Phuentsholing and Gelephu (375 and 240 km resp.), the Paro international airport (260 km) or the capital Thimphu (200 km) – it takes at least 1 or 2 days to get there by road.

As the site is largely supplied logistically from India, the link up with the Indian transport infrastructure also has an important role to play. Sea or air freight is usually handled via the port facilities in Calcutta all of 1,100 km away. Freight transports in India itself normally take place by road. Transportation times of several weeks are customary on account of the poor efficiency and reliability of the Indian and Bhutanese transport systems.



5 Ein Sattelzug brachte die National Highway-Brücke zum Einsturz und störte die Versorgung der Baustelle über mehrere Wochen empfindlich
An articulated truck caused the national highway bridge to collapse and seriously impeded supply of the site for a number of weeks

Ausbaustandard dieser „Nationalstrassen“ darf nicht mit Strassen derselben Kategorie in Europa verglichen werden. In der Regel handelt es sich um eine wenige Meter breite Fahrbahn, welche sich in abenteuerlicher Weise entlang steiler Talflanken und über mehr als 3000 m ü. M. hohe Gebirgspässe schlängelt. Daher ist die Baustelle trotz der relativ bescheidenen Kilometerdistanzen zu den meisten wichtigen Orten in Bhutan – Grenzstationen zu Indien in Phuentsholing und Gelephu (375 resp. 240 km), internationaler Flughafen Paro (260 km) oder die Hauptstadt Thimphu (200 km) – auf der Strasse mindestens 1 bis 2 Tagesreisen entfernt.

Da die Baustelle logistisch vorwiegend aus Indien versorgt wird, spielt auch die Anbindung an die indische Verkehrsinfrastruktur eine wichtige Rolle. See- oder Luftfracht wird meist über die Häfen im 1100 km weit entfernten Kalkutta abgewickelt. Die Frachttransporte in Indien selbst erfolgen üblicherweise auf der Strasse. Bedingt durch die niedrige Effizienz und Zuverlässigkeit des indischen und bhutanischen Verkehrssystems sind Transportzeiten bis auf die Baustelle von mehreren Wochen üblich.

Erschwerend sind zudem während der Monsunzeit häufige Erdbeben, welche die Strassen für wenige Stunden bis zu einigen Tagen blockieren können. Im Winter muss mit starken Schneestürmen und Frost in Höhenlagen ab 3000 m ü. M. gerechnet werden.

Frequent landslides during the monsoon periods, which can block the roads for anything from a few hours to several days, exacerbate the situation. In winter, heavy snow storms and frost at altitudes above 3,000 m ASL must be reckoned with.

In addition to natural hazards, human error on the part of the drivers and limited road maintenance have to be mentioned. These factors can severely restrict accessibility to the construction site. Thus for example the national highway as the sole link within the perimeter of the project was closed for any kind of motorised traffic for a 5-week period, after a bridge spanning a gulley collapsed on account of being overloaded (Fig. 5).

Accessibility within the project perimeter faces similar challenges (Fig. 6). The maximum distance to be travelled between the portals amounts to only 15 km. However depending on the road and weather conditions the trip can last more than an hour or the route is even completely blocked.

Driving over the partially unpaved site access roads with heavy vehicles is tricky above all during the monsoon season. The embankments are usually not stabilised and road sections frequently slip owing to continuous rain. This means it is difficult or even dangerous to access the construction site.



6 Panoramaübersicht vom Projektgebiet
Panorama view of the project area

Zu den Naturgefahren kommen menschliches Fehlverhalten der Fahrer und der nur bedingt funktionierende Strassenunterhalt hinzu, welche die Erreichbarkeit der Baustelle empfindlich stören können. So war der National Highway als einzige Verbindungsstrasse innerhalb des Projektperimeters während 5 Wochen für jeglichen motorisierten Verkehr unterbrochen, nachdem die Brücke über eine 30 m hohe Schlucht wegen Überlastung eingeknickt war (Bild 5).

As a result regarding site installation and logistics, it was attempted to arrive at a supply and disposal system for each of the portals that was autonomous as possible. In addition, a sufficiently large stock of material and spare parts must always be available.

4.2 Overview of Site Installations and Organisation

Similar to sites in Europe, it was intended to establish in Bhutan efficient and modern construction site including



7 Europäisch-Indisch-Bhutanische Tunnelbau-Mannschaft: Gutes Zusammenspiel unterschiedlicher Kulturen nicht nur beim Vortrieb, sondern auch während der Barbarafeier
European-Indian-Bhutanese tunnelling team: harmony among different cultures during the St. Barbara celebrations as well as during excavation

Analog gestaltet sich auch die Erreichbarkeit innerhalb des Baustellenperimeters (Bild 6). Die maximale Fahrstrecke zwischen den Portalen beträgt nur 15 km. Je nach Strassen- und Wetterverhältnissen kann die Fahrt aber über eine Stunde dauern oder gar ganz blockiert sein.

Die Befahrung der teilweise unbefestigten Baustellen-Erschliessungsstrassen mit schweren Fahrzeugen gestaltet sich vor allem in der Monsunzeit schwierig. Die Böschungen sind meist nicht stabilisiert und Strassenabschnitte rutschen infolge anhaltenden Regens häufig ab. Das macht ein Durchkommen zur Baustelle oft schwierig oder gefährlich.

Hinsichtlich Baustelleninstallation und -logistik wurde daher auf eine möglichst autonome Ver- und Entsorgung der einzelnen Portale geachtet. Auch muss immer ein genügend grosses Material- und Ersatzteillager vorhanden sein.

4.2 Übersicht Installationen und Organisation der Baustelle

Vergleichbar mit Tunnelbaustellen in Europa soll in Bhutan eine leistungsstarke und moderne Baustelleneinrichtung inklusive Installationen zur Verfügung stehen, die sich nicht am typischen indischen Standard orientieren. Auch die Projektorganisation ist dahingehend ausgelegt, dass Schweizerische Führungs- und Arbeitsgrundsätze durch lokale Gepflogenheiten ergänzt werden sollen.

Die oberste Baustellenführung obliegt europäischem Personal, welche durch einen Stab mit indischen Ingenieuren und lokalem administrativen Personal ergänzt wird. Die Vortriebsarbeiten werden zurzeit durch slowakische Mineure und indische Arbeiter ausgeführt (Bild 7). Mittelfristig werden vorwiegend indische Vortriebsmannschaften zum Einsatz kommen. Der Personalbestand der Baustelle wird bis zu 280 eigene Mitarbeiter betragen. Hinzu kommen eine grosse Anzahl Leih- und Hilfsarbeiter sowie Subunternehmer.

Die geplante Baustelleneinrichtung und die Anzahl Geräte erlaubt, dass die Adits 1 bis 3 als unabhängige Baustellen betrieben werden können. An jedem Adit steht daher ein komplettes Set von Hauptgeräten zur Verfügung: zweiarmiger Bohrwagen, Spritzbetonmobil, Radlader, Tunnelbagger sowie mehrere Dumper und Fahrmischer (Bild 8).

Der Beton-Innenausbau des Triebwasserstollens soll dereinst mit 2 Schalwagen ausgeführt werden.

An allen Portalen der 3 Adits wird jeweils eine Betonanlage betrieben. Hinzu kommt ein Kieswerk beim Adit 2, in welchem Ausbruchmaterial zu Betonzuschlagstoffen aufgearbeitet wird. Die Hauptwerkstätten für Unterhalt und Reparatur der Geräte und Fahrzeuge sowie eine Fabrikationshalle für Anker und Stahlbögen, das Baustellenbüro sowie das Hauptcamp sind oberhalb des Adits 2 angesiedelt. Im Bereich des Adits 3 stehen weitere Unterkünfte zur Verfügung.

installations and not akin to typical Indian standards. The project organisation is thus geared to achieving this aim, with Swiss management and work principles complemented by local practices.

Europeans constitute the top level of site management backed up by a staff of Indian engineers and local administrative personnel. Tunneling operations are currently being undertaken by Slovakian miners and Indian labourers (Fig. 7). In the medium-term, Indian tunneling crews will take over. 280 members of staff are actively involved on the construction site. Furthermore there is a large number of temporary and unskilled workers and sub-contractors.

The planned construction site set-up and the number of machines enables Adits 1 to 3 to be operated as independent sites. As a result a complete set of main equipment is available at each adit: 2-arm drilling rigs, mobile shotcreting units, wheel loaders, tunnel excavators as well as a number of dumpers and mixer trucks (Fig. 8).

The concrete inner lining of the headrace tunnel is to be executed using 2 formwork carriages.

A concrete plant operates at each of the 3 adits. There is also a gravel plant at Adit 2, at which excavated material is turned into concrete aggregates. The main workshops for maintenance and repair of the equipment and vehicles as well as a production hall for anchors and steel arches, the site office as well as the main camp are set up above Adit 2. Further accommodation facilities are to be found around Adit 3.

In order to be able to undertake the required material tests, a well-equipped lab was set up in 2 sea containers. Grading curves can be determined, concrete pressure tests undertaken etc.



8 Behelfsmässige Spritzbetonproduktion bis zur Inbetriebnahme der grossen Betonmischanlage
Provisional production of shotcrete until the large batching plant will be in operation

Um die geforderten Materialprüfungen ausführen zu können, wurde ein gut ausgerüstetes Labor in 2 Seecontainern eingerichtet. Es können Siebkurven ermittelt, Betondruckprüfungen durchgeführt werden etc.

Es ist enorm wichtig, dass sich die Baustelle über einige Tage selbst versorgen kann. Dies bedeutet auch, dass erforderliche Stahlkonstruktionen für die Vortriebsarbeiten, Anker, usw. selbständig auf der Baustelle hergestellt werden können.

4.3 Beschaffung

Sämtliche Geräte, Baustelleninstallation und Baumaterialien müssen importiert werden, da sie in Bhutan meist nicht erhältlich sind. Die Beschaffung erfolgt üblicherweise in Indien. Der Einkauf erfordert daher eine enge Absprache zwischen der Baustelle und dem über 2000 km entfernten MARTI-Büro in Delhi. Geographische Nähe und persönlicher Kontakt zu den indischen Lieferanten ist bei Einkauf und Kontrollen wichtig.

Von der Bestellung der Ware bis zur Anlieferung auf die Baustelle sind in der Regel 2 bis 3 Monate einzuplanen. Um den Service und die Unterhaltsarbeiten für die Hauptgeräte garantieren zu können, steht Servicepersonal der Lieferanten direkt auf der Baustelle einsatzbereit zur Verfügung. Auch wurde auf der Baustelle ein umfangreiches Ersatzteillager eingerichtet.

Erschwerend kommen zahlreiche Unvorhersehbarkeiten beim Transport hinzu, welche ausserhalb der Kontrolle der Baustelle liegen und zu Verzögerungen, Beschädigung oder gar Verlust der Ware führen können. So werden oft die Materialien während des Transports infolge beengter Strassenverhältnisse beschädigt. Oder schwere Geräte werden nicht sachgemäss auf den alten Lastwagen fixiert und verrutschen (Bild 9). Daher ist eine sorgfältige Kontrolle der Verladung beim Lieferanten durch eigenes Personal ebenso unverzichtbar wie die Kontrolle bei Ankunft auf der Baustelle.

Der Import der Ware geschieht über 2 Zollstationen an der Indisch-Bhutanischen Grenze. Um das Einfuhrprozedere der Ware kontrollieren und vor allem beschleunigen zu können (die Zollformalitäten können 2 bis 4 Wochen dauern), betreibt die Baustelle an beiden Grenzstationen Verbindungsbüros. Dazu steht ein eigener gesicherter Lagerplatz zur Verfügung, der auch als Zwischenlager verwendet wird.

Der Lagerplatz auf der Baustelle selbst ist sehr beschränkt. Die Auslieferung der Ware auf die Baustelle muss daher nach dem effektiven Bedarf erfolgen. Dies betrifft nicht nur Zement, Stahl, Kabel, etc. sondern auch Baustelleninstallationen wie Betonanlage, Kieswerk, Transformer oder etwa das Baustellencamp. Daher wird die meiste Ware an der Grenze zwischengelagert und auf Abruf auf die Baustelle angeliefert.

It is tremendously important that the construction site is capable of being self-sufficient for a number of days. This also signifies that steel structures needed for driving operations, anchors, etc. can be produced independently on site.

4.3 Procurement

All equipment, site installations and construction materials have to be imported, as they are usually unavailable in Bhutan. They are normally procured in India. Purchases thus require close consultation between the construction site and the MARTI office in Delhi more than 2,000 km away. Geographical proximity and personal contact to Indian suppliers are essential for purchases and checks.

Two to 3 months have to be calculated in general from ordering the goods until they are delivered to the site. Service staff from the suppliers are at the ready on site to assure servicing and maintenance of the main equipment. An extensive range of spare parts is also stored on site.

Things are made more difficult when unforeseen incidents affecting transport crop up, which are outside of the site's control and which can lead to delays, damage or even loss of the goods. Goods are frequently damaged during transportation for instance on account of constricted road conditions. Or heavy equipment is not properly loaded on to old trucks and thus slips out of place (Fig. 9). As a consequence it is imperative that one's own staff checks loading at the supplier's premises as well as when goods arrive on site.

Goods are imported via 2 customs posts on the Indian-Bhutanese border. The construction site maintains liaison offices at the 2 border posts in order to check the import procedures for the goods and above all to speed the process up (customs formalities can last for 2 to 4 weeks). An own secured storage yard is available for this purpose, which also serves as an intermediate storage facility.

The area for storage on the site itself is extremely restricted. As a result, goods must be allocated on site strictly according



9 Bhutanischer Schwertransport: Anlieferung einer kleinen Betonanlage
Bhutanese heavy transport: delivering a small concrete plant



10 Adit 3: Schüttung der Installationsflächen durch Endlagerung des Ausbruchmaterials direkt vor dem Portal
 Adit 3: shoring up the installation yards through final storage of the excavated material directly in front of the portal

4.4 Materialmanagement

Insgesamt wird im Zuständigkeitsbereich der Firma MARTI rund 462.000 m³ Fels ausgebrochen. Das Ausbruchmaterial wird mittels Lkw vom Vortrieb direkt zur den Endlagerstellen an den jeweiligen Portalen transportiert. In einer ersten Phase wurde das Ausbruchmaterial zur Schüttung der Installationsplätze (Bild 10) an den Portalen und für Teile des Baustellencamps verwendet. Auf diese Weise konnte im stark abfallenden Baustellenperimeter ausreichend ebene Fläche gewonnen werden. Als Schutterfahrzeuge werden TATA-Lkw mit 25 t Gesamtgewicht eingesetzt.

Die zu produzierende und einzubauende Betonmenge beträgt rund 94.000 m³. Die Betonproduktion erfolgt mittels eigener Betonmischanlagen an den Portalen. An den Adits 1 und 3 werden kleine Betonanlagen mit einer Produktionskapazität von 10 m³/h betrieben. Im Hinblick auf den Einbau der Innenschale wird beim Adit 2 eine stationäre und winterfeste Betonanlage mit einer Kapazität von 60 m³/h Beton installiert.

Damit ist gewährleistet, dass die einzelnen Baustellen Adit 1 bis 3 sich jederzeit selbst mit den erforderlichen Betonmengen versorgen können. Nur die Betonzuschlagstoffe müssen jeweils vom Kieswerk bei Adit 2 angeliefert werden.

to requirement. This applies to cement, steel, cables etc. as well as site installations such as the concrete plant, gravel plant, transformers or even the site camp. Consequently most of the goods are temporarily stored at the border and delivered to the site as needed.

4.4 Material Management

All told some 462,000 m³ of rock will be excavated in the described contract lot under the responsibility of MARTI. The excavated material is carried by truck from the tunnel faces to the final dumping sites at the given portal. In an initial phase the excavated material was used for shoring up the installation yards (Fig. 10) at the portals and for parts of the site camp. In this way it was possible to produce a sufficiently level space within the steeply sloping site perimeter. 25-t TATA trucks are employed for mucking purposes.

Around 94,000 m³ of concrete has to be produced and placed. Concrete production is carried out by means of concrete mixing plants at the portals. Small concrete plants with a production capacity of 10 m³/h are operated at Adits 1 and 3. A stationary and winterproof concrete plant with a capacity of 60 m³/h of concrete is installed at Adit 2 for installing the inner lining.

Beim Adit 2 wird ein grosses Kieswerk errichtet, das aus Ausbruchmaterial Betonzuschlagstoffe und Schotter für den Strassenbau produzieren wird. Das Kieswerk mit einer Produktionskapazität von 120 t/h ist auf die Herstellung der Fraktionen 0/4, 4/8, 8/22 und 22/40 ausgelegt. Besonders wichtig ist die Herstellung von Sand. Das für die Sandherstellung (im Projektgebiet gibt es keine natürlichen Sandvorkommen) verwendete Prozesswasser wird über eine Wasserrecycling-Anlage zurückgewonnen.

Zement, Betonchemie und Stahlfasern für die Spritzbetonproduktion werden per Lkw angeliefert und auf den Installationsplätzen gelagert. Speziell zu erwähnen ist, dass die Baustelle ausschliesslich mit Sackzement versorgt wird. Silozement ist in Bhutan nicht erhältlich. Die Zementlogistik gestaltet sich entsprechend personalintensiv: Die Lagerung der Zementsäcke erfolgt in Lagerhallen neben den Betonanlagen. Um die zwei 100-t-Silos an der Betonanlage bei Adit 2 füllen zu können, werden die Zementsäcke von Arbeitern einzeln über einen Aufgabetrichter entleert und der Zement dann mittels Schneckenförderer in die Silos transportiert.

In this way it is assured that the individual sites Adits 1 to 3 can provide themselves with sufficient amounts of concrete at all times. However the concrete aggregates still have to be supplied from the gravel plant at Adit 2 when needed.

A large gravel plant was set up at Adit 2, designed to produce concrete aggregates and crushed rock for road-building. This gravel plant with a production capacity of 120 t/h is geared to producing the fractions 0/4, 4/8, 8/22 and 22/40. Sand production is particularly important. The process water used for producing sand is retrieved via a water recycling plant.

Cement, concrete additives and steel fibres for producing shotcrete are delivered by truck and stored on the installation yards. It is particularly worth mentioning that the site is only supplied with bagged cement. Bulk cement is not available in Bhutan. As a result the cement logistics are labour-intensive: the cement bags are stored in cement godowns next to the concrete plants. In order to be able to fill the two 100-t silos at the Adit 2 concrete plant, the cement bags are emptied one by one via a funnel by labourers and the cement then transported to the silos via screw conveyor.



11 Terrassierungsarbeiten in steilem Gelände: Gewinnung ebener Flächen für Camp und Werkstätten
Terracing works in sloping terrain: reclamation of flat areas for camp and workshop

Die zur Ausbruchsicherung verwendeten Stahlbögen werden teilweise auf der Baustelle, teilweise auf dem Grenzlagerplatz mittels Pressen manuell gebogen. Felsanker in unterschiedlichen Längen werden händisch auf dem Grenzlagerplatz hergestellt. Die Bewehrungsnetze werden in Indien beschafft.

4.5 Unterkunft und Versorgung

Das eigene Personal wird im Hauptcamp oberhalb von Adit 2 untergebracht. Ein weiteres, kleineres Camp für die Arbeiter gibt es beim Adit 3. Der Aufbau der Camps erfolgte im steilen Urwald fernab von jeglicher Infrastruktur. Nach Rodungsarbeiten musste das Gelände zuerst terrassiert und befestigt werden, um genügend ebene Flächen für die Gebäude zu gewinnen (Bild 11).

Sämtliche Gebäude werden von einem indischen Hersteller als Systemhäuser, die auf Grossbaustellen im Himalaja üblicherweise anzutreffen sind, gefertigt und errichtet (Bild 12). Die Zuverlässigkeit und Ausführungsqualität des indischen Gebäudelieferanten und lokaler Subunternehmer ist jedoch durchwegs niedrig. Planungsfehler, andauernde Lieferungsverzögerungen und plötzlich fehlendes Personal auf der Baustelle sind üblich und verzögerten den Baufortschritt

The steel arches used for rock support are bent manually by presses either on site or at the border storage yard. Different lengths of rock anchors are produced by hand at the border storage yard. The reinforcement wire mesh is procured in India.

4.5 Accommodation and Provisions

The contractor's own staff is housed in the main camp above Adit 2. A further, smaller camp for labourers is set up near Adit 3. The camp was established in steep jungle far away from any infrastructure. The terrain first had to be terraced and consolidated to provide enough even space for buildings after clearing the forest (Fig. 11).

All buildings are produced and set up by an Indian manufacturer of system houses, such as are customary on major construction sites in the Himalayas (Fig. 12). However the Indian building supplier as well as local sub-contractors do not exactly win any prizes when it comes to reliability and quality of execution. Planning errors, ongoing delays in delivery and a sudden lack of personnel on site are run-of-the-mill thus delaying construction progress significantly. Consequently it is essential that the work is checked and monitored intensively.



12 Baustellencamp: Die Arbeiterunterkünfte sind im Entstehen
Site camp: accommodation for the workforce being set up



13 Abgelegene Lage erfordert baustelleneigene medizinische Versorgung: Krankenstationscontainer und Ambulanz
A remote location calls for one's own medical service: clinic container and ambulance

signifikant. Eine intensive Kontrolle und Überwachung der Arbeiten ist daher unabdingbar.

Bis zur Fertigstellung des Camps voraussichtlich im April 2013 ist das Personal in angemieteten Unterkünften in der Ortschaft Trongsa untergebracht. Dort befindet sich auch das temporäre Baustellenbüro.

Zur Wasserversorgung der Baustelle und des Camps werden umliegende Bäche gefasst und je nach Verwendung als Prozess- oder Trinkwasser aufbereitet. Dazu wird eine eigene Trinkwasserreinigungsanlage unter Einhaltung europäischer Standards mit einer Kapazität von 5000 l/h betrieben. Die Baustellenabwässer werden in Sedimentations- und Neutralisationstanks gereinigt, bevor sie in den Vorfluter eingeleitet werden. Zur Reinigung des häuslichen Camp-Abwassers wird eine zweistufige Kompakt-Abwasserreinigungsanlage mit einer Kapazität von 40 m³/Tag betrieben.

Die Stromversorgung der Baustelle geschieht über eine neu errichtete 11-kV-Leitung, die den Projektperimeter durchquert und an den Portalen und im Camp zu Transformatoren führt. Die Versorgungsstabilität wird oft durch Überlastungen und mangelhafte Elektroinstallationen beeinträchtigt. Stromunterbrüche sind daher an der Tagesordnung. Aus diesen Gründen werden Dieselgeneratoren zur Notstromversorgung betrieben.

Until the camp is completed, probably at the end of April 2013, staff is housed in rented accommodation in the town of Trongsa, where the temporary site office is also located.

Surrounding streams were tapped to provide water for the site and camp and process water or drinking water prepared according to requirements. Towards this end the site's own drinking water purification plant with a capacity of 5,000 l/h is operated in accordance with European standards. The waste water from the site is purified in sedimentation and neutralisation tanks prior to being discharged to the receiving body. A 2-stage compact sewage treatment plant with a capacity of 40 m³/day is operated for purifying domestic waste water from the camp.

The construction site receives its electricity from a newly set up 11 kV line, which passed through the project perimeter and runs to transformers at the portals and in the camp. The supply's stability is affected by overloading and faulty electric installations. Power cuts are thus commonplace. As a result diesel generators are operated to provide emergency power.

The site office and the camp are connected to the internet via a cable line, which forks off from a local mobile radio antenna near the camp. However supply is not always assured.

Die Anbindung der Baustellenbüros und des Camps an Internet erfolgt über eine Kabelleitung, welche von einer lokalen Mobilfunkantenne nahe des Camps abzweigt wurde. Die Versorgungssicherheit ist jedoch nicht immer gewährleistet. Für die interne Baustellenkommunikation werden ausschliesslich Mobiltelefone verwendet.

Die abgelegene Lage der Baustelle und das Fehlen lokaler Spitäler oder Arztpraxen erfordern zudem eine möglichst autonome medizinische Versorgung der Baustellenmitarbeiter. Daher wird im Camp eine eigene kleine Krankenstation mit eigenem medizinischen Personal (Bereitschaft im Schichtbetrieb) unterhalten (Bild 13). Schwerwiegend erkrankte oder verunfallte Patienten werden gemäss einem festgelegten Prozedere vorerst in der Hauptstadt Thimphu versorgt und dann nötigenfalls nach Indien oder Europa ausgeflogen.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Baustelle Mangdechhu HEP wird auch in den nächsten Jahren noch zahlreiche logistische und bautechnische Herausforderungen sowie interessante Aufgabenstellungen bieten. Mit Fertigstellung der Zugangstollen bis spätestens im Herbst 2013 und Beginn der Ausbrucharbeiten des Triebwasserstollens an 6 Vortrieben wird die Baustelle in eine neue Phase eintreten. Bis zu diesem Zeitpunkt wird auch die Errichtung der Installationen und des Camps abgeschlossen sein. Zur Bewältigung der logistischen Probleme, der Realisierung weiterer Vortriebsarbeiten und der Herausforderungen in der Projektorganisation müssen bis dahin die notwendigen Voraussetzungen geschaffen sein. Die erfolgreiche Erbringung der zukünftig geforderten hohen Leistungen zur Einhaltung des Bauprogramms werden massgeblich davon abhängen, ob die richtigen Baustelleneinrichtungen und Installationen mit ausreichenden Kapazitäten zur Verfügung stehen und diese durch die Baustelle optimal betrieben werden können. Eine eingespielte und vor allem den lokalen Gegebenheiten in Bhutan angepasste und vorausschauende Baustellenlogistik ist ein wichtiger Baustein, um die Baustelle zum Erfolg zu führen.

Mobile phones are used exclusively for internal communication on site.

Furthermore the site's remote location and the lack of local hospitals or medical practices call for the provision of its own medical service. As a consequence the camp possesses its own clinic with staff (available on standby) (Fig. 13). Seriously ill or injured patients are first cared for in the capital Thimphu and then flown out to Delhi or Europe if necessary according to an established procedure.

5 Conclusions and Outlook

The Mangdechhu HEP construction site will continue to offer numerous logistical and engineering challenges as well as interesting tasks in the years ahead. With completion of the access tunnels in autumn 2013 latest and the start of excavation work for the headrace tunnel with 6 drives, the site will enter a new phase. By then the setting up of the installations and the camp will have been completed. To overcome the logistical problems, accomplish the further driving activities and the challenges linked to organising the project, the necessary prerequisites must first be created. Successfully accomplishing the future high performances that are necessary to adhere to the construction programme will largely depend on whether the proper site equipment and installations are available with sufficient capacities and can be operated optimally on site. Established site logistics, which are first and foremost future-oriented and geared to the local conditions in Bhutan, represent an important element in assuring the success of the site.

Literatur/References

- [1] Dorjee Tashi, Ministry of Economic Affairs, Bhutan, Department of Energy: Clean Energy Development in Bhutan, Juli 2011
- [2] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Energie BFE: Wasserkraftpotential der Schweiz; Juni 2012

Johannes Collegger, dipl. Bau-Ing. TU Graz, Amberg Engineering AG, Regensburg-Watt/CH
 Marco Ramoni, Dr. sc. dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Basler & Hofmann AG, Esslingen/CH
 Annette Soll, dipl. Bau-Ing. TU Darmstadt, Amberg Engineering AG, Regensburg-Watt/CH

Follo Line Project, Oslo/N

Drill & Blast versus TBM

Both drill & blast excavation and TBM tunnelling were considered for the construction of the 19.7 km long Follobanen Tunnel, which is part of the new high-speed railway line between Oslo Central Station and Ski. Due to the completely different layouts of the projects, it would be difficult to receive construction permissions for both methods in the foreseen time. Therefore, Jernbaneverket decided to tender only one method. After an extensive comparison of both tunnelling methods, it was decided to tender the TBM solution. The Follobanen Tunnel brought the TBM tunnelling technique back to Norway and will be the first TBM tunnel with an excavation diameter in the 10 m range.

1 Introduction

The 19.7 km long Follobanen Tunnel is the key structure of the Follo Line Project – a new double-track high-speed railway line from Oslo Central Station (Oslo S) to Ski (south of Oslo, Fig. 1). For the construction of the tunnel, both drill & blast excavation and excavation by means of tunnel boring machine (TBM) were considered.

Drill & blast excavation is the usual heading method in Norway. In fact, most of the about 5,000 km of Norwegian tunnels [2] were blasted. On the contrary, TBM excavation has played only a minor role so far. According to [2], less than 200 km of tunnels have been excavated by means of TBMs in Norway, most of them in the 1970s and 1980s. One of the first TBM tunnels was a sewer tunnel in Trondheim with a length of 4.3 km and a boring diameter of 2.3 m, which was bored 1972 to 1974. Further projects followed – mainly in

the hydropower sector, but also in the transportation sector – such as a 6.9 km long road tunnel through Fløyfjellet (Bergen) with a boring diameter of 7.8 m built from 1984 to 1986 [3]. Due to several reasons, such as a lack of projects or confidence in TBM technique, a 20 year-long period of TBM tunnelling in Norway came to a temporary stop at the beginning of the 1990s. One of the last TBMs applied in Norway was used at the Meråker Hydropower Project in 1992 [4]. In 2012, a contract for the TBM tunnelling of a 12 km long tunnel for the Nedre Røssåga Hydroproject, with a boring diameter of 6.7 m, was signed.

The Follobanen Tunnel will be the next Norwegian TBM tunnel. Initially, a drill & blast excavation of the tunnel was envisaged. TBM tunnelling came up during planning as a valuable alternative because of the tunnel length and the opportunity to benefit from competition on the European construction market. This resulted in a direct comparison of the 2 different



1 Overview of Follobanen and Østfoldbanen [1]

Follo Line Projekt, Oslo/N

Sprengvortrieb im Vergleich zum TBM-Einsatz

Für den Bau des neuen 19,7 km langen Follobanen-Tunnels im Zuge der neuen Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen dem Osloer Hauptbahnhof und Ski wurde sowohl ein sprengtechnischer als auch ein Vortrieb mittels Tunnelbohrmaschinen (TBM) in Betracht gezogen. Aufgrund der völlig unterschiedlichen Konzepte erschien die rechtzeitige Erteilung einer Baugenehmigung für beide Verfahren schwierig. Daher entschied sich Jernbaneverket dafür, nur ein Verfahren auszuschreiben. Nach einem gründlichen Vergleich beider Verfahren fiel die Entscheidung zugunsten der TBM-Lösung. Damit kehrt die TBM-Technik nach vielen Jahren wieder nach Norwegen zurück. Zudem handelt es sich um das erste norwegische TBM-Projekt mit einem Durchmesser im 10-m-Bereich.

Projet de la nouvelle ligne de Follo, Oslo/N

Dynamitage ou excavation au tunnelier

Pour la construction du nouveau tunnel «Follobanen» long de 19,7 km, dans le cadre du nouveau tronçon à grande vitesse entre la gare centrale d'Oslo et Ski, on avait envisagé soit une excavation à l'explosif soit le recours à des tunneliers. Compte tenu des énormes différences entre les deux projets, il a paru irréaliste d'obtenir un permis de construire pour les deux procédés. C'est la raison pour laquelle Jernbaneverket a décidé de n'en mettre qu'un seul en soumission. Après une comparaison approfondie des deux méthodes, on a opté en faveur des tunneliers. La technique du tunnelier est donc de retour en Norvège. Il s'agit en l'occurrence du premier projet norvégien d'avancement au tunnelier avec un diamètre d'environ 10 m.

Follo Line Project, Oslo/N

Avanzamento con esplosivo o impiego di TBM

Per la costruzione della nuova galleria Follobanen lunga 19,7 km della nuova linea ad alta velocità che collegherà la stazione centrale di Oslo e Ski sono stati presi in considerazione sia l'avanzamento con esplosivo sia lo scavo con frese a sezione piena (TBM). Viste le grandi differenze esistenti tra i due progetti sembrava però poco realistico ottenere in tempo il permesso di costruzione per entrambe le tecniche. Per questo motivo Jernbaneverket ha deciso di appaltare un solo metodo di scavo. Dopo un confronto approfondito dei due metodi la decisione è stata presa a favore della soluzione TBM, riportando quindi questa tecnologia in Norvegia. In più, si tratterà del primo progetto norvegese di una galleria scavata con TBM che presenta un diametro intorno ai 10 m.

tunnelling methods, which – after a short project overview (Chapter 2) and a short description of the alternatives "TBM" and "drill & blast" (Chapter 3) – is presented in this article (Chapter 4).

2 Project Overview

2.1 General

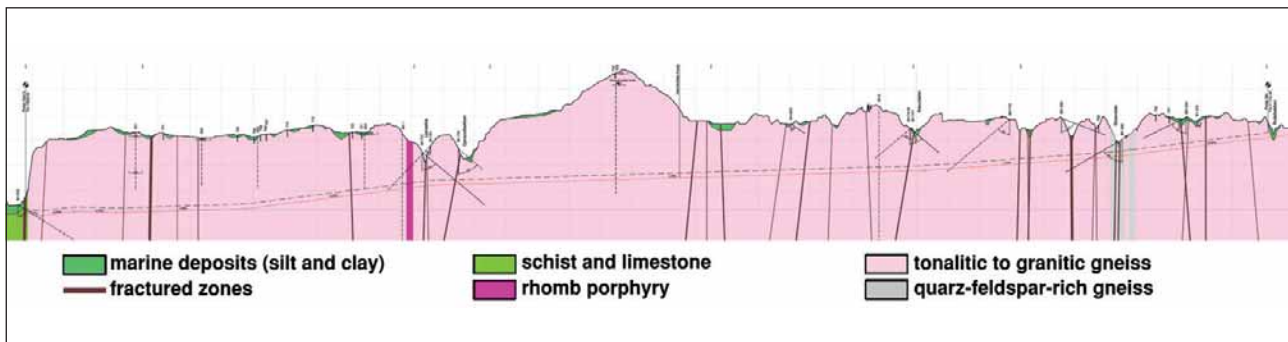
The Follo Line, which is scheduled to be ready for testing in 2019, will be built in addition to the existing double-track line Østfoldbanen (Fig. 1) to meet the increased demand for rail capacity south of Oslo (by 2025, a population growth of 30 % is expected in the Greater Oslo area [1]).

The Follobanen Tunnel starts close to Oslo S with a cut-and-cover section and ends in a cut-and-cover section at Ski portal. The gradient is 3.0 to 12.5 ‰. The tunnel will be used for both passenger and freight trains. The design speed is 250 km/h. For safety and maintenance reasons, the tunnel consists of 2 single-track tubes. The distance between the tube axes is approximately 35 m. Cross-passages will be built approximately every 420 m.

2.2 Geological Conditions

The Follobanen Tunnel is entirely situated in rock. The rock in the project area predominantly consists of Precambrian gneisses, which can be divided into 3 main groups: tonalitic to granitic gneiss, quartz-feldspar-rich gneiss and biotitic augen gneiss. A significant number of intrusives from the Permian period as well as amphibolite dykes/sills occur, the latter being more prevalent in the project area. Most of the dykes/sills are a few metres thick, while only a few of them are thicker than 10 m. A 100 m section in a Rhomb porphyry intrusion is also expected. Sedimentary schistose rocks occur only in a very short part at Oslo portal (Fig. 2). The maximum overburden amounts to approximately 170 m.

In general terms, the rock conditions expected for the Follobanen Tunnel can be considered as competent with generally little fracturing and good stability. Based upon the interpretation of the results of the geological investigations, the main part of the tunnel is expected to be in a moderately jointed rock mass with medium joint spacing of 0.3 to 1 m. However, some areas with highly fractured rock mass are also expected along the tunnel alignment [6].



2 Geotechnical longitudinal profile [5]

2.3 Hydrogeology

The maximum groundwater level is close to the surface, which means about 160 m above tunnel level. The hard rock formations in Norway have a very low porosity except for some sandstone formations. Hence, the groundwater flow in the rock mass is mostly restricted to fissures and fractured zones. The hydraulic conductivity, which depends on the fracture pattern and the degree of fracturing, is generally low. This does not apply for the sills – which present a higher joint density and, therefore, are usually encountered with water ingress – and the dykes, which often act as "drainage channels". Inspections of tunnels running from East to West near Oslo showed that most of the dykes were moderately to heavily fractured and water bearing.

Almost the entire area above the tunnel alignment is connected to the public water supply system. In general, most rivers, streams and lakes are sensitive to drainage and pollution.

Although there are no stretches where the tunnel has to be excavated in soil, the presence of soil deposits in the project area is all the same relevant due to the sensitivity of the soils (silt and clay) with respect to surface settlements. The latter could be caused by drainage of groundwater with resulting loss of pore water pressure in the soil deposits. In order to avoid settlements which lead to potential damages to buildings and infrastructure as well as loss of valuable humidity-dependent vegetation, strict leakage limits have been defined for the tunnel.

3 Construction Technique

3.1 Tunnel Boring Machine

For the excavation of the Follobanen Tunnel by means of TBMs, the use of 4 shielded TBMs is planned. The main rig area is situated in the middle of the tunnel near Åsland (Fig. 3, left). The 4 TBMs are assembled in underground caverns. Two of the TBMs drive towards Oslo S into a dismantling cavern, while the other 2 drive towards Ski and run out into the open pit. The total length of the TBM drives is approximately 2 x 18.7 km. The access tunnels and the starting caverns at Åsland as well as the tunnel section between the portal near Oslo S and the dismantling caverns are excavated by means of drill & blast.

In this project phase, the boring diameter is 9.8 m with an excavated area of 76 m². The net free area is approximately 52 m². The TBM tunnel has a single-shell lining consisting of a 40 cm thick watertight segmental lining (Fig. 3, right).

For the TBM headings, the following geotechnical hazards are relevant:

1. The geotechnical hazards related to the presence of joints in the rock mass and to the highly fractured zones: rock fall, unstable wedges or loosening. No major problems are to be expected given adequate design of the TBMs and the segmental lining.
2. The geotechnical hazard related to the competent rock mass with high strength and abrasiveness of the rock mass, which may lead, e.g., to low penetration rates and major cutter wear. State of the art cutterhead design and cutters will counteract these hazards.
3. The occurrence of inadmissible surface settlements due to drainage caused by water ingress into the tunnel. Besides the application of a watertight segmental lining with gaskets, pre-grouting is planned as a countermeasure in zones where a high water inflow and/or high water pressure is expected as well as in the cross-passages.

3.2 Drill & Blast

For the drill & blast excavation of the entire tunnel (2 x 19.7 km), 8 intermediate points of attack are planned, each of them requiring its own rig area (Fig. 4, left).

The tunnel lining consists of a double-shell with an inner diameter of 7.9 m. The temporary tunnel support is done with bolting and shotcrete with variable bolt pattern and thickness of the shotcrete layer depending on the quality of the surrounding rock mass. The inner lining consists of an in-situ cast concrete shell (Fig. 4, right). The waterproofing of the tunnel is designed as drained solution. A sealing membrane between the temporary tunnel support and the inner lining with drainage pipes guarantees a dry tunnel.

In order to limit the water ingress both during construction and in the operation phase, systematic pre-grouting is executed over the whole tunnel length during drill & blast excavation. The quantity of pre-grouting depends on the rock quality and water ingress.



3 TBM alternative: location of the intermediate points of attack (for the TBM drives: Åsland) [1] on the left and standard cross-section [7] on the right



4 Drill & blast alternative: location of the intermediate points of attack [1] on the left and standard cross-section [8] on the right

4 Comparison

4.1 General

The 2 alternatives "TBM" and "drill & blast" were compared with respect to the following main criteria [6]:

- construction schedule (Chapter 4.2),
- construction costs (Chapter 4.3),
- environmental impact (Chapter 4.4),
- health and safety (Chapter 4.5) as well as
- RAMS (Reliability, Availability, Maintenance and Safety) and Life-Cycle Costs (Chapter 4.6).

It is worth mentioning that a proper comparison – particularly with respect to the criteria "construction schedule" and "construction costs" – only became possible after the planning teams for the TBM and for the drill & blast solution detailed both alternatives.

4.2 Construction Schedule

The construction schedules developed for the comparison considered only the structural works. All further activities (installation of the railway equipment and testing for operation) were not considered.

The construction works for the TBM alternative start with the installation of the rig area in Åsland and the excavation of

the access tunnels by means of drill & blast (the access tunnels are later used for traffic access, ventilation, muck evacuation and TBM supply during the construction phase). The assembly caverns are excavated successively. Each TBM has its own assembly cavern, which allows more or less simultaneous TBM assembly. For the first 500 m of each TBM drive, only half of the assumed advance rate (target: 15 m/wd) was taken into account to simulate the learning curve. The excavation of the tunnel section close to Oslo, which is carried out by means of drill & blast, is tackled at the same time as the TBM excavation and does not affect the overall construction time. It was also assumed that, due to logistical reasons, the construction of the walkways would start only after the TBM excavation is finished. The overall construction period estimated at that time was approximately 5 years.

As already mentioned, the tunnel construction works for the drill & blast alternative were assumed to start from 8 different intermediate adits distributed along the tunnel alignment. The excavation is executed in parallel with 4 headings from each point of attack (2 in each direction). To take into account any interferences that may occur with a fourfold drill & blast excavation, a reserve of 1 month (delay) has been placed on the 2 less time-critical headings (additional reserves for taking into account the possibility of interference and delay due to the complexity of the work organi-

sation with 32 parallel headings were not introduced). The inner lining works are accomplished separately in every section when the excavation is finished. Concreting of the walkways is started when the inner lining is finished and is also tackled separately in every section. The total estimated construction time for the structural works is approximately 4 years, assuming advance rates varying from 2.5 up to 4.3 m/wd depending on the expected amount of pre-grouting, ground conditions and existing structures.

An initial comparison of the cited construction times provides a clear picture: the construction time of the TBM alternative is approximately 25 to 30 % longer. However, as the comparison was undertaken in an early project phase, it has to be mentioned here that, at that time, potential for optimisation existed for both alternatives. But optimisation always raises the level of complexity and the liability to interferences and, therefore, the risk of delay. Comparing the risks related to the timetable, it can be stated that the TBM alternative is less sensitive, as the degree of industrialisation is higher.

4.3 Construction Costs

The cost estimation was only carried out for the substructure and included excavation and full lining of the main tunnels and the cross-passages, drainage and fire water supply, cable ducts and channels, tunnel base ready for tracks and side-walks. Costs for miscellaneous taxes, access roads and exits from main roads were not included.

The cost estimation for the TBM alternative was performed in 3 steps: calculation of the installation costs, of wages and consumables and of the material costs (Fig. 5). For the installation costs a list of all necessary installations was compiled. Furthermore, their monthly repair costs were determined. The wages were calculated by estimation of the required number of workers considering the corresponding process periods. The consumables were calculated in the same way. The material costs were determined based on unit prices per metre of each profile type multiplied by the length of occurrence of the corresponding profile.

The construction costs for the drill & blast alternative were estimated based upon quantities and unit prices gained as an average from drill & blast projects under construction or being completed in Norway including wages, consumables and material costs. The cost for preliminaries and operation of the contractor were considered with the addition of a given percentage of the total variable costs.

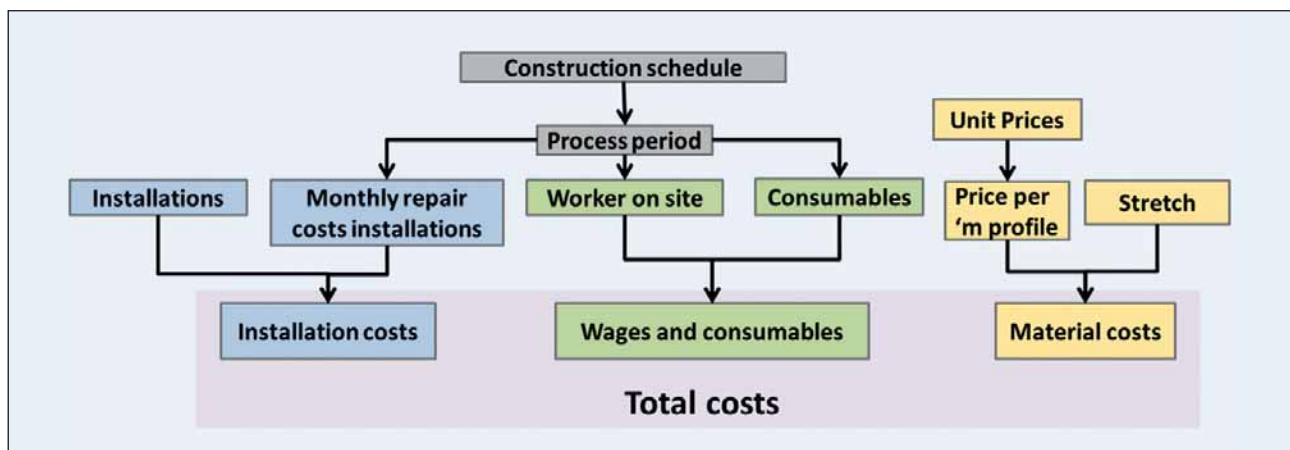
The comparison of the estimated total construction costs showed that the costs for the TBM alternative were approximately 6 % higher. In this respect, it also has to be mentioned that the cost estimation in this project phase was +/-20 % accurate.

4.4 Environmental Impact

The aim of the comparison was to find out which alternative has the smaller impact on the environment and the population.

Noise and vibrations are 2 of the major impacts on the environment (residents and nature). During TBM tunnelling, the main concern is the construction noise (structure-borne noise) resulting from the rotation of the cutterhead, while the vibrations are in general negligible. During drill & blast excavation, the main source of noise is the drilling of holes for pre-grouting and blasting (structure-borne noise), and the major source of vibration is also the blasting of each round. For both methods, the noises caused by the construction works is governed by regulations – as e.g. limited working hours for excavation – so that residents are not disturbed in an inadmissible way. For drill & blast, each blast round is designed in such a way that there is no danger of damaging structures through vibrations. This could be accomplished e.g. by dividing each round into several blasts. With respect to noise and vibrations, the 2 alternatives were found to be more or less equivalent.

Another important impact on the environment is the traffic created by muck transportation and material logistics. A comparison of the total mileages between the alternatives showed that the muck transport mileage from the rig areas to the assumed final dump in Vinterbro is 11 % lower for the TBM alternative. In addition, the transport mileage on local



5 Concept of the cost estimation for the TBM alternative [9]

roads was also calculated, as the major impacts on residents are generated along these roads. Compared to the drill & blast alternative, the TBM solution has 82 % less mileage. This is because the TBM main rig area in Åsland is next to the highway E6 (no mileage on local roads), while the drill & blast method entails 8 small rig areas with limited access through local roads.

The third environmental impact is the so-called environmental footprint, which also comprises the environmental impact for the production of the machines and installations used as well as the construction materials. The double-shell lining of the drill & blast method has no reinforcement, while the segments for the TBM method do have reinforcement. This results in an advantage in the environmental footprint for the drill & blast method.

4.5 Health and Safety

The comparison of the aspect "health and safety" for the 2 construction methods considered the dust and air quality, the noise level at the working place, the shift work conditions and the risk of accidents. The differences between the 2 construction methods were evaluated to be quite small. Excavation by TBM was considered to be slightly better.

4.6 RAMS and Life-Cycle Costs

With respect to RAMS, the 2 excavation methods were considered to be equivalent. With both excavation methods, the technical requirements for the tunnel structure can be fulfilled. Therefore, differences in reliability or availability were not expected. Furthermore, in both cases, low-maintenance solutions for the tunnel structure are implemented, and the same rescue system is used. Finally, because of the similarity in all the structural parts of the tunnel, a substantial difference in life-cycle costs was not expected.

4.7 Results of the Comparison

Norway is planning to modernise its infrastructure, which means many upcoming projects in the years ahead. Therefore, Jernbaneverket (the client) added some assessment criteria like "development of the Norwegian tunnelling industry" and "innovation for the Norwegian market".

The result of the comparison is briefly outlined below, pointing out the more favourable excavation method for each comparison criteria:

- Construction schedule: drill & blast
- Construction costs: drill & blast
- Environmental impact: TBM
- Health and safety: TBM
- RAMS and life-cycle costs: equal
- Development of Norwegian tunnelling industry: TBM
- Innovation for Norwegian market: TBM

In addition to the cited comparison, a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analysis was carried out for both alternatives [10]. One of the main conclusions

was that the TBM alternative has more potential for financial benefits according to the current European construction market situation. Furthermore, the innovation potential for the Norwegian tunnelling industry is higher.

5 Closing Remarks

In general, both alternatives (TBM and drill & blast) are feasible and valuable. With both alternatives, technically adequate infrastructure can be created. It is obvious that both methods have their advantages and disadvantages, and the final evaluation depends strongly on the weighting of the comparison criteria. In the case of the Follobanen Tunnel, the advantages of the TBM solution with respect to the environmental impact, health and safety, development and innovation for Norway as well as the potential commercial benefits carried more weight.

After considering the pros and cons of each alternative, Jernbaneverket concluded that the TBM method was environmentally, technically and commercially favourable for the Follobanen Tunnel and decided to tender the TBM solution.

References

- [1] Jernbaneverket: The Follo Line Project. International Presentation Conference (2012), Oslo
- [2] Holen, H.: TBM vs. drill & blast tunnelling. Norwegian TBM tunnelling, Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 11 (2002), 95–98
- [3] Hansen, A. M.: The history of TBM tunnelling in Norway. Norwegian TBM tunnelling, Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 11 (2002), 11–19
- [4] Dammyr, Ø. B.: The use of TBM in future Norwegian infrastructure projects. PhD project, preliminary description (2011)
- [5] Detailed Masterplan, N092/001: Geotechnical longitudinal section (26.09.2011)
- [6] Detailed Masterplan, UFB-30-A-31003 Comparison of excavation methods, Rev. 00B (19.03.2012)
- [7] Detailed Masterplan, UFB-30-X-31112 Standard cross-section TBM, Rev. 01B (21.09.2012)
- [8] Detailed Masterplan, UFB-30-X-30251 Standard cross-section drill & blast, Rev. 01B (01.09.2012)
- [9] Detailed Masterplan, UFB-30-A-32621 Cost estimation TBM 4+0, Rev. 00B (16.08.2012)
- [10] Detailed Masterplan, UFB-30-A-31004 SWOT analysis excavation methods, Rev. 00B (15.02.2012)

*Daniel Collomb, Ingénieur Civil EPFL/SIA, BG Ingénieurs Conseils, Directeur Maîtrise d'Oeuvre Intégrée
Cyril Debie, Ingénieur Géotechnicien Polytech, BG Ingénieurs Conseils, Ingénieur suivi de Travaux Tunnel
Alain Lacroix, Ingénieur Civil ENPC, SPIE Batignolles TPCI, Directeur de Projet
Philippe Patret, Ingénieur Civil ESTP, Vinci Construction Grands Projet, Directeur Technique Tunnel pour donner suite*

Tunnel de Saverne

LGV Est-Européenne deuxième Phase

Le tunnel de Saverne est en cours de réalisation. Les travaux sont bien avancés puisque le premier tube a été percé le 19 juin 2012 et qu'à fin 2012, le deuxième tube est excavé sur un peu plus de la moitié de sa longueur. Les caractéristiques principales du projet sont présentées dans une première partie de l'article, le bilan des travaux réalisés à fin 2012 et les conclusions provisoires qui peuvent en être tirées étant exposés en deuxième partie.

The Saverne Tunnel

HSL – East European Second Phase

The Saverne tunnel is currently under construction. The works have advanced well since the first tube was broken through on June 19, 2012 and that at the end of 2012, the second tube was excavated over a little more than half its length. The main characteristics of the project are described in the first part of the article, and the results of the works carried out at the end of 2012 and the preliminary conclusions are presented in the second part.

1 Introduction

La Ligne à Grande Vitesse (LGV) Est-Européenne est une ligne uniquement voyageurs qui reliera en 2016 Paris à Strasbourg en 1h50, contre 2h20 aujourd'hui, après que les 106 km restant à construire auront été achevés.

Le tronçon concerné entre Baudrecourt en Lorraine et Strasbourg en Alsace correspond à la deuxième et dernière phase de réalisation de cette LGV, le tronçon entre Paris et Baudrecourt étant en service depuis 2007.

Réseau Ferré de France (RFF), Maître d'Ouvrage de l'opération, a divisé les travaux de cette dernière phase en 10 lots. Le lot 47 concerne une section de double voie de 7,5 km environ et comprend notamment le tunnel de Saverne, un viaduc de 270 m de longueur (viaduc d'Haspelbeachel), 2 ponts route, 1 pont rail et 1 remblai de grand hauteur (35 m, env. 450 000 m³).

Le marché de travaux pour ce lot a été dévolu en Conception-Réalisation (« entreprise totale ») pour l'entier des études et travaux de génie civil et d'équipement, hors équipements ferroviaires.

Le tunnel de Saverne est l'unique tunnel de cette LGV. D'une longueur de 4 km environ et dimensionné pour une vitesse

1 Introduction

The East European High Speed Line (HSL) is a passenger line that will link Paris to Strasbourg by 2016 in 1 hr 50 min, as opposed to 2 hr 20 min today, once the remaining 106 km have been completed.

The section between Baudrecourt in Lorraine and Strasbourg in Alsace is the second and final phase of the HSL construction, as the section between Paris and Baudrecourt has been in service since 2007.

The Project Owner, Réseau Ferré de France (RFF), has divided the works of this last phase into 10 lots. Lot 47 involves a 7.5 km double track section and includes the Saverne tunnel, a 270 m long viaduct (Haspelbeachel viaduct), 2 road bridges, 1 railway bridge and 1 high embankment (35 m, approx. 450,000 m³).

This lot is packaged as a Design-Build contract ("Total Contractor") for the entire design and civil engineering works and equipment, with the exception of the railway equipment.

The Saverne tunnel is the only tunnel on this HSL. With a length of approx. 4 km and designed for a commercial speed of 320 km/h, its construction started in 2011 and should be

Saverne-Tunnel

Hochgeschwindigkeitstrasse LGV Est-Européenne – 2. Ausbaustufe

Der Saverne-Tunnel befindet sich im Bau. Nach dem Durchstich der ersten Tunnelröhre am 19. Juni 2012 und der Fertigstellung der ersten Hälfte der zweiten Röhre Ende 2012 sind die Arbeiten bereits weit fortgeschritten. Die wichtigsten Daten des Projekts werden im ersten Teil des Beitrags beschrieben; der zweite Teil beschreibt den Stand der Arbeiten bis Ende 2012 und die Schlüsse, die daraus gezogen werden können.

Il tunnel di Saverne

Tratta ad alta velocità LGV Est-Européenne – 2a fase di costruzione

Il tunnel di Saverne è in costruzione. Dopo il traforo della prima galleria il 19 giugno 2012, e dopo aver portato a termine la prima metà del secondo tunnel alla fine del 2012, i lavori sono già a un livello avanzato. I dati più importanti del progetto vengono descritti nella prima parte del trattato; la seconda parte illustra l'avanzamento dei lavori fino alla fine del 2012 e le conclusioni che se ne possono trarre.

commerciale de 320 km/h, sa réalisation a débuté en 2011 et devrait s'achever fin 2013, pour ce qui concerne le génie civil, et première trimestre 2014 pour les équipements d'exploitation et de sécurité. Suivront ensuite la réalisation des équipements ferroviaires et les essais avant mise en service, ces dernières prestations étant hors marché du lot 47.

2 Aperçu général du projet

2.1 Planification générale

Les principaux jalons et échéances du projet sont résumés ci-après :

- Signature du contrat pour les études et la réalisation des travaux du lot 47: août 2010
- Ordre de Service et commande du tunnelier: 1. octobre 2010
- Début des travaux préparatoires: février 2011
- Validation du dossier projet définitif des études génie civil: mars 2011
- Validation du dossier projet définitif des études d'équipements: juin 2011
- Arrivée du tunnelier sur site: juillet 2011
- Début du creusement du première tube: novembre 2011
- Percement du première tube: juin 2012
- Début du creusement du deuxième tube: octobre 2012
- Fin des travaux tunnels: décembre 2013
- Début de l'installation des équipements: octobre 2012
- Fin des équipements (non ferroviaires): décembre 2014
- Mise en service de la ligne: mars 2016

2.2 Caractéristiques principales

2.2.1 Design général du tunnel

Le tunnel de Saverne est un bitube d'un peu plus de 4 km, dont 3860 m sont forés au tunnelier et 158 m sont réalisés à ciel ouvert (2 faux tunnels bitubes de 45 m et 113 m de longueur respectivement pour les portails Loraine et Alsace). Son tracé est ascendant vers l'Ouest selon une pente moyenne de 22 ‰ pour franchir la dénivellation de 80 m environ entre la plaine d'Alsace et le plateau vosgien.

completed at the end of 2013 for the civil engineering works, and the first quarter of 2014 for the operating and safety equipment. The installation of the railway equipment and testing before commissioning will follow, but these services are not part of the lot 47 contract.

2 Broad view of the project

2.1 Overall planning

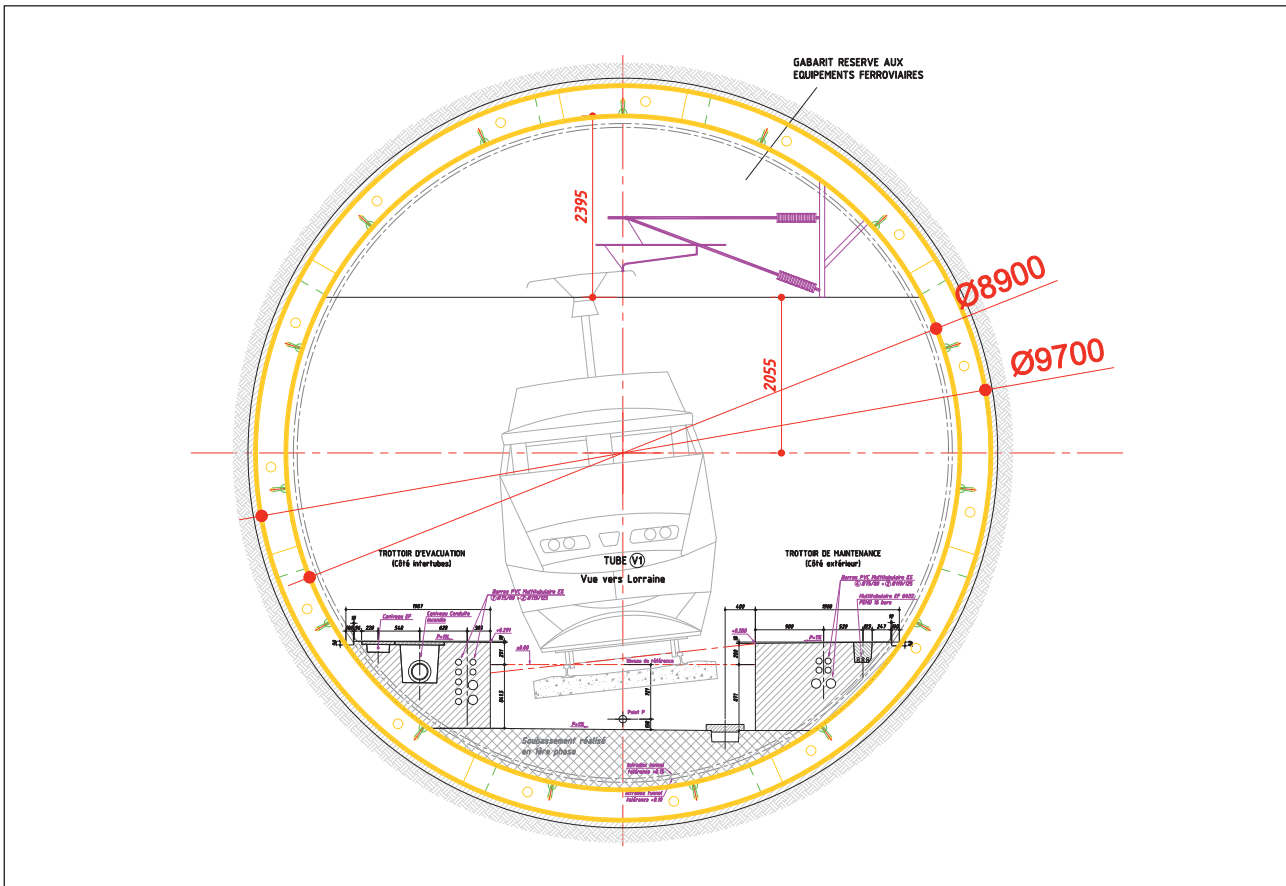
The key milestones and project deadlines are summarised below:

- Signing of the contract for the design and execution of the works for Lot 47: August 2010
- Notice to proceed and order for the tunnel boring machine: October 1, 2010
- Start of preparatory works: February 2011
- Validation of the detailed design of the civil engineering: March 2011
- Validation of the detailed design of the equipment: June 2011
- Arrival of tunnel boring machine on site: July 2011
- Start of drilling of the first tube: November 2011
- Breakthrough of the first tube: June 2012
- Start of drilling of the second tube: October 2012
- End of tunnel works: December 2013
- Start of equipment installation: October 2012
- End of equipment installation (excl. railway): December 2014
- Commissioning of the line: March 2016

2.2 Main characteristics

2.2.1 General design of the tunnel

The Saverne tunnel is a twin-tube just over 4 km long, of which 3,860 m are drilled by the tunnel boring machine and 158 m carried out as cut and cover (2 false twin-tube tunnels, 45 m and 113 m long respectively, for the Loraine and Alsace tunnel entrances). Its route climbs to the west with an average slope of 22 ‰ to pass through the change in elevation of 80 m between the Alsace plain and the Vosges plateau.



1 Coupe type d'un tube du tunnel en section courante
Typical section of the tunnel tube for a standard section

Le diamètre intrados des voussoirs est de 8,9 m, dimension qui permet de dégager la section d'air requise de 52 m² pour respecter les prescriptions en vigueur de sécurité et de confort tympanique pour la vitesse commerciale de 320 km/h (Figure 1).

Equipés de 2 trottoirs, l'un dédié à l'évacuation des voyageurs en cas de sinistre, l'autre dédié à la maintenance, les 2 tubes ferroviaires sont reliés par des rameaux tous les 500 m environ.

2.2.2 Equipements d'exploitation et de sécurité

Dimensionné pour répondre aux Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) « sécurité incendie dans les tunnels ferroviaires » (version 2007) ainsi qu'à l'Instruction Technique Interministérielle ITI 98-300, le projet comporte les équipements particuliers suivants.

- Réseau de lutte contre l'incendie (conduite incendie dans chaque tube, réservoir et suppresseur non loin de la tête Lorraine, bassin de récolte des eaux en tête Alsace)
- Equipements Haute Tension (cellules HT et transformateurs; aux 2 têtes et dans les rameaux intertubes pairs du tunnel)
- Equipements Basse Tension (TGBT, coffrets de servitude, onduleurs; aux 2 têtes et dans les rameaux intertubes pairs du tunnel)

The internal diameter of the concrete segments is 8.9 m. It provides a 52 m² section which complies with the applicable safety regulations and tympanic comfort for the commercial speed of 320 km/h (Fig. 1).

The 2 railway tubes are connected by interconnecting tunnels every 500 m, and each tube is provided with a pathway – one acting as an emergency passenger exit and the other dedicated for maintenance use.

2.2.2 Operating and safety equipment

The project includes the following specific equipment designed to meet the Technical Specifications for Interoperability (TSI) "Fire Safety in Railway Tunnels" (version 2007) and the Instruction Technique Interministérielle ITI 98-300.

- Fire protection system (fire pipe in each tube, tank and suppressor near the Lorraine tunnel head, water collection tank water at the head of the Alsace tunnel)
- High Voltage equipment (HV cells and transformers; at both ends of the tunnels and in the interconnecting tunnels)
- Low Voltage equipment (low voltage distribution boards, servo modules, inverters; at both ends of the tunnels and in the even numbered interconnecting tunnels)
- Emergency lighting and markings; spread out over the length of the tunnel

- Eclairage de sécurité et de balisage; réparti sur la longueur du tunnel
- Généphones; répartis sur la longueur du tunnel
- Prises Pompiers; réparties sur la longueur du tunnel
- Surpression des rameaux intertubes (ventilation)
- Détection incendie des locaux techniques; aux 2 têtes et dans les rameaux intertubes pairs du tunnel
- Gestion Technique Centralisée (GTC)
- Radiocommunications; aux 2 têtes et dans les rameaux intertubes impairs du tunnel.

2.3 Contexte géologique

2.3.1 Géologie générale

Parcouru dans le sens de l'excavation du tunnel, c'est-à-dire de l'Est vers l'Ouest, la géologie du projet peut être résumée comme suit :

- Un ensemble très hétérogène de marnes et calcaires du Muschelkalk (argile sableuse, marne silteuse, cailloutis calcaires), sur une cinquantaine de mètres environ. Ce tronçon comprend la faille d'Alsace et les failles secondaires qui lui sont associé
- Un ensemble plutôt homogène de grès (le Grès Vosgien) sur la plus grande partie du tracé, avec cependant des failles subverticales et par places des niveaux de grès altéré et peu cimenté, notamment sous le vallon de Langthal (lentilles sableuses décimétriques à décimétriques)
- Une formation conglomératique à matrice gréseuse (poudingue de Saint-Odile)
- Une autre formation de grès (les grès dits intermédiaires du plateau vosgien)

Quand bien même la nappe phréatique des Grès Vosgiens est située plus bas que le tunnel, le projet est concerné au plan hydrogéologique par des venues d'eau à travers des failles ainsi que par le risque de nappes perchées dans des lentilles sableuses (Figure 2).

2.3.2 Faille des Vosges

La faille des Vosges marque la limite ouest du fossé rhénan effondré par rapport au massif des Vosges. Il lui est associé une succession de failles qui affectent l'entier du tronçon de calcaires/dolomies et marnes argileuses d'âge Muschelkalk de la zone du portail Est du tunnel. Les figures 3 et 4 donnent un aperçu de la complexité structurale et géotechnique de cette zone.

Les caractéristiques géotechniques tirées des sondages et essais réalisés pour cette zone en phase préliminaire du projet montraient une très grande variabilité, variabilité qui a largement été confirmée par les travaux.

2.4 Choix du tunnelier

Les résultats des reconnaissances de terrain réalisées au stade des études préliminaires ont conduits à considérer les conditions pour partie antagonistes suivantes pour le choix du tunnelier:

- Emergency telephones; spread out over the length of the tunnel
- Fire hydrants; spread out over the length of the tunnel
- Positive air pressure in the interconnecting tunnels (ventilation)
- Fire detection systems in the technical rooms; at both ends of the tunnels and in the even numbered interconnecting tunnels
- Centralised Technical Management (CTM)
- Radio communications; at both ends of the tunnels and in the uneven numbered interconnecting tunnels

2.3 Geological context

2.3.1 General geology

In the direction of the tunnel excavation, i.e. from east to west, the geology of the project can be summarised as follows:

- A very heterogeneous grouping of marls and limestone belonging to the shell limestone (sandy clay, silty marl, limestone gravel), over approx. 50 m. This section includes the Alsace fault line and the secondary fault lines associated with it
- A rather homogeneous sandstone (Vosges Sandstone) over most of the route, albeit with sub vertical faults and in some places layers of hardly indurated altered sandstone, particularly in the Langthal valley (decimetric to decametric sand lenses)
- A conglomeratic formation of sandstone matrix (Saint-Odile pudding stone)
- Another sandstone formation (intermediate sandstones of the Vosges plateau)

Even if the water table of the Vosges Sandstone is located below the tunnel, the project is at risk hydro geologically from water inflow through faults as well as the risk of groundwater located in the sand lenses (Fig. 2).

2.3.2 Vosges fault line

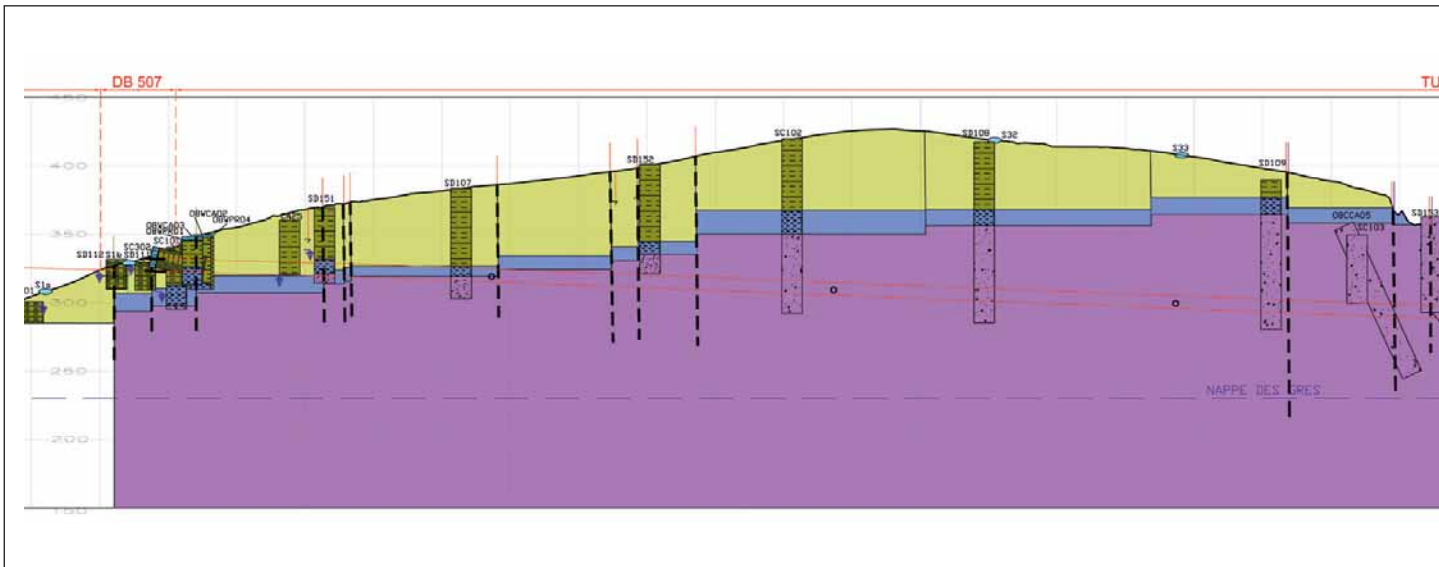
The Vosges fault line marks the western boundary of the collapse of the Rhine Graben with respect to the Vosges massif. A series of fault lines are associated with it that affect the entire section of limestone/dolomites and clayey marls of the shell limestone age in the area of the East tunnel entrance. Figures 3 and 4 provide an overview of the geotechnical and structural complexity of the area.

Geotechnical characteristics drawn from the surveys and tests carried out in this area during the preliminary phase of the project have shown great variability, which has been largely confirmed by the works.

2.4 Choice of tunnel boring machine

The results of the field surveys conducted during the preliminary study phase has made it necessary to take into consideration the conditions of difficult sections in the choice of the tunnel boring machine:

- the need for the closed mode with backpressure to cross the shell limestone section in the East (including the



2 Coupe géologique générale
General geological section

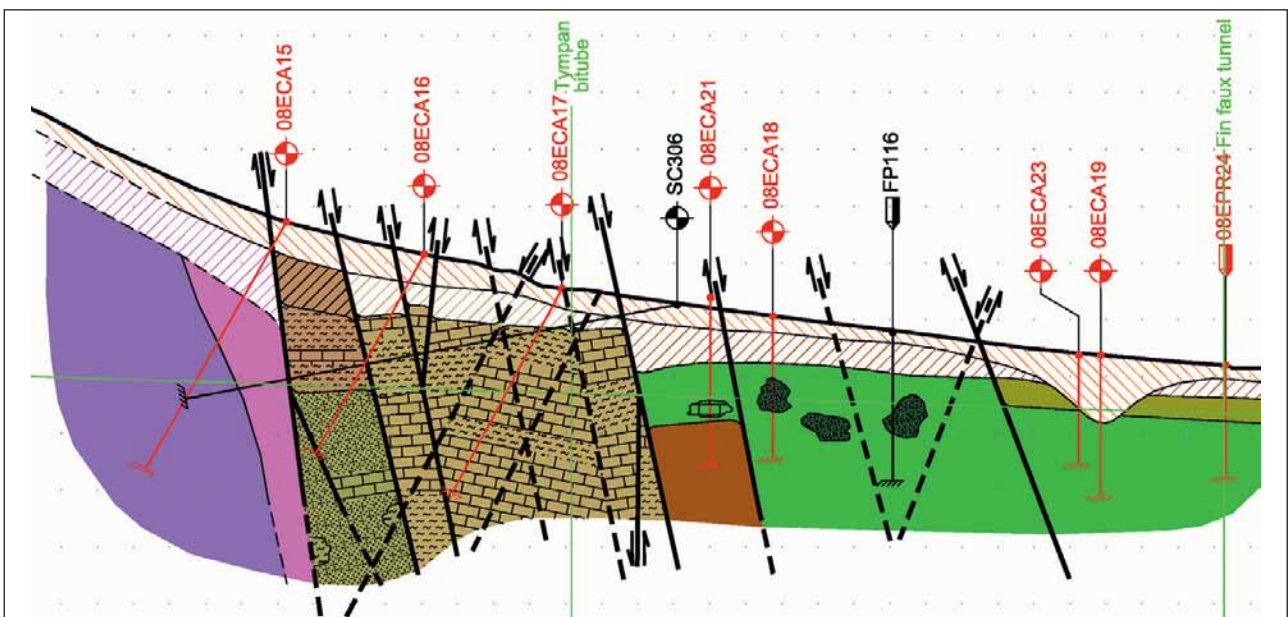
- la nécessité du mode fermé avec contrepression pour franchir le tronçon du Muschelkalk à l'Est (faille des Vosges notamment) et éventuellement pour le secteur central du vallon du Langthal, étant donnée la faible tenue attendue du terrain dans ces 2 secteurs
- l'éventualité de rencontrer ailleurs dans le massif des lentilles sableuses éventuellement gorgées d'eau
- la néanmoins nécessité du recours au mode ouvert sur un linéaire important du tunnel étant donnée l'abrasivité attendue des grès et les exigences du projet en terme de planning

La machine retenue, de marque Herrenknecht, peut travailler en mode pression de terre (EPB), sous 3 bar de pres-

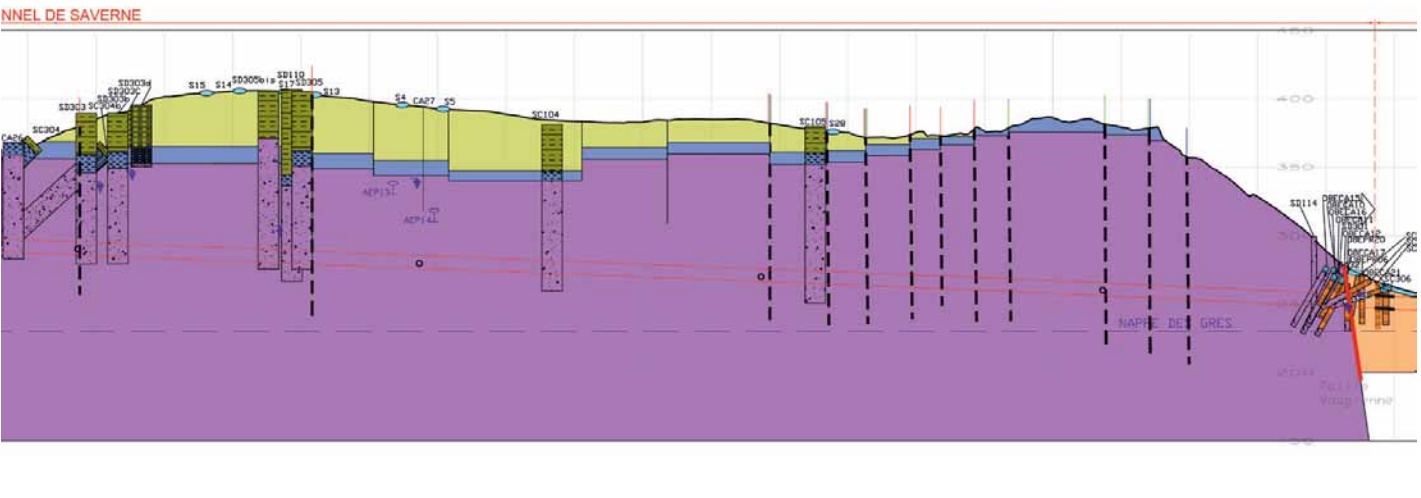
sure (mode à pression de terre (EPB) et éventuellement pour le secteur central du vallon du Langthal, étant donnée la faible tenue attendue du terrain dans ces 2 secteurs

- the possibility of encountering waterlogged sand lenses elsewhere in the massif
- the need to use the open mode over an important section of the tunnel given the expected abrasiveness of the sandstones and the requirements of the project in terms of planning

The selected machine, made by Herrenknecht, can function in earth pressure balance mode (EPB), at a pressure of 3 bar, or in open mode with some adaptations carried out in only a few days. It was designed specifically for the project, and



3 Zone de la tête Est du tunnel – Coupe géologique interprétative dans l'axe du projet
Zone at the East head of the tunnel – Interpretative geological section along the axis of the project



sion, ou en mode ouvert, moyennant pour le passage d'un mode à l'autre des adaptations réalisables en quelques jours seulement. Conçue spécialement pour le projet, elle a été fabriquée, livrée et montée sur le chantier en 12 mois seulement. Une vue du tunnelier en phase de montage sur le tube Nord est donnée avec figure 5.

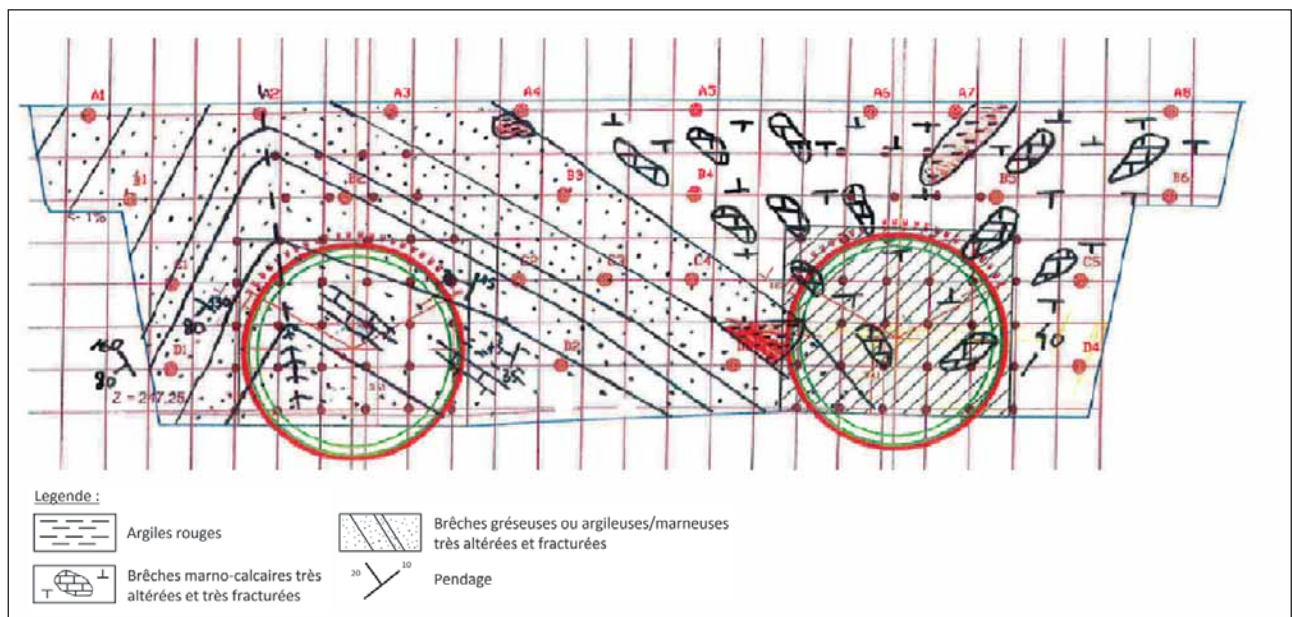
Les caractéristiques principales de cette machine sont définies ci-après:

- Diamètre nominal d'excavation: 10,07 m
- Diamètre du bouclier: 10,02 m
- Longueur: 110 m composé d'un bouclier et de 5 remorques
- Pression maximum: 3 bar

was manufactured, delivered and assembled on site in just 12 months. A view of the tunnel boring machine during assembly at the North tube is shown in Figure 5.

The main characteristics of this machine are defined as follows:

- Nominal diameter of excavation: 10.07 m
- Shield diameter: 10.02 m
- Length: 110 m consisting of a shield and 5 haulers
- Maximum pressure: 3 bar
- Required electrical power: 6,600 kVA
- Length of tunnel: 2 x 3,860 m
- Total weight of the tunnel boring machine: 2,100 t
- Weight of the cutterhead: 171 t



4 Zone de la tête Est du tunnel – Levé géologique du tympan (entrée du tunnel foré)
Zone at the East head of the tunnel – Geological survey of the tympan (entrance of the drilled tunnel)



5 Tunnelier en phase de montage
Tunnel boring machine during assembly

- Puissance électrique nécessaire: 6600 kVA
- Longueur du tunnel: 2 x 3860 m
- Masse total du tunnelier: 2100 t
- Masse de la roue de coupe: 171 t
- Vérins de poussée:
 - nombres: 30 (15 paires)
 - course : 2,8 m
 - poussée totale: 6400 t

La roue de coupe est équipée de 55 molettes de 19 pouces, dont 4 doubles, et de 144 dents pour le mode pression de terre contre 72 pour le mode ouvert. L'évacuation du marin de la chambre d'abattage jusqu' à la première trémie située en partie avant du tunnelier est réalisée par une vis d'Archimède rétractable de 1 m de diamètre pour le fonctionnement en mode fermé, par un convoyeur pour le fonctionnement en mode ouvert.

Le tunnelier est équipé d'une glissière de forage pour réaliser des reconnaissances à travers la tête ou, si nécessaire, des reconnaissances et/ou traitement en auréole à travers le bouclier.

Enfin, les voussoirs et le mortier de bourrage sont acheminés jusqu'au tunnelier par des véhicules à 2 cabines de type TSP (Transport Sur Pneus) de charge utile 86 t (soit le transport d'un anneau complet et de 11,5 m³ de mortier de bourrage), le transport du personnel étant réalisé par un véhicule du même type.

2.5 Voussoirs

Les voussoirs utilisés sont de type universels trapézoïdaux (faces inclinées). Ils sont configurés pour réaliser des an-

- Thrust cylinders:
 - numbers: 30 (15 pairs)
 - course: 2.8 m
 - total thrust: 6,400 t

The cutterhead is equipped with 55 roller cutters which are 19 inches in size, including 4 doubles, and 144 teeth for the earth pressure balance mode as opposed to 72 for the open mode. The evacuation of mucking from the working chamber until the first loading hopper located in front of the tunnel boring machine is carried out using a 1 m diameter retractable Archimedes screw pump in closed mode, and a conveyor in open mode.

The tunnel boring machine is equipped with a drilling slide to perform investigations through the tunnel face or, if necessary, investigations and/or halo treatments through the shield.

Finally, the concrete segments and grout are transported to the tunnel boring machine on 2-cabined wheeled vehicles with a payload of 86 t (i.e. the transport of a complete ring and 11.5 m³ of grout), with the transportation of staff being performed by a vehicle of the same type.

2.5 Concrete segments

The concrete segments used are of the universal trapezoidal type (slanted faces). They are configured to form rings with the following characteristics: nominal length 2 m, inside diameter 8.90 m, outside diameter 9.70 m, thickness 40 cm, key joint of 40 mm, weight 56 t (Fig. 6).

neaux de caractéristiques suivantes: longueur nominale 2 m, diamètre intérieur 8,90 m, diamètre extérieur 9,70 m, épaisseur 40 cm, pincement 40 mm, masse 56 t (Figure 6).

Chaque anneau comporte 8 voussoirs, dont un de clef, et est équipé d'un joint compressible dimensionné pour supporter une pression d'eau de 4 bar. Les voussoirs sont équipés d'inserts pour des boulons et des bicônes, les boulons étant mis en place systématiquement à la pose des anneaux (mais en général enlevés un peu après), tandis que les bicônes sont réservés aux zones particulières ou des risques d'ovalisation et de désaffleurements d'anneaux sont présents (zones de têtes, zones des rameaux intertubes et zones de failles).

Les voussoirs sont conçus pour une résistance au feu Eureka 2 h. Le béton utilisé est un C40-50 dosé à 350 kg/m³ de ciment CEM III PM-ES.

Les chiffres clés du revêtement du tunnel sont les suivants: 3874 anneaux, 31 000 voussoirs, 90 000 m³ de béton et 6000 t d'acier.

Each ring consists of 8 concrete segments, one of which is the key and is equipped with a compressible joint designed to withstand a water pressure of 4 bar. The concrete segments are equipped with inserts for the bolts and bicones, and the bolts are systematically put in place with the installation of the rings (but usually removed shortly after), whereas the bicones are reserved for specific areas where the risk of ovalisation and joint dislocation of the rings are predicted (head zones, interconnecting tunnel zones and fault zones).

The concrete segments are designed for a Eureka fire resistance of 2 hours. The concrete used was a C40-50 dosed at 350 kg/m³ of CEM III PM-ES cement.

The key figures for the tunnel lining are: 3,874 rings, 31,000 concrete sections, 90,000 m³ of concrete and 6,000 t of steel.

2.6 Interconnecting tunnels

Besides all the interconnecting tunnels acting primarily as an emergency, the even numbered interconnecting tunnels (3 units) contain the technical rooms for High Voltage, Low



6 Voussoirs en fabrication
Concrete segments under construction



2.6 Rameaux intertubes

Outre la fonction principale de chemin de fuite dévolue à tous les rameaux, les rameaux pairs (3 unités) reçoivent des locaux techniques, respectivement pour les installations de Haute Tension, de Basse Tension et pour les Equipements Ferroviaires (HT, BT et EF), tandis que les rameaux impaires (4 unités) ne reçoivent que des installations radio (GSM-R) et le système anti-bélier du réseau de défense incendie. Il en résulte les sections types différentes définies ci-après (Figure 7).

3 Bilan provisoire à fin 2012

3.1 Avancement en section courante

3.1.1 Tube Nord

3.1.1.1 Planning

Le tunnelier a démarré sur Nord début Novembre 2011 (le premier anneau foré l'a été le 10. Novembre 2011), c'est-à-dire avec un retard d'environ 1 mois sur les prévisions.

Voltage and Railway Equipment facilities (HV, LV and RE) respectively, whereas the uneven numbered interconnecting tunnels (4 units) house only the radio equipment (GSM-R) and the water hammer arrestor for the fire protection system. This results in various standard sections as defined below (Fig. 7).

3 Provisional results at the end of 2012

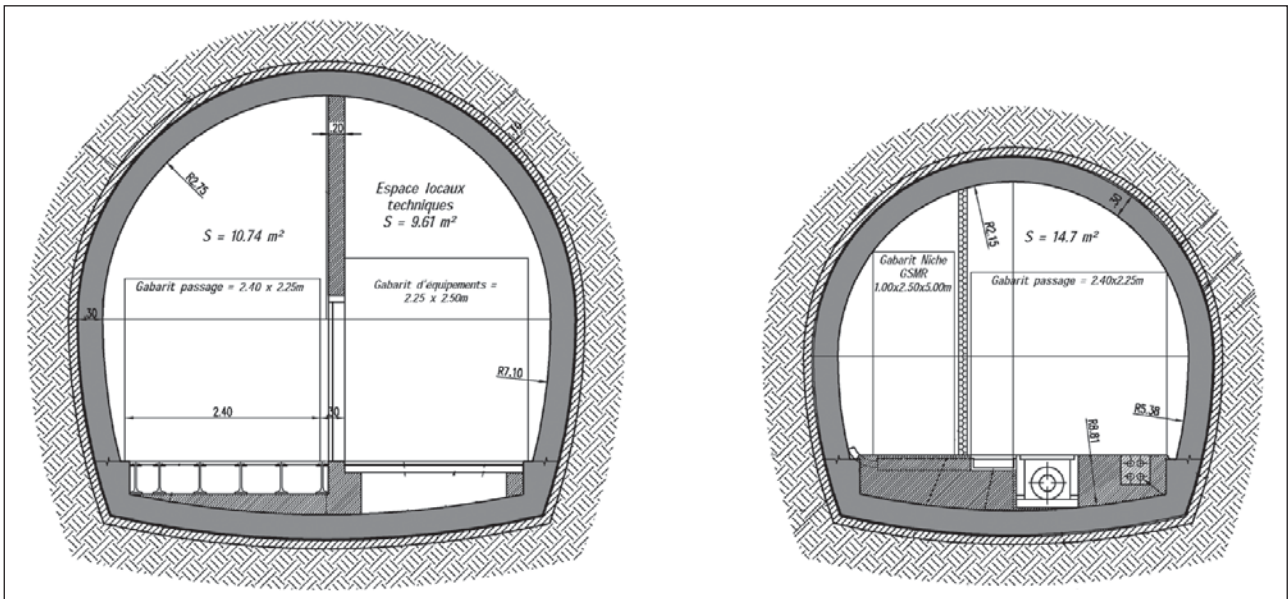
3.1 Progress in the current section

3.1.1 North Tube

3.1.1.1 Planning

The tunnel boring machine started on the North tube at the beginning of November 2011 (the first ring was drilled on November 10, 2011), i.e. about 1 month later than planned.

Due to this situation, the group decided to quickly increase the weekly work force to 21 staff (24h/d and 7d/w), whereas the works has started out with 18 weekly staff.



7 Sections types intertubes pairs et impairs
Standard even and uneven numbered interconnecting tunnels

Cette situation a décidé le groupement à passer rapidement à une organisation de l'avancement avec 21 postes hebdomadaires (24h/24 et 7j/7), alors que les travaux avaient été engagés en 18 postes hebdomadaires.

La zone du Muschelkalk a été traversée comme prévu en mode fermé, mais ce selon une montée en cadence plus rapide que prévue du fait d'équipes déjà rodées sur un chantier précédent réalisé avec un tunnelier à pression de boue.

Le reste du tunnel a été excavé en mode ouvert, y compris la zone du vallon du Langthal, moyennant pour cette zone la réalisation systématique de forages de reconnaissance qui ont permis d'adapter « en temps réel » les paramètres de guidage de la machine et de pose des voussoirs.

Les dispositions ainsi prises, associées à l'obtention d'un avancement moyen journalier un peu plus élevé que prévu, ont permis de faire plus que rattraper le retard, puisque le percement a eu lieu le 19 juin 2012, soit 2 mois d'avance sur la date prévue initialement.

En définitive, l'excavation du tube Nord a pris 7,5 mois, d'où un avancement moyen obtenu de 530 m/mois (Figure 8).

3.1.1.2 Précision du guidage

Le cahier des charges prescrivait une tolérance de 10 cm de l'axe des anneaux par rapport à l'axe théorique. Cette valeur a été dépassée sur Nord dans quelques zones du fait des circonstances particulières suivantes:

- Plongement du tunnelier peu après son démarrage dans la zone du Muschelkalk (zone de la faille des Vosges). Cette situation a rendu nécessaire un recalage immédiat du tracé avec « pilotage en temps réel » des consignes de guidage du tunnelier, ceci afin de ne pas déroger au référentiel géo-

The area of the shell limestone was crossed as expected in closed mode, but with a faster rhythm than expected as the work teams were already experienced on a previous site performed with an earth pressure balance tunnel boring machine.

The rest of the tunnel was excavated in open mode, including the area of the Langthal valley. Carrying out systematic survey boreholes has enabled adaptations for the steering parameters and installation of the concrete segments be made in "real-time".

With the measures taken associated with an average daily progress a little higher than expected, the delay in the schedule has been more than caught up, since breakthrough took place on June 19, 2012, i.e. 2 months ahead of the date initially planned.

In fact, excavation of the North tube took 7.5 months, with an average progress of 530 m/month (Fig. 8).



8 Vue du tunnel Nord en cours de foration
View of the North tunnel during drilling

métrique LGV pour la vitesse de projet prescrite (350 km/h).

- Déviation horizontale vers le PM 1500 (jusqu'à 16 cm) au passage d'une importante zone de faille non reconnue préalablement.
- Recalage mal approprié de la polygonale principale en tunnel suite à un contrôle gyroscopique au PM 800. La déviation horizontale correspondante a atteint 5 cm.

Les écarts ont tous pu être absorbés par des adaptations du positionnement des conduites et caniveaux dans les trottoirs, adaptations qui restent sans impact sur les fonctionnalités requises du projet.

3.1.1.3 Usure des molettes et de la roue de coupe

Il a été nécessaire de changer en moyenne une molette tous les 400 m³ excavés sur Nord. Ce résultat, notablement plus défavorable que prévu, est dû à la teneur importante en quartz des grès (environ 65 %). En revanche, l'abrasivité particulière attendue des poudingues de St. Odile ne s'est pas traduite par une usure plus importante que dans les grès.

L'usure de la roue de coupe a également été relativement importante puisque les rechargements réalisés au démontage du tunnelier en sortie de Nord ont nécessité l'apport d'environ 5 t d'acier.

3.1.2 Tube Sud

3.1.2.1 Planning

Le tunnelier a démarré sur Sud fin septembre 2012, c'est-à-dire avec une avance d'environ 1,5 mois sur les prévisions. Quand bien même les conditions contractuelles ne l'imposaient pas, décision a été prise de conserver l'organisation de travail en 21 postes hebdomadaires comme sur Nord.

La traversée du vallon du Langthäl a été réalisée en mode ouvert, comme pour Nord. L'excavation sur Sud a atteint le PM 2350 à fin 2012, soit un avancement moyen sur la période de 780 m/mois. Le percement est prévu courant mars.

3.1.2.2 Précision du guidage

Aucune hors tolérance n'a été relevée sur Sud à fin 2012.

3.1.2.3 Usure des molettes et de la roue de coupe

Des molettes renforcées au carbure de tungstène sont utilisées dans certaines positions depuis le démarrage du tube Sud. Il est cependant encore trop tôt pour tirer un bilan fiable de cette adaptation.

3.2 Voussoirs

Les voussoirs sont réalisés par un soustraitant à 50 km du chantier et amenés par camions (2 camions pour un anneau complet, le trajet étant en grande partie par autoroute).

Leur production a débuté avec 2 mois de retard sur la prévision et la cadence hebdomadaire prévue de 60 anneaux (8 voussoirs par anneau) n'a pas pu être tenue avec l'organisation en 10 postes hebdomadaires prévue initialement.

3.1.1.2 Steering accuracy

The specifications imposed a tolerance of 10 cm from the axis of the rings relative to the theoretical axis. This value has been exceeded in some areas in the North tube due to the following specific circumstances:

- Plunging of the tunnel boring machine shortly after starting in the shell limestone area (Vosges fault line zone). This situation required an immediate realignment of the route with "real-time control" of the steering instructions to the tunnel boring machine, so as not to deviate from the HSL reference geometry for the specified project speed (350 km/h).
- Horizontal deflection near PM 1500 (up to 16 cm) at the crossing of a previously unrecognised major fault line zone.
- Poor calibration of the main polygonal in the tunnel following a gyroscopic control at PM 800. The corresponding horizontal deviation reached 5 cm.

The deviations have all been absorbed by adjustments in the positioning of the pipes and gutters in the pavement, without affecting the functionality requirements of the project.

3.1.1.3 Wearing of the roller cutters and cutterhead

It was necessary to change one roller cutter on average every 400 m³ of excavation on average on the North tube. This result, which is more unfavourable than planned, is due to the significant content of quartz in the sandstone (approx. 65 %). However, the expected specific abrasiveness of the St. Odile pudding stones did not lead to higher wear than in the sandstone.

Cutterhead wear was also relatively significant since the replacements carried out upon dismantling the tunnel boring machine at the exit to the North tube required approx. 5 t of steel.

3.1.2 South Tube

3.1.2.1 Planning

The tunnel boring machine started on the South tube in September 2012, i.e. approx. 1.5 month ahead of schedule. Even though the contractual conditions did not require it, a decision was made to maintain the weekly workforce of 21 staff as for the North tube.

Crossing the Langthäl valley was carried out in open mode, as for the North. The excavation in the South tube reached PM 2350 by end 2012, which equates to an average progress of 780 m/month. Breakthrough is expected during March.

3.1.2.2 Steering accuracy

No out of tolerances were found on the South tube at the end of 2012.

3.1.2.3 Wearing of the roller cutters and cutterhead

The reinforced tungsten carbide roller cutters are used in certain positions since the start of the South tube. However,

Des améliorations ont du être apportées sur la chaîne de production et l'organisation est passée à 18 postes hebdomadaires, dispositions qui ont permis d'obtenir en «rythme de croisière» une production d'environ 70 anneaux par semaine.

Le retard pris durant les premières mois n'a cependant pas pu être complètement rattrapé, situation qui a nécessité d'anticiper pour Nord l'utilisation des voussoirs à 7 jours (la résistance requise étant déjà atteinte à 7 jours), alors qu'il était prévu de les transporter/mettre en œuvre seulement après 28 jours. Cette disposition n'a d'ailleurs pas été suffisante puisque l'avancement sur Nord a du être arrêté pendant 11 jours pour permettre la reconstitution du stock nécessaire.

Les mesures d'accélération prises pour Nord ayant été poursuivies pour Sud et la production ayant continuée pendant 2 des 3 mois de « démontage – remontage » du tunnelier pour passer de Nord à Sud, le stock de voussoirs réalisé pour Sud est largement suffisant.

Selon toute vraisemblance, les voussoirs nécessaires seront tous produits courant janvier, alors que le percement de Sud devrait avoir lieu courant mars.

3.3 Mortier de bourrage

Le vide annulaire (18 cm en valeur nominale) est injecté en sortie de jupe avec un mortier dit semi inerte dosé à 60 kg/m³ en section courante, 140 kg/m³ à chaque premier anneau positionné dans le terrain et 120 kg/m³ à la sortie du tunnelier sur Nord pendant 5 anneaux.

Se sont principalement des critères de rhéologie qui ont prévalu pour la mise au point de ce mortier (durée d'ouvrabilité, cohésion minimale après 12 h), la résistance mécanique étant ici de moindre importance (prescription de seulement 1 MPa pour la résistance à 28 jours).

Pour le tube Nord, tous les agrégats utilisés (fractions 0/4 et 0/6 et gravette 4/8) provenaient de carrières, alors que pour Sud la fraction 0 à 6 mm a été produite sur le chantier par criblage du marin. Dans les 2 cas, le comportement du mortier s'est révélé bon, tant en terme d'injectabilité/rhéologie pour la mise en œuvre que pour la qualité du remplissage réalisé (qualité notamment observée au moment du percement de chacun des rameaux intertubes).

3.4 Rameaux intertubes

L'excavation des rameaux intertubes a débuté fin septembre 2012, comme prévu au Brise Roche Hydraulique (BRH) et à la haveuse, en 10 postes hebdomadaires. L'avancement obtenu s'étant révélé largement insuffisant, la décision du recours à l'explosif et du travail en 15 postes hebdomadaires a été prise rapidement, seules ces dispositions semblant de nature à permettre le respect des engagements de planning.

Ces dispositions sont effectives depuis fin Octobre 2012, l'explosif utilisé ici étant en émulsion (système Morse avec

it is still too early to draw any reliable conclusions regarding this adaptation.

3.2 Concrete segments

The concrete segments are installed by a subcontractor at 50 km from the site and taken by lorries (2 lorries for a complete ring, with most of them route via the motorway).

Their production began with a delay of 2 months and the weekly rate of 60 rings (8 concrete segments per ring) could not be maintained with the 10 weekly staff organisation initially planned.

Improvements had to be made to the production line and the organisation increased to 18 weekly staff to reach a "cruising speed" of about 70 rings produced per week.

However, the delay incurred during the first months has not been fully caught up, a situation that required anticipating the use of 7-day concrete segments for the North tube (the required strength is already reached at 7 days), whereas it was planned to transport and install them only after 28 days. Incidentally, this provision has also not been sufficient since progress on the North tube had to be stopped for 11 days to rebuild the required stock.

Given that acceleration measurements taken for the North tube have been continued for the South tube and production continued with 2 to 3 months "disassembly – reassembly" of the tunnel boring machine to pass from the North tube to the South tube, the stock of concrete segments for the South tube is more than adequate.

In all likelihood, the required concrete segments will all be produced during January, whereas the breakthrough of the South tube should take place in March.

3.3 Grout

The ring gap (18 cm nominal value) is injected from outside the lining with a semi inert grout dosed at 60 kg/m³ for a standard section, 140 kg/m³ for each first ring positioned in the ground and 120 kg/m³ at the exit of the tunnel on North tube for 5 rings.

It was primarily the rheological criteria that determined the choice of grout (workability times, minimum cohesion after 12 hours). The structural strength in this case was less important (requirement of only 1 MPa at 28 days).

For the North tube, all of the aggregates used (fractions 0/4 and 0/6 and gravel 4/8) came from quarries, whereas the South tube 0 to 6 mm was produced on site by screening marine aggregate. In both cases, the behaviour of the grout proved to be good, both in terms of injectability/rheology for its implementation and the quality of the filling performed (quality observed at the moment of breakthrough of each of the interconnecting tunnels).

utilisation du tir séquentiel). L'avancement est réalisé en parallèle sur 2 rameaux (pianotage des engins d'un rameau à l'autre). A fin 2012, les 2 premières rameaux sont percés et l'étanchéité est réalisée sur l'un deux.

Deux autres rameaux sont excavés sur environ la moitié de leurs longueurs, tandis que pour les autres rameaux les voussoirs sont seulement découpés sur le tube Nord (Figure 9).



9 Etanchéité posée dans un rameau intertube
Water proofing installed in the interconnecting tunnels

4 Conclusion

La forme de marché retenue ici, qui regroupe la maîtrise d'œuvre à l'entreprise de construction, était motivée par les objectifs principaux suivants du Maître d'Ouvrage:

- fiabiliser le délai global de l'opération,
- permettre une optimisation des solutions techniques tant pour le génie civil que pour les équipements non ferroviaires,
- réduire les risques de réclamation, toute erreur de conception étant de facto assumée solidairement par le groupement.

A fin 2012, le deuxième tube (Sud) est excavé sur un peu plus de la moitié de sa longueur, tandis que depuis le premier tube, percé le 19 juin 2012, les travaux principaux concernent maintenant les rameaux intertubes.

De fait, cette situation correspond à une avance d'environ 3 mois sur le planning initial, avance qui, selon toute vraisemblance, devrait encore augmenter un peu d'ici la fin de travaux du fait d'optimisations encore prévues, notamment sur la gestion des interfaces génie civil – équipements non ferroviaires.

Plus généralement, les prévisions actuelles d'accostage coûts et délais, ainsi que le niveau de qualité atteint pour les travaux réalisés sur le lot 47, nous donnent à penser que l'expérience de Conception – Réalisation pour ce lot sera positive pour le Maître d'Ouvrage RFF (à confirmer bien sûr).

L'expérience devrait être globalement positive également pour les entreprises et les bureaux d'ingénierie du groupement du fait de la cohérence du « fonctionnement intégré études et travaux » (aspect réactivité notamment) et des optimisations réelles, de projet et de moyens, réalisées depuis les études de projet définitif jusqu'à la réalisation.

3.4 Interconnecting tunnels

Excavation of the interconnecting tunnels started at the end of September 2012 as planned by Brise Roche Hydraulique (BRH) and the cutting machine operator, with a weekly work force of 10 staff. Given that progress proved very insufficient, the decision to use explosives and 15 weekly staff was made quickly, with only these measures likely to allow the schedule to be respected.

These provisions are effective since the end of October 2012, with the explosive used here being an emulsion (morse system using sequential firing). Progress is carried out in parallel on 2 interconnecting tunnels (tapping from the machines from one interconnecting tunnel to another). At the end of 2012, the first 2 interconnecting tunnels were drilled and the water proofing was carried out in one of them.

Two other interconnecting tunnels are excavated over about half their lengths, while for the other interconnecting tunnels the concrete segments are only cut on the North tube (Fig. 9).

4 Conclusions

The type of contract used here places the responsibility for the engineering design on the contractor and was motivated by the main objectives of the Project Owner as follows:

- to make the overall planning as reliable as possible,
- to allow for optimisations of the technical solutions for the design of the civil engineering structures and the non-railway equipment,
- to reduce the risk of any claims, all design errors were de facto assumed jointly by the group.

By the end of 2012, the second tube (South) was excavated just over half of its length, whereas from the first tube, broken through on June 19, 2012, the main works now involve the interconnecting tunnels.

In fact, this situation corresponds to an advance of about 3 months compared with the initial schedule, which in all likelihood is expected to increase slightly by the end of the works given the planned optimisations, including the management of the interfaces between the civil engineering and non-railway equipment.

More generally, the current forecast of overall costs and delays, as well as the level of quality achieved for lot 47, suggests that the Design – Build experience for this lot will be positive for the Project Owner RFF (to be confirmed, of course).

The overall experience should also be positive for the group's contractors and consulting engineers given the consistency of the "design-build integrated function" (especially the reactivity aspect) and the real optimisations involving the design and resources carried out since the detailed design phase until construction.

Alberto Belloli, Dr. sc., Dipl. Masch.-Ing. ETH, Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ/CH
Stelvio Santarelli, Dr.-Ing. Università la Sapienza, Consorzio Condotte Cossi, Sigirino/CH

Ceneri-Basistunnel

Kombination von Flexibilität und Produktivität dank hoher Mechanisierung der konventionellen Hauptvortriebe

Die Hauptvortriebe des Ceneri-Basistunnels werden konventionell vom Zwischenangriff Sigirino aus aufgeföhren. Ein Vergleich in der Felssicherungskategorie ST-SPV3 zeigt einen deutlichen Anstieg der durchschnittlichen täglichen Vortriebsleistungen dank der hohen Mechanisierung des konventionellen Vortriebes. Des Weiteren profitieren alle Beteiligten von Arbeitsplätzen mit einem hohen Arbeitssicherheitsstandard.

Ceneri Base Tunnel

Combining Flexibility and Productivity by substantial Mechanization of the main conventional Headings

The main headings of the Ceneri Base Tunnel are excavated from the intermediate access Sigirino using the conventional method. A comparative study reveals a significant increase in progress rates by applying high mechanization of the conventional headings, even with the heavier rock supports that had to be locally applied so far. Moreover, all persons involved profit from better work conditions and increased work safety.

1 Ceneri-Basistunnel

Der Ceneri-Basistunnel ist die logische Fortsetzung des Gotthard-Basistunnels Richtung Süden und macht die neue Gotthardbahn zu einer durchgehenden Flachbahn durch die Alpen. Dank der flachen, gestreckten Trassierung werden Güterzüge von bis zu 4000 t Anhängelast mit bis zu 160 km/h ohne Halt und ohne Zwischen- oder Schiebeloks durch die Schweiz fahren können. Im Personenverkehr wird mit dem Ceneri-Basistunnel zukünftig die Fahrzeitreduktion erreicht, um den Reisenden in Zürich und Mailand optimale Anschlüsse zu gewährleisten [1, 2].

Wie beim Gotthard-Basistunnel besteht das Tunnelsystem des Ceneri-Basistunnels aus 2 Einspurröhren, welche sich vom Nordportal Vigana/Camorino bis zum Südportal Vezia erstrecken und durch Querschläge miteinander verbunden sind. Nebst kürzeren konventionellen Vortrieben an den beiden Portalen erfolgen die Hauptvortriebe aus einer unterirdischen Kaverne (Caverna Operativa), welche durch einen 2,3 km langen und mit 5 % geneigten Fensterstollen von Sigirino aus erschlossen wurde.

1.1 Projektplanung und Ausschreibung

Die erwarteten geologischen Bedingungen in den Nordvortrieben und Richtung Süden bis zur Störzone "Linea Val

1 Ceneri Base Tunnel Project

The Ceneri Base Tunnel is the logical continuation of the Gotthard Base Tunnel towards the south, and it creates a continuous flat rail link through the Alps with the New Gotthard Rail Link. As a result of the flat and straight route, freight trains with up to 4,000 t trailing load can be driven non-stop through Switzerland at up to 160 km/h, and without mid-train or pushing engine. The Ceneri Base Tunnel will enable travel time reduction of passenger traffic and secure optimal connections for passengers in Zurich and Milan in the future [1, 2].

Similar to the Gotthard Base Tunnel, the Ceneri Base Tunnel system consists of 2 single track tubes which lead from the Northern portal Vigana/Camorino to the Southern portal Vezia, connected with cross passages. Besides some shorter, conventional headings at the 2 portals, the main headings are carried out from an underground cavern (Caverna Operativa), which was accessed from Sigirino through a 2.3 km long access tunnel with 5 % decline.

1.1 Project Design and Call for Bids

The expected geological conditions in the northern headings as well as towards the south until the disturbed region "Linea Val Colla" precluded the use of a TBM [3]. The section

Tunnel de base du Ceneri

Flexibilité et productivité grâce à un haut niveau de mécanisation des avancements principaux conventionnels

Les avancements principaux du tunnel de base du Ceneri sont excavés en mode conventionnel depuis le point d'attaque intermédiaire de Sigirino. Une comparaison réalisée pour le profil-type de soutènement ST-SPV3 témoigne d'une augmentation sensible de la cadence quotidienne moyenne de l'avancement grâce à un haut niveau de mécanisation de l'excavation conventionnelle. D'autre part, toutes les personnes impliquées bénéficient de postes de travail dotés d'un haut niveau de sécurité.

Galleria di base del Monte Ceneri

Combinazione di flessibilità e produttività grazie all'alto livello di meccanizzazione degli avanzamenti principali convenzionali

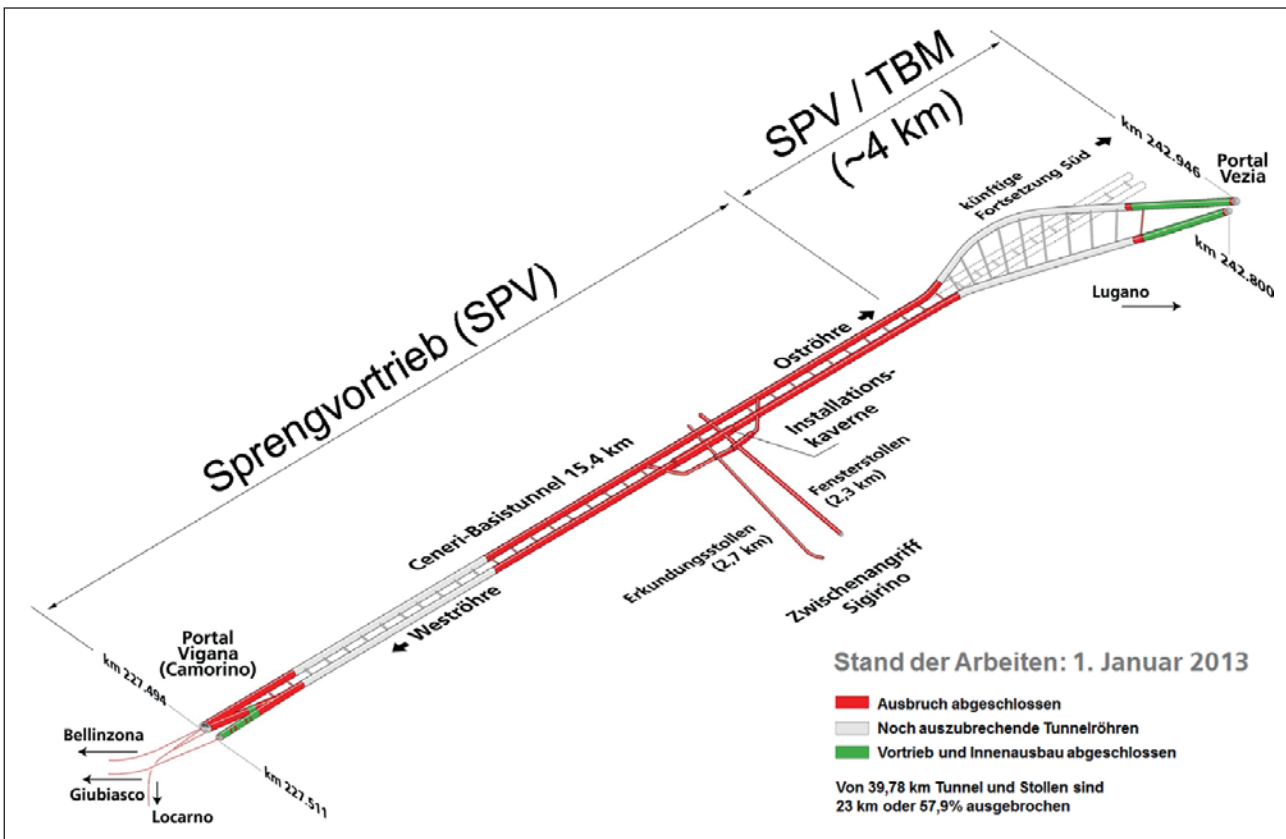
Gli avanzamenti principali della galleria di base del Monte Ceneri vengono scavati dall'attacco intermedio di Sigirino applicando il metodo convenzionale. Una comparazione per il profilo tipo di sostegno ST-SPV3 evidenzia un chiaro aumento dell'avanzamento medio giornaliero grazie all'alto livello di meccanizzazione del metodo convenzionale. Inoltre tutti gli operatori coinvolti traggono vantaggio da posti di lavoro dotati di alti standard di sicurezza.

Colla" schlossen den Einsatz einer TBM aus [3]. Im Abschnitt "Linea Val Colla" bis Vezia wurde sowohl die konventionelle Vortriebsmethode als auch ein Vortrieb mit einer Schild-TBM zugelassen (Bild 1).

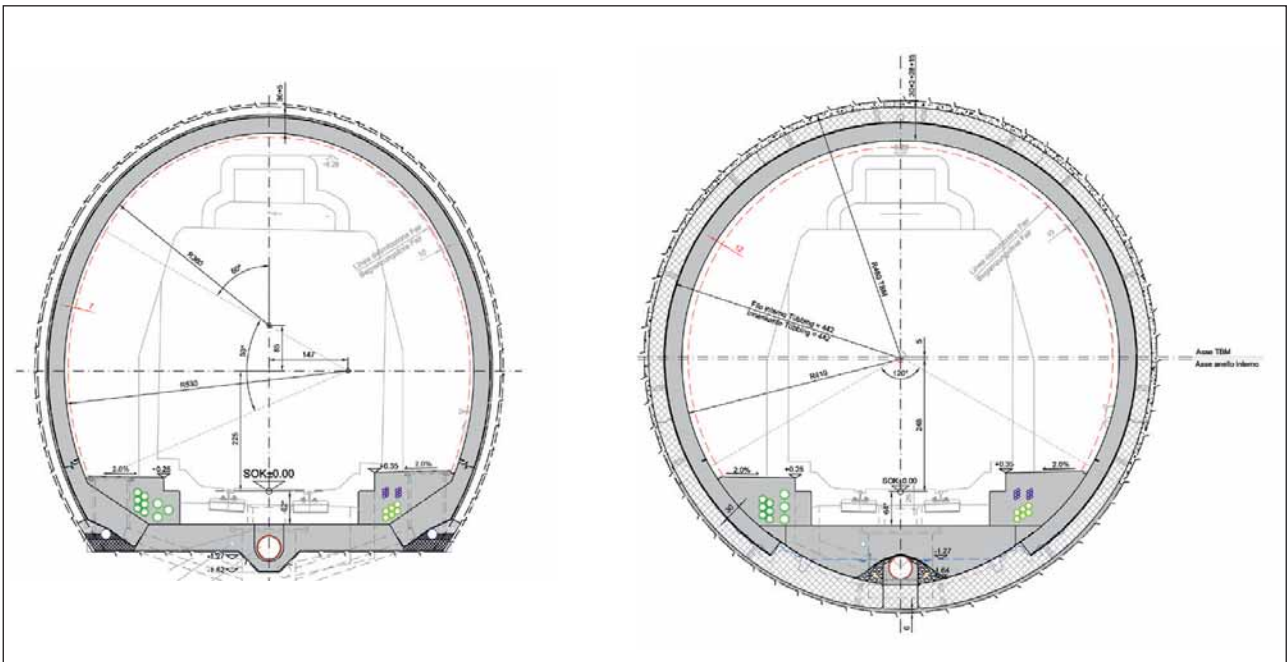
Für diesen ca. 4 km langen Abschnitt entwickelten die Planungingenieure je ein vollständiges Tunnelprojekt für

from the "Linea Val Colla" to the breakthrough with the heading from the southern portal was deemed suitable for both conventional and shield TBM headings (Fig. 1).

On behalf of the project owner AlpTransit Gotthard AG, the project designer thoroughly carried out the tunnel design for this approx. 4 km long section for both alterna-



1 Das Ceneri-Basistunnel-Projekt
The Ceneri Base Tunnel project



2 Normquerschnitt für den konventionellen Vortrieb bzw. Schild-TBM Vortrieb des Ceneri-Basistunnels, Abschnitt "Linea Val Colla" bis Vezia
 Standard cross-sections for the conventional heading, respectively shield TBM heading of the Ceneri Base Tunnel, section from "Linea Val Colla" to the southern breakthrough

beide Alternativen. Diese wurden beide durch die Bauherren AlpTransit Gotthard AG ausgeschrieben. Bild 2 stellt die Normquerschnitte für die konventionelle Methode bzw. für die Schild-TBM dar.

Um den wichtigen Vollendungstermin einzuhalten (Eröffnung der neuen Bahnverbindung) rechneten alle Bietergemeinschaften die hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebs in Ihre Angebote ein. In einzelnen Fällen wurde für den südlichen Abschnitt ein TBM-Vortrieb angeboten. Wie die Evaluation zeigte, war ein hoch mechanisierter konventioneller Vortrieb für die gesamte Tunnellänge unter Berücksichtigung der projektspezifischen Rahmenbedingungen die wirtschaftlichste Lösung.

2 Hohe Mechanisierung für konventionelle Hauptvortriebe

2.1 Frühere Erfahrungen

Bei der Auslegung der Vortriebsinstallationen in enger Zusammenarbeit mit dem Consorzio Condotte Cossi konnte Rowa ihre bei der Vortriebsmechanisierung anderer Untertagebauwerke gewonnenen Erkenntnisse einbringen. So flossen in die Vortriebsinstallationen für den Ceneri-Basistunnel insbesondere die Erfahrungen mit den aufgehängten Arbeits- und Vortriebsbühnen des Vereina-Tunnels, der Baulose Mitholz und Raron des Lötschberg-Basistunnels sowie der Baulose Sedrun und Amsteg des Gotthard-Basistunnels ein [4].

Jede Anlage besteht im Wesentlichen aus Ventilationsbühne, Vortriebsbühne, Sohlbetonbühne, Brecher, Förderbändern und Monorail (Einschienehängenbahn) (Bild 3) [5].

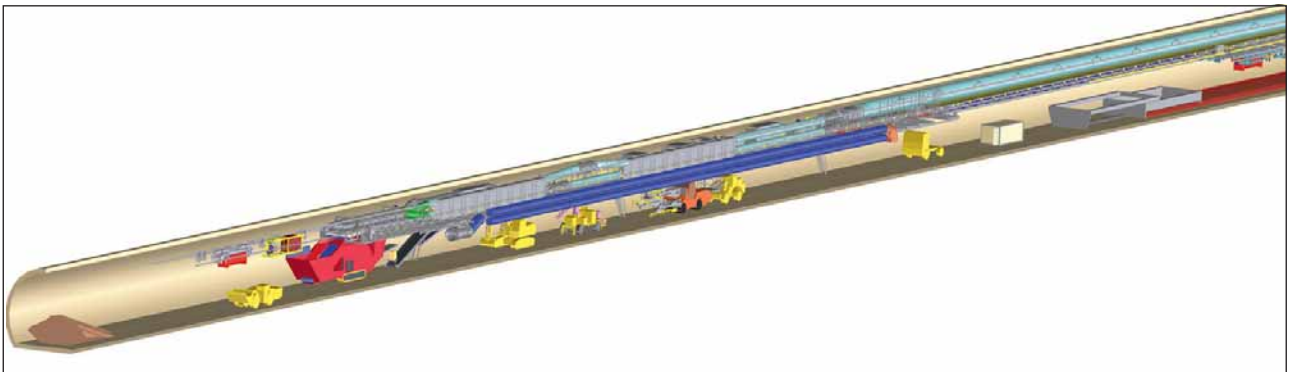
atives, which were submitted to the contractors within the call for bids. Fig. 2 illustrates the standard cross-sections for the conventional method and for the shield TBM method, respectively.

In order to meet the important deadline for tunnel completion (operation of the railway connection) all bidders included highly mechanized conventional heading in their offers, in some cases supplemented by TBM heading for the southern section. The outcome of the tender eventually revealed the option using the highly mechanized conventional method for the whole tunnel length to be more economical under consideration of the conditions imposed by the project.

2 Substantial Mechanization for conventional Main Headings

2.1 Previous Experience

When planning the heading installations in close cooperation with Consorzio Condotte Cossi, Rowa Tunnelling Logistics AG was able to make use of experience and valuable insight gained from other heading mechanization projects in tunnelling construction. In this context, experiences made with suspended work- and heading-platforms from the Vereina Tunnel, the Mitholz and Raron sections of the Lötschberg Base Tunnel, as well as from the Amsteg and Sedrun sections of the Gotthard Base Tunnel [4] could be used for the installations of the Ceneri Base Tunnel. The concept for each installation basically consisted of ventilation platform, heading platform, invert platform, crusher, conveyors and monorail (single track suspension rail) (Fig. 3) [5].



3 Hochmechanisiertes Nachlaufsystem für die konventionellen Hauptvortriebe des Ceneri-Basistunnels
Highly mechanized installation for the conventional main headings of the Ceneri Base Tunnel

2.2 Rascher Zugang zur Ortsbrust und Gesundheitsschutz dank blasender und saugender Bewetterung

Eine optimale Bewetterung und, falls erforderlich, Kühlung der Arbeitsbereiche sind wichtige Massnahmen zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes und der Arbeitssicherheit im Tunnelvortrieb. Die Frischluft wird am Portal des Sondierstollens Sigirino angesaugt und über Sondierstollen bzw. ab der Caverna Operativa über Lutten bis zum Heck der jeweiligen Vortriebsbühne und dann weiter in 2 Lutten bis zur Ortsbrust geblasen. Erstmals konstruierte die Rowa Tunneling Logistics AG für dieses Projekt eine von

2.2 Blowing and Suction Ventilation provides fast Access to Rock Face and Health Protection

Optimal ventilation and cooling are important measures to guarantee health protection and work safety in tunnel headings. Fresh air is sucked in at the portal of the Sigirino exploration tunnel, and then blown from the Caverna Operativa via air ducts to the rear of the respective heading platforms. Here, the fresh air is picked up on 2 stages with 2 ventilators each and transferred to the rock face by 2 air ducts. For this project, Rowa Tunneling Logistics AG constructed for the first time a ventilation platform which can be moved independently from the heading platform. It car-



4 Teleskopierbare Ventilationsbühne für die optimale Frischluftzufuhr bis zur Ortsbrust und zur effizienten Spülung der Sprengschwaden
Telescopic ventilation platform for optimal fresh air supply up to the heading face and for efficient suction ventilation of blasting fumes



5 Rationalisierung der Arbeitsabläufe und höhere Arbeitssicherheit dank freiem Arbeits- und Parkraum unter der Vortriebsbühne
Rationalization of work flows and increased working safety thanks to free floor space for working and parking

der Vortriebsbühne unabhängig verfahrbare Ventilationsbühne. Diese ist Träger für die Spirallutten der blasenden Bewetterung und kann bis ca. 30 m hinter der Ortsbrust um 40 m teleskopiert werden (Bild 4).

Damit lassen sich die Zufuhr von Frischluft optimieren und die Sprengschwaden effizient spülen. Letztere werden vorne an der Vortriebsbühne mit einem Ventilator abgesaugt und am Heck der Vortriebsbühne von einem zweiten Ventilator durch eine Abluftlutte bis zum Fensterstollen geblasen. Somit wandern die Sprengschwaden nicht durch die Vortriebsbühne und die rückwärtige Sohlbaustelle. Für den Sprengvorgang wird die Ventilationsbühne bis zum Brecher eingefahren und ist ausserhalb des Gefahrenbereiches. Alle Ventilatoren können zentral gesteuert werden; die Ventilationsbühne kann nach der Sprengung per Knopfdruck im Bereich des Sicherheitscontainers mittels Reibradantrieben ausgefahren werden. Die Tunnelbauer sind somit den gesundheitsschädigenden Sprengschwaden kaum noch ausgesetzt; die Ortsbrust ist in kurzer Zeit für die Schutterungs- und Sicherungsarbeiten wieder frei zugänglich.

Die Erdwärme nimmt zu, je tiefer ein Bauwerk unter der Erde liegt. Im Falle des Ceneri-Basistunnels (16 bis 20° C Felstemperatur) sind die Auswirkungen dieses Phänomens, trotz Überlagerungen von bis zu 800 m, sehr beschränkt. Leis-

ries the spiral air ducts of the blowing ventilation and can be telescoped 40 m, up to approx. 30 m behind the rock face (Fig. 4).

Thereby, supply of fresh air can be optimized and blasting fumes flushed efficiently. The latter are vacuumed off in front of the heading platform with a suction ventilator, transferred to the rear of the heading platform and from there with a second ventilator through an exhaust air duct to the access tunnel. Therefore, the blast fumes do not pass through the heading platform and the invert construction site behind the heading. Before blasting, the ventilation platform is retracted next to the crusher and, therefore, is out of danger. All ventilators can be centrally monitored; the ventilation platform can be extended via friction wheel drive at the touch of a button in the safety container area after blasting. The tunnel constructors are, therefore, not exposed to unhealthy blasting fumes, while the ventilation platform enables fast clearing of the rock face for muck removal and rock support work.

Geothermal heat grows with increasing depth of the construction sites. With 16 to 20° C of rock temperature, its influence is very limited for the Ceneri Base Tunnel, despite overlays of up to 800 m. High-performance construction equipment produces additional waste heat. In order to be



6 Übergabe des Ausbruchmaterials der Oströhre auf das Streckenband in der Weströhre
 Cross conveyor drops the excavation material from the eastern tube into the continuous conveyor in the western tube

tungsstarke dieselbetriebene Baugeräte produzieren zusätzliche Abwärme. Um auch für die Sommerzeit und die Zufuhr wärmerer Luft gerüstet zu sein, wurde die Lüftung beim Ceneri-Basistunnel mit Kühlsystemen ergänzt, welche direkt auf den Vortriebsbühnen aufgebaut sind.

2.3 Gleichzeitiges Nachziehen der gesamten Infrastruktur und viel Platz für die Baugeräte

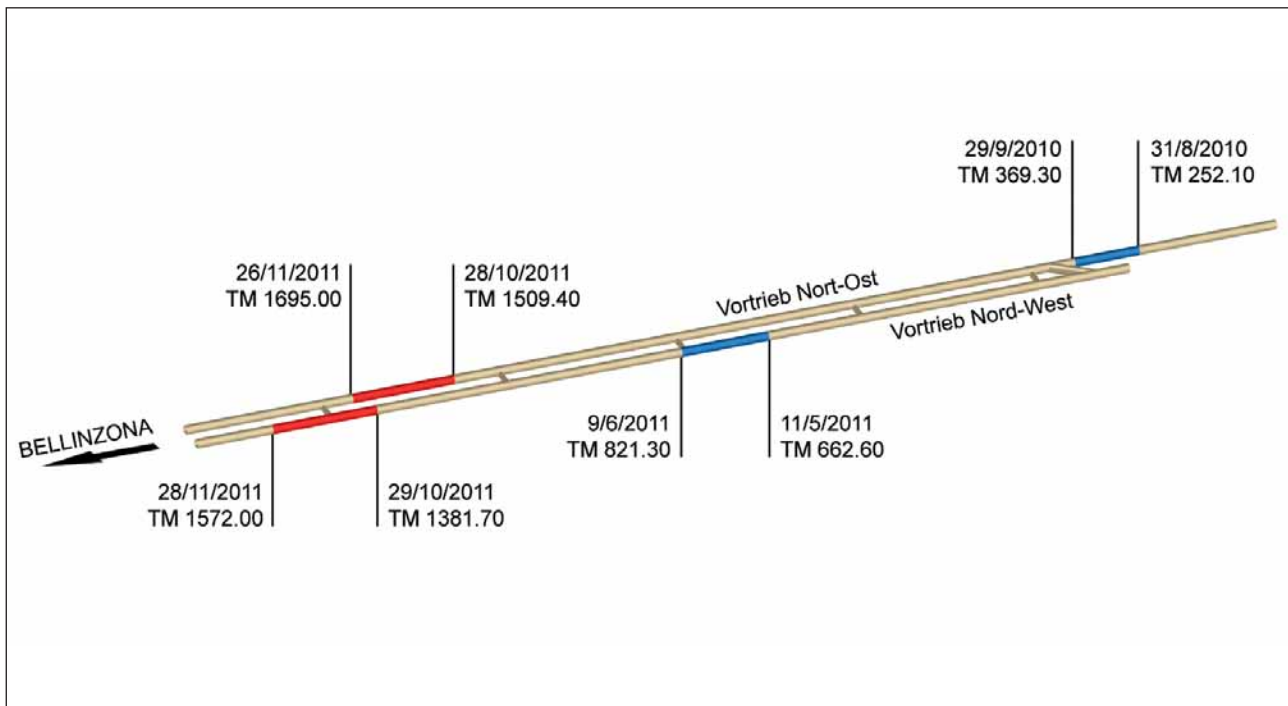
Auf der 135 m langen Vortriebsbühne finden alle Infrastrukturaufbauten Platz. Es sind dies insbesondere ein Entstauber, die Ventilatoren für die blasende und saugende Bewetterung, ein Druckluftkompressor, eine Wasserdruckerhöhungsanlage, ein Notstromaggregat, ein Trafo sowie eine Hochspannungskabeltrommel. Zusätzlich befinden sich auf der Bühne ein Container für die Vortriebsleitung, je ein Lagercontainer für Elektriker und Mechaniker, Hebegeräte, Luttenpeicher für die blasende und saugende Bewetterung sowie ein Wartungsbereich für die Monorail.

Genauso wie die Ventilationsbühne, die Sohlbetonbühne und die Förderbänder verfährt die Vortriebsbühne an Hänigeschienensträngen, welche mittels Ketten und Spezialadapter an Reibrohrankern des Typs Bellex 120 Forte am Gewölbe aufgehängt sind. Drei Schreitwerke samt dazugehöriger Hydraulik und Steuerung sind auf der Vortriebsbühne, 3 weitere entlang des Streckenbandes so verteilt, dass

equipped also for summer time with a supply of warmer ambient air, the ventilation at the Ceneri Base Tunnel was supplemented by cooling systems placed on the heading platforms.

2.3 Simultaneous Trailing of complete Infrastructure and sufficient Room for Construction Equipment

All infrastructure installations can be placed onto the 135 m long heading platform. They include a dedusting unit, the ventilators for blowing and suction ventilation, an air compressor, a water pressure booster system, an emergency generator, a transformer as well as a high voltage cable drum. A container for the heading management, one storage container each for electricians and mechanics, lifting devices, air duct cassettes for blowing and suction ventilation as well as a maintenance area for the monorail, are also placed onto the platform. Precisely like the ventilation platform, the invert platform and the conveyors, the heading platform moves on suspension tracks suspended from the vault with chains and special adaptors to friction rock bolts of the Bellex 120 Forte type. Three stepping devices with appropriate hydraulics and control are placed on the heading platform, 3 additional ones are placed alongside the towing conveyor in such a way that the entire heading installation can be pulled forward at the touch of a button according to the heading progress.



7 Identifizierte Abschnitte für den Vergleich der durchschnittlichen Vortriebsleistungen mit (Rot) und ohne (Blau) hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes
 Sections considered for the comparison between progress rates with (in red) and without (in blue) high mechanization of the conventional heading in the north-east and north-west tubes, respectively

die gesamte Vortriebsinstallation per Knopfdruck und dem Vortriebsfortschritt entsprechend nach vorne verschoben werden kann.

Unter der Vortriebsbühne steht den Tunnelbauern auf der Sohle eine zweite Arbeitsfläche und ein abstützungsfreier Arbeits-, Manövrier- und Parkraum zur Verfügung (Bild 5). Mit den übersichtlichen Platzverhältnissen, durch die Rationalisierung der Arbeitsabläufe und dank der grosszügigen Beleuchtung konnte die Arbeitssicherheit massgebend erhöht werden.

2.4 Backenbrecher, Schleppband und Transferband für Entsorgungslogistik

Rowa Tunnelling Logistics AG und ihr Auftraggeber Consorzio Condotte Cossi haben ein Logistiksystem umgesetzt, mit welchem die Schutterung per Knopfdruck von der Ortsbrust bis zum Portal des Fensterstollens und weiter unter Einbezug der Fördersysteme der Materialbewirtschaftung bis zur Deponie gesteuert werden kann. Das ausgebrochene Material wird nach jedem Abschlag von der Ortsbrust mit einem Fahrlader über eine Distanz von 50 bis 70 m zum raupenmobilen Brecher mit Vorsieb, Sieb und Metallausscheider transportiert. Unter der Vortriebsbühne hängt das 630 m lange und 800 mm breite Schleppband, welches für die Entsorgung des vom Backenbrecher zerkleinerten Ausbruchmaterials verantwortlich ist. Der Steigbereich hinter dem Brecher kann für das Verschieben der Hängebühne hochgezogen werden. Das Schleppband wirft das Ausbruchmaterial auf ein Transferband ab, welches alle 330 m gleichzeitig mit der

Below the heading platform on the invert, the tunnel constructors have a second working level and free floor space for working, maneuvering and parking at their disposal (Fig. 5). Working safety has been increased substantially thanks to clearly arranged space conditions, the rationalization of work flows and the generous lighting.

2.4 Jaw Crusher, Towing Conveyor and Transfer Conveyor for Muck Removal Logistics

Rowa Tunnelling Logistics AG and their client Consorzio Condotte Cossi have implemented a logistics system which allows for direct material transport from the rock face to the portal of the access tunnel at the touch of a button and – taking into account the subcontractor for material handling – all the way to the muck disposal site. The excavated material is transported after every blast with a wheel loader from the rock face over a distance of 50 to 70 m to the mobile crawler-type crusher with primary screen, screen and metal separator. The 630 m long and 800 mm wide towing conveyor for removal of the excavation material crushed by the jaw crusher is suspended below the heading platform. The ascending area behind the crusher can be lifted for displacement of the suspension platform. The towing conveyor drops the excavation muck onto a transfer conveyor which is towed every 330 m, simultaneously with the extension of the continuous conveyor. Cross conveyors transport the excavation muck from the eastern tubes through cross-passages to the continuous conveyors in the western tubes (Fig. 6).

Verlängerung des Streckenbandes nachgezogen wird. Quer-
bänder transportieren das Ausbruchmaterial der Oströhren
durch die Querschläge zu den Streckenbändern in den West-
röhren (Bild 6).

3 Vergleich der Vortriebsleistung mit und ohne hoher Mechanisierung der konventionellen Vortriebe

Der Vortrieb in der Röhre Süd-West wurde im Oktober 2010
von Beginn weg mit der hohen Mechanisierung des kon-
ventionellen Vortriebes aufgenommen. Die Röhre Süd-Ost
wurde für kurze Zeit mit der Felssicherungskategorie ST-SVP2
vorgetrieben; danach wurde die geologische Störzone des
Giumello durchfahren. In dieser Röhre wurde die hohe Me-
chanisierung des konventionellen Vortriebes ab Januar 2011
in Betrieb genommen. Aus diesem Grund kann für die Süd-
Vortriebe kein direkter Vergleich zwischen den Vortriebsleis-

3 Comparison of Progress Rates with and without high Mechanization

The south-west heading was started in October 2010 ap-
plying the high mechanization of the conventional heading
from the very beginning. In the south-east heading, rock
support ST-SVP2 was applied for a short period, before en-
tering the geologically disturbed Giumello zone. In this tube,
the high mechanization of the conventional heading was ap-
plied starting January 2011. Hence, no direct comparison of
progress rates with and without high mechanization is possi-
ble in the southern headings.

In the northern headings, the staggered commissioning of
the highly mechanized installations would have allowed
a direct comparison of the progress rates with and with-
out high mechanization of the conventional heading in
the same geological formation and with almost identical

		Nord-West / North West		Nord-Ost / North East	
		Ohne hohe Mechanisierung / Conventional	Mit hoher Mechanisierung / Highly Mechanized	Ohne hohe Mechanisierung / Conventional	Mit hoher Mechanisierung / Highly Mechanized
TM Start / TM start	[m]	662,60	1381,70	252,10	1509,40
TM Stopp / TM stop	[m]	821,30	1572,00	369,30	1695,00
Vortrieb / Heading progress	[m]	158,70	190,30	117,20	185,60
Datum Start / Date start		11/5/2011	29/10/2011	31/8/2010	28/10/2011
Datum Stopp / Date stop		9/6/2011	28/11/2011	29/9/2010	26/11/2011
Dauer / Duration	[AT] / [wd]	30	30 *)	30	30
Inbetriebnahme hohe Mechanisierung / Commissioning high mechanization			25/6/2011		4/3/2011
	[TM]		TM 894,20		TM 727,30
Felssicherungskategorie / Rock support		ST-SPV3	ST-SPV3	ST-SPV3	ST-SPV3
Durchschnittl. Vortriebsleistung / Average progress rate	[m/AT] / [m/wd]	5,29	6,34	3,91	6,19
	[%]		119,8		158,3
Anzahl Zyklen / Number of cycles	[Stck.] / [no.]	62	70	51	75
Durchschnittl. Abschlagslänge / Average blast length	[m]	2,56	2,72	2,30	2,47
Durchschnittl. Zykluszeit / Average cycle time	[h]	11,61	10,29	14,12	9,60
	[%]		88,6		68,0
Durchschnittl. Schutterzeit / Abschlag / Average mucking duration / blast	[h]	3,04	2,79	3,47	2,75
Durchschnittl. Schutterzeit / m Tunnel / Average mucking duration / m tunnel	[h]	1,19	1,03	1,51	1,11
	[%]		86,4		73,6
*) 1 Tag Unterbruch wegen Ausbruch Querschlag / 1-day interruption due to heading of cross-passage					

Tabelle 1 Vergleich der durchschnittlichen Vortriebsleistungen mit und ohne hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes in den Röhren Nord-Ost und Nord-West

Table 1 Comparison between Progress Rates with and without high Mechanization of the conventional Heading in the North-East and North-West Tubes

tungen mit und ohne hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes aufgestellt werden.

Die gestaffelte Inbetriebnahme der hochmechanisierten Installationen in den Nord-Vortrieben hätte einen direkten Vergleich der Vortriebsleistungen mit und ohne hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes unter gleichen geologischen Bedingungen und beinahe gleichem Abstand von der Kaverne CAOP erlaubt. Dennoch, die wechselnden Felssicherungsklassen erlauben keine statistisch aussagekräftige Auswertung der Daten für die relevante Felssicherungsklasse ST-SPV3.

Schliesslich konnten für den erwähnten Vergleich die aufeinanderfolgenden 30 Tage Felssicherungsklasse ST-SPV3 mit der höchsten durchschnittlichen Vortriebsleistung in den bisher aufgefahrenen Strecken identifiziert werden. Bild 7 zeigt die betrachteten Abschnitte in den Vortrieben Nord-Ost und Nord-West, mit (in Rot) bzw. ohne (in Blau) hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes.

Untersucht wurden durchschnittliche Vortriebsleistung, durchschnittliche Zykluszeit und durchschnittliche Schutterzeit. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen.

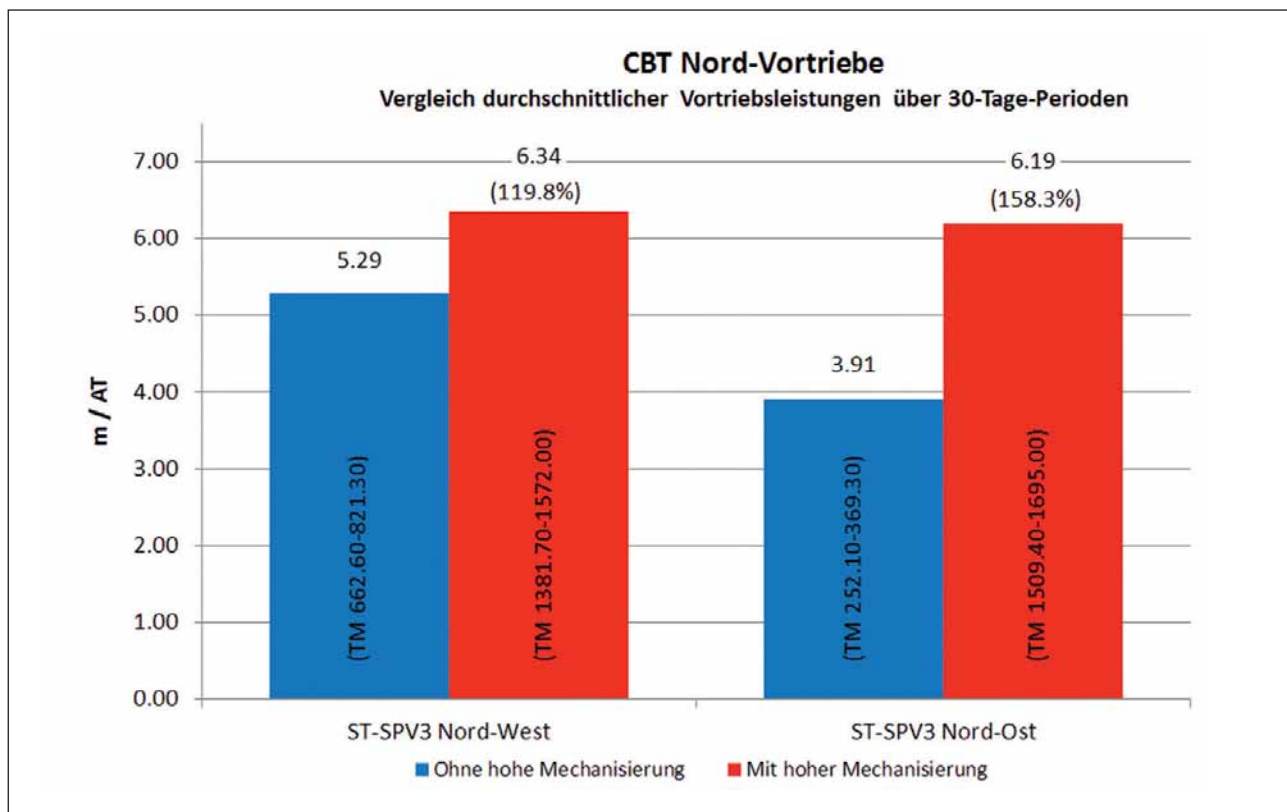
Die durchschnittliche Vortriebsleistung im betrachteten Abschnitt der Nord-Ost Röhre ohne hohe Mechanisierung des

distance from the cavern CAOP. However, the changing rock support do not allow for a statistically meaningful interpretation of the data in the most relevant rock support ST-SPV3.

For the mentioned comparison, the authors finally selected the 30-day periods with consecutive application of rock support ST-SPV3 providing the best average progress rates along the headings driven to date. Fig. 7 depicts the considered sections for the headings north-east and north-west, with (in red) and without (in blue) high mechanization of the conventional heading, respectively.

Average progress rate, average cycle time, and average mucking time were investigated. The findings are summarized in Table 1.

The average progress rate without high mechanization of the conventional heading in the considered section of the north-east tube amounted to 3.91 m per working day (Fig. 8). The very early phase of the construction site has to be accounted for, as the teams had not yet completed their learning curve. The average progress rate in the section considered with high mechanization of the conventional heading increased to 6.19 m per working day, or 58.3 % compared to the average progress rate without high mechanization of the conventional heading.



8 Vergleich effektiver durchschnittlicher Vortriebsleistungen unter Einsatz der Felssicherungsklasse ST-SPV3 in den Nord-Vortrieben, mit bzw. ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes, für selektierte 30-Tage-Perioden
Comparison of effective average progress rates with ST-SPV3 rock support in the northern headings, with and without high mechanization of the conventional heading for selected 30 days

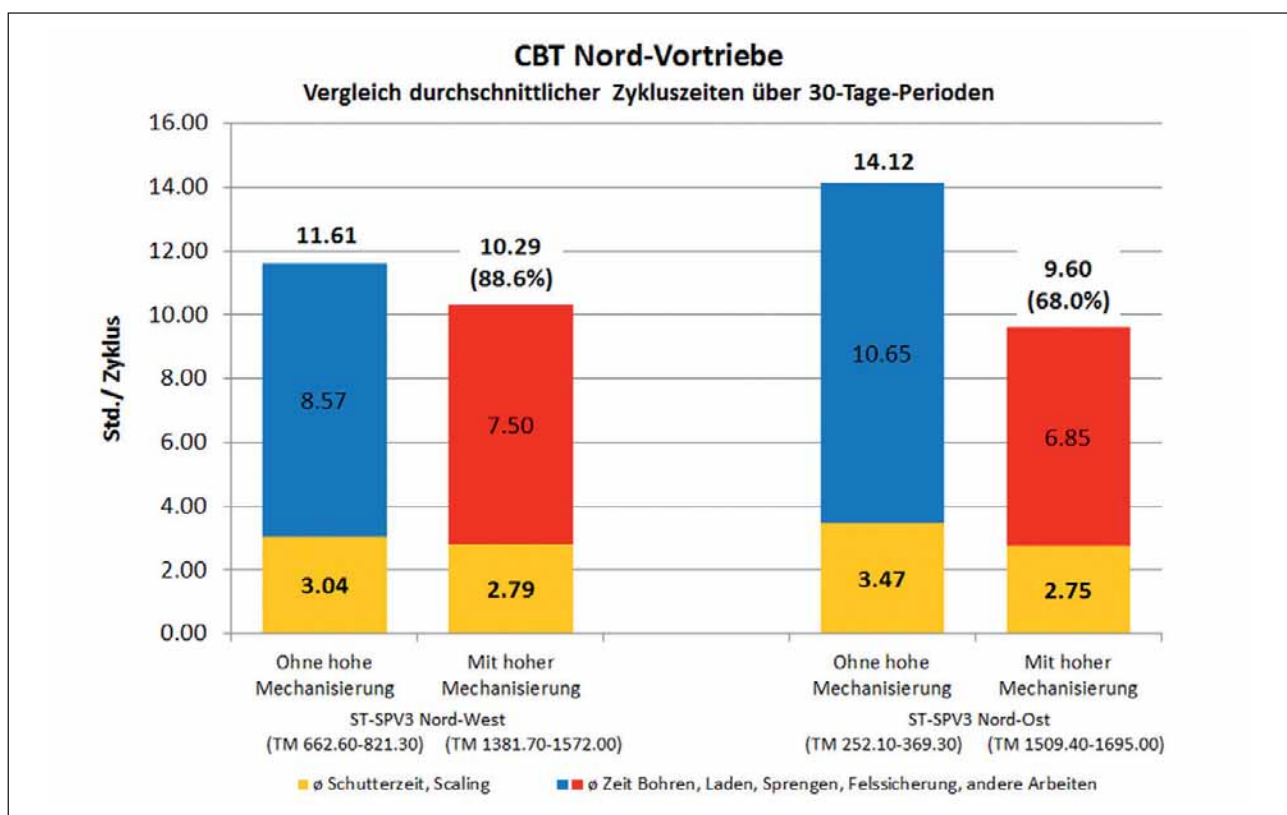
konventionellen Vortriebes betrug 3,91 m pro Arbeitstag (Bild 8). Es soll dabei berücksichtigt werden, dass die Baustelle zu jener Zeit erst seit kurzem den Vortrieb aufgenommen hatte. Die Mannschaften standen noch mitten in der Lernkurve. Die durchschnittliche Vortriebsleistung im betrachteten Abschnitt der Nord-Ost Röhre mit hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes erhöhte sich auf 6,19 m pro Arbeitstag. Dies entspricht einer Zunahme von 58,3 %. Der Vergleich in der Nord-West Röhre ist nicht von der Lernkurve beeinflusst und zeigt eine durchschnittliche Vortriebsleistung ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes von 5,29 m pro Arbeitstag verglichen mit einer durchschnittlichen Vortriebsleistung von 6,34 m pro Arbeitstag für den Abschnitt mit hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes. Die relative Verbesserung der Vortriebsleistung beträgt 19,8 %.

Bild 9 zeigt die durchschnittlichen Zykluszeiten für die erwähnten Abschnitte, ermittelt als Quotient aus der 30-Tage-Periode und der Anzahl Abschläge. In der Nord-Ost Röhre betrug die durchschnittliche Zykluszeit 14,12 Stunden in der Anfangsphase der Baustelle ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes und 9,60 Stunden (oder 68 %) für den Abschnitt mit hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes. In der Nord-West Röhre zeigt der Vergleich eine Reduktion von 11,61 Stunden auf 10,29 Stunden (oder 88,6 %).

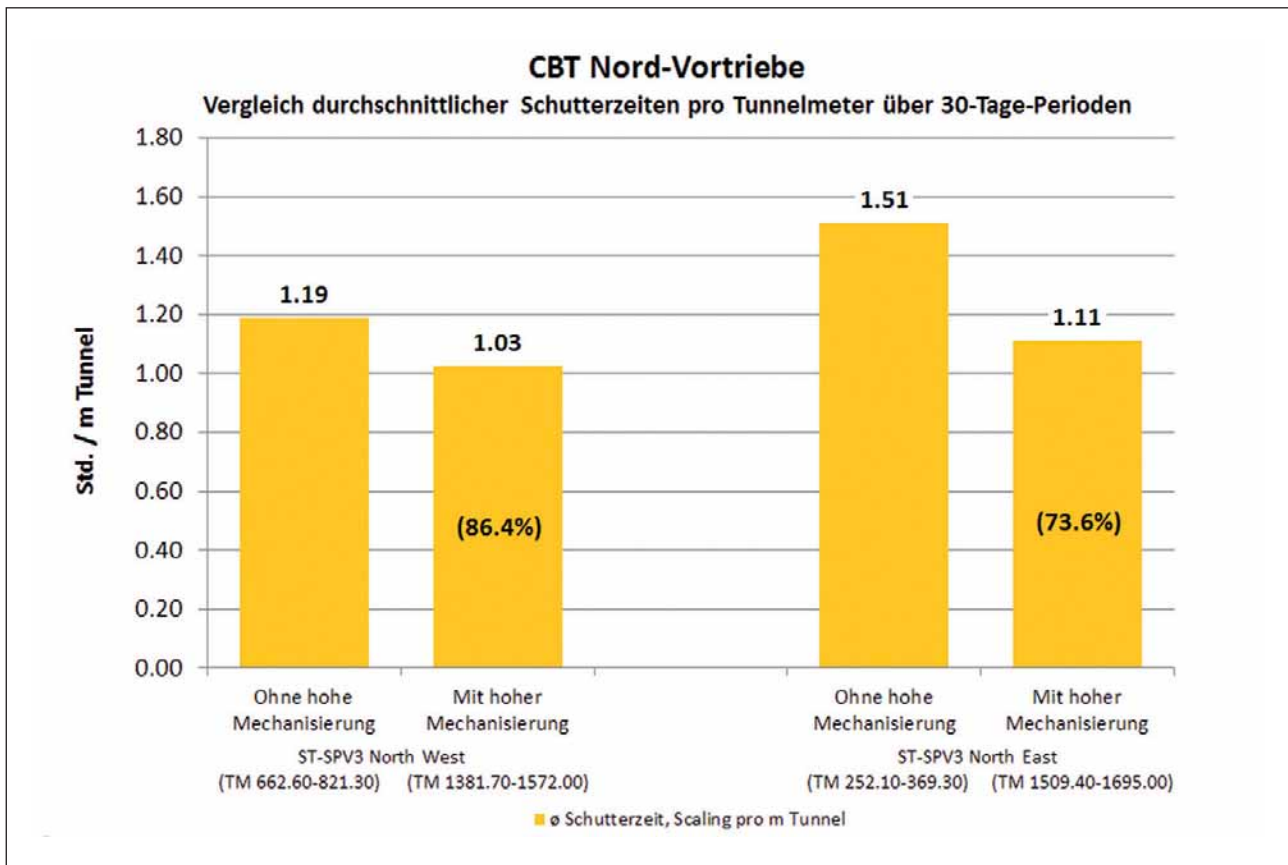
The comparison in the north-west tube was not affected by the learning curve and shows an average progress rate of 5.29 m per working day without high mechanization of the conventional heading and 6.34 m per working day with high mechanization of the conventional heading. This corresponds to an increase of 19.8 %.

Fig. 9 illustrates the average cycle times for the mentioned sections, computed by dividing the 30-day period by the corresponding number of blasts. In the north-east tube the average cycle time was 14.12 hours in the early phase of construction without high mechanization of the conventional heading and 9.60 hours (or 68 %) for the observed section with high mechanization of the conventional heading. In the north-west tube, the comparison shows a reduction from 11.61 to 10.29 hours (or 88.6 %).

Particular attention was paid to the duration of the mucking phase (in yellow, Fig. 9). Due to the different average blast lengths, the average duration per meter of excavated tunnel seems to be more meaningful. Fig. 10 shows a considerable reduction in the north-east tube from 1.51 to 1.11 hours (73.6 %). In the north-west tube, the average mucking time evolved from 1.19 hours per meter of excavated tunnel without high mechanization of the conventional heading to 1.03 hours (86.4 %) with high mechanization of the conventional heading. These findings are proportionally in line with the



9 Vergleich durchschnittlicher Zykluszeiten unter Einsatz der Felssicherungsklasse ST-SPV3 in den Nord-Vortrieben, mit bzw. ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes, für selektierte 30-Tage-Perioden
Comparison of average cycle times with ST-SPV3 rock support in the northern headings, with and without high mechanization of the conventional heading for selected 30 days



10 Vergleich durchschnittlicher Schutterzeiten pro Tunnelmeter unter Einsatz der Felssicherungskategorie ST-SPV3 in den Nord-Vortrieben, mit bzw. ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes, für selektierte 30-Tage-Perioden
Comparison of average mucking times per meter tunnel, with ST-SPV3 rock support in the northern headings, with and without high mechanization of the conventional heading for selected 30 days

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Schutterzeit gewidmet (Gelb, Bild 9). Die durchschnittliche Schutterzeit pro Tunnelmeter scheint aufgrund der unterschiedlichen Abschlagslängen eine sinnvollere Vergleichsgrösse zu sein. Bild 10 zeigt eine beträchtliche Reduktion in der Nord-Ost Röhre von 1,51 Stunden auf 1,11 Stunden (73,6 %). In der Nord-West Röhre reduzierte sich die durchschnittliche Schutterzeit von 1,19 Stunden pro Tunnelmeter ohne hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes auf 1,03 Stunden (86,4 %) mit hoher Mechanisierung des konventionellen Vortriebes. Diese Ergebnisse sind proportional zur Reduktion der durchschnittlichen Zykluszeit. Unter Berücksichtigung des zunehmenden Abstands der Ortsbrust von der Kaverne CAOP würde die Reduktion der Schutterzeit durch Einsatz der hohen Mechanisierung im Vergleich zur Schutterzeit mittels Dumpfern noch wesentlich grösser ausfallen.

4 Schlusswort

Von den rund 40 km Einspurröhren, Kavernen, Querschlägen und Stollen, die für den Ceneri-Basistunnel gesamthaft ausgebrochen werden müssen, waren bei Redaktionsschluss knapp 60 % ausgeführt.

Obwohl die hohe Mechanisierung des konventionellen Vortriebes insbesondere für die leichteren Felssicherungs-

reduction of the average cycle duration. Accounting for the increased distance of the headings from the cavern CAOP, the reduction in average mucking time applying high mechanization of the conventional heading compared to mucking by trucks would be even larger.

4 Conclusions

Out of the altogether approx. 40 km of single-track tubes, cross-passages and tunnels which have to be excavated for the Ceneri Base Tunnel, almost 60 % was completed at copy deadline.

Even though conceived with particular attention to the lighter rock supports, the high mechanization of the conventional headings showed so far a good performance even in the heavier rock supports. A clear reduction in average mucking time could be achieved. At the same time, in the considered period, the teams substantially increased their performance for the remaining working phases. The rationalization of work flows introduced by the high mechanization of the conventional heading surely favours this productivity increase. In addition, all persons involved profit from better work conditions and increased work safety.

klassen konzipiert wurde, konnten auch in den schwereren Felssicherungsklassen überdurchschnittliche Vortriebsleistungen erzielt werden. Es konnte eine deutliche Reduktion der durchschnittlichen Schutterzeit erreicht werden. Gleichzeitig haben die Vortriebsmannschaften ihre Leistung in den restlichen Arbeitsphasen ebenso deutlich steigern können. Die Rationalisierung der Arbeitsabläufe durch die hohe Mechanisierung unterstützt zweifelsohne diese Produktivitätssteigerung. Des Weiteren profitieren alle Beteiligten von Arbeitsplätzen mit einem hohen Arbeitssicherheitsstandard.

Literatur/References

- [1] Rossi, D.: Ceneri-Basistunnel. tunnel 4/2010 (Juni 2010), S. 47-52
- [2] AlpTransit Gotthard AG (Hrsg.): AlpTransit Gotthard – Neue Verkehrswege durch das Herz der Schweiz (2012)
- [3] Drack, E.: Ceneri-Basistunnel – Projektierung und Ausschreibung des Tunnel-Hauptlozes. tunnel 4/2009 (Juni 2009), S. 58-63
- [4] Alptransit Gotthard AG (Hrsg.): Das Jahrhundertbauwerk entsteht. Gotthard-Basistunnel – der längste Tunnel der Welt. 1. Auflage. Bern: Stämpfli Verlag AG (2010)
- [5] Belloli, A., Jenni, H.: Hohe Mechanisierung für die konventionellen Hauptvortriebe des Ceneri-Basistunnels. tunnel 4/2011 (Juni 2011), S. 48-54

SWISS TUNNEL COLLOQUIUM 2013

Wahl der Tunnelbaumethode

Choice of Tunnelling Method

4. Juni 2013



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

*Georg Anagnostou, Prof. Dr., Institut für Geotechnik, ETH Hönggerberg, Zürich/CH
François Bertholet, Dipl. Bauing. HTL, Marti Tunnelbau AG, Moosseedorf/CH*

Einführung

Wahl der Tunnelbaumethode

Introduction

Choice of Tunnelling Method

Bei der Wahl der Baumethode geht es um Fragen wie maschineller oder konventioneller Vortrieb, Ausbruchmethode (Vollausbruch oder Art des Teilausbruchs), Maschinentyp (z.B. Erddruck- oder Flüssigkeitsschild) oder Art der Bauhilfsmassnahmen (wie z.B. Gefrieren oder Injizieren, Rohrschirm oder Jet Grouting).

Bei der Evaluation der Baumethoden müssen in der Regel eine Reihe von Aspekten und zum Teil widersprechende Kriterien beachtet werden: Geologie, Geotechnik, Ausführungstechnik, Umwelt, Materialbewirtschaftung, Logistik, Risikobereitschaft und Risikoallokation, etc. – all dies sind Gesichtspunkte, die projektphasenweise eine grössere oder kleinere Rolle bei der Wahl der Baumethode spielen können. Letztere stellt daher oft eine komplexe und anspruchsvolle Angelegenheit dar, die grosse Auswirkungen auf die Bauzeit und die Baukosten eines Projekts sowie auf dessen Bewilligung, Ausschreibung und vertragliche Ausgestaltung haben kann. Es handelt sich um eine Frage, mit welcher sich alle Projektbeteiligten – Bauherr, Projektierer, Unternehmer – aus teilweise unterschiedlichen Perspektiven in der Projektierungsphase, in der Ausschreibungs- und Vergabephase und seltener sogar während der Ausführung auseinandersetzen.

Im diesjährigen Swiss Tunnel Colloquium werden anhand von Fallstudien, die ein breites Spektrum tunnelbautechnischer Bedingungen abdecken, wichtige, in die Wahl der Baumethode einflussende Gesichtspunkte besprochen.

In choosing the construction method, issues relating to a mechanised or conventional drive, excavation method (full-face or type of part-excavation), type of machine (e.g. earth pressure or fluid shield) or nature of the ancillary measures (e.g. freezing or grouting, pipe umbrella or jet grouting) are at stake.

Generally speaking a series of aspects and in part contradictory criteria have to be observed for evaluating the construction methods: geotechnics, execution technology, environment, material management, logistics, willingness to take risks and risk allocation, etc. – all these are aspects that can play a part in selecting the construction method to a greater or lesser extent in the course of the project. The latter thus constitutes a complex and sophisticated issue, which can exert a great influence on the construction time and construction costs for a project as well as its approval, the tendering phase and the contractual set-up. It relates to the question with which all those involved – client, planners, contractors – out of partly different perspectives must concern themselves during the planning phase, the tendering and commissioning phases and even although more seldom during execution.

At this year's Swiss Tunnel Colloquium important aspects contributing to the choice of construction method will be discussed based on case studies, which cover a wide range of technical conditions relating to tunnelling.

Introduction

Choix de la méthode de construction des tunnels

Introduzione

Scelta del metodo di costruzione per gallerie

Le choix de la méthode de construction génère des questions comme celle de l'excavation, tunnelier ou conventionnelle, de la méthode de creusement (pleine section ou abattage par sections divisées), type de tunnelier (pression de terre ou pression liquide) ou mesures auxiliaires de construction (p.ex. congélation du terrain ou injection, voûte parapluis ou jet grouting).

En règle générale, l'évaluation des méthodes de construction doit tenir compte d'un ensemble d'aspects et de critères parfois contradictoires: géologie, géotechnique, technique de réalisation, environnement, gestion des matériaux, logistique, tolérance au risque et répartition des risques, etc. – tous des aspects qui, en fonction de la phase du projet, peuvent jouer un rôle plus ou moins important dans le choix de la méthode de construction. Celle-ci constitue donc souvent une affaire complexe et difficile qui peut avoir des impacts importants sur la durée des travaux et les coûts de construction d'un projet, ainsi que sur son autorisation, sur la soumission et sur la configuration des contrats. C'est une question à laquelle sont confrontées toutes les instances impliquées dans le projet (maîtres d'ouvrage, concepteurs de projets, entrepreneurs) sous des angles parfois différents, dans la phase de la mise à l'étude du projet, celle de la soumission et de l'adjudication et même, plus rarement, pendant la réalisation.

Cette année, le Swiss Tunnel Colloquium abordera des aspects importants dans le choix de la méthode, en s'appuyant sur des études de cas qui couvriront un large éventail de conditions techniques parmi celles posées par la construction des tunnels.

La scelta del metodo di costruzione riguarda temi quali la decisione se usare un avanzamento tradizionale o piuttosto meccanico, la metodologia di scavo (a sezione piena o a sezione parziale), il tipo di macchina (ad esempio scudata a pressione di terra o a contropressione) oppure i provvedimenti preventivi di stabilizzazione (come ad esempio congelamento o iniezione, infilaggi o jet-grouting).

In generale, per la valutazione delle metodologie di costruzione devono essere considerati molti aspetti e criteri in parte contraddittori: geologia, geotecnica, tecnica di esecuzione, ambiente, approvvigionamento dei materiali, logistica, propensione al rischio ed allocazione dei rischi, ecc. – sono tutti aspetti che nelle diverse fasi del progetto possono assumere un ruolo più o meno importante per la scelta del metodo di costruzione. Questa scelta rappresenta quindi spesso un processo complesso ed impegnativo che può avere notevoli effetti sui tempi e sui costi di un progetto come anche sull'autorizzazione, sul bando di gara e sui contenuti dei contratti. Si tratta di una questione di cui tutte le parti coinvolte nel progetto – committente, progettisti, imprese – si occupano con punti di vista in parte diversi durante la fase di progettazione, di gara e di aggiudicazione e a volte perfino durante l'esecuzione.

Lo Swiss Tunnel Colloquium di quest'anno discuterà aspetti importanti per la scelta del metodo di costruzione, presentando una serie di casistiche che coprono un ampio spettro di condizioni tecnico-costruttive delle gallerie.

Paul Meili, dipl. Bauingenieur ETH, Chef Nationalstrassenbau Kanton Zürich a.D., Schönenberg ZH/CH

Westumfahrung Zürich

Uetlibergtunnel

Der Uetlibergtunnel ist eines der markanteren Tunnelbauwerke, welches zu Beginn des zweiten Jahrtausends erstellt wurde. Die Querschnittsfläche übertraf alles bisherige. Auf einer relativ kurzen Vortriebsstrecke forderten 4 Gesteinswechsel die Tunnelbauer. Die Wahl des Vortriebsverfahrens löste Diskussionen aus. Mit einer zeitlichen Distanz wird nachfolgend zurückgeblendet.

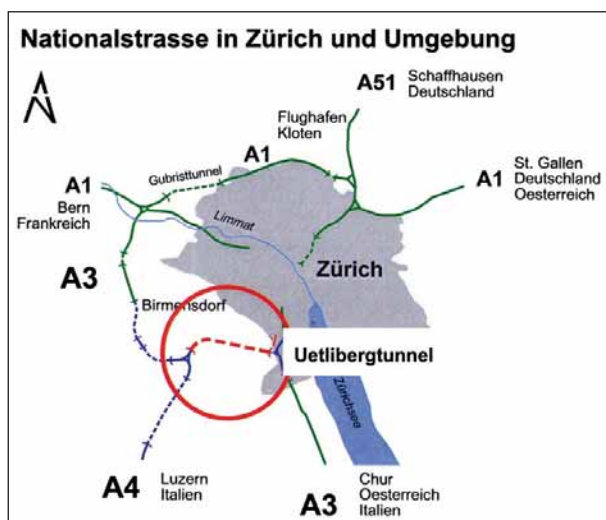
Zurich West Bypass

Uetliberg Tunnel

The Uetliberg Tunnel is one of the most striking structures built at the start of the second millennium. The cross-sectional area exceeded all previous ones. 4 changes in the rock sequence challenged the tunnellers over a relatively short distance. The choice of driving methods triggered off discussions. Now that time has elapsed an opportunity to look back presents itself.

Die Westumfahrung Zürich entlastet die Stadt Zürich in Form einer Hochleistungs-Strasse (HLS) vom Durchgangsverkehr. Das Hauptbauwerk dieses Nationalstrassen-Abschnittes ist der Tunnel durch den Etten- und Uetliberg, den Zürcher Hausberg. Der Tunnel durchfährt in 2 Röhren mit Längen von 4400 m und einer Steigung von 1,6 % die beiden Hügelzüge südwestlich von Zürich von Osten nach Westen. Die Querschnittsfläche des ausgebrochenen Tunnels wies für damalige Begriffe beträchtliche 148 bis 160 m² auf. Sie beherbergt 2 Fahrstreifen und einen durchgehenden Pannenstreifen. Die beiden Tunnelröhren sind alle 300 m mit einem begehbaren sowie alle 900 m mit einem befahrbaren Querstollen verbunden. An beiden Tunnelenden sowie zwi-

The Zurich West Bypass relieves the City of Zurich from through traffic in the form of a high-capacity road (HLS). The main structure on this section of national highway is the tunnel through the Etten and Uetliberg, Zurich's local mountain. The tunnel passes through the 2 ranges of hills from east to west south-west of Zurich in 2 bores, each 4,400 m long with a 1.6 % gradient. The cross-sectional area of the excavated tunnel amounting to 148 to 160 m² was considerable at the time. It contains 2 driving lanes and a continuous hard shoulder. The 2 tunnel bores are connected every 300 m by a cross-passage suitable for pedestrians and every 900 m by one for vehicles. The buildings housing the electromechanical installations such as lighting, ventilation and traffic control are sited at the ends of the tunnel and between the 2 ranges of hills that are passed through. It cost some 1,100 million CHF to produce the Uetliberg Tunnel (Fig. 1+2).



1 Übersichtssituation
General situation

1 Geology

The Uetliberg Tunnel passes through the Uetliberg and the considerably smaller Ettenberg from east to west. The tunnel largely runs through Upper Fresh Water Molasse rock consisting of marls, siltstones and sandstones as interbedded strata. The tunnel penetrates the valley fills comprising glacial moraine deposits and post-glacial slope loam in the area of the deep valleys cut deeply between the mountain ranges. The maximum overburden height amounts to 320 m (Fig. 3).

1.1 Rock Sections

The Upper Fresh Water Molasse sandstones, silts and marls as irregular interbedded strata result from former flood plains

Contournement ouest de Zurich

Tunnel d'Uetliberg

Le tunnel d'Uetliberg est l'un des ouvrages souterrains très marquants qui ont été construits au début du deuxième millénaire. La section dépassait tout ce que l'on avait connu jusqu'à. Sur un tronçon relativement court, les constructeurs du tunnel ont été confrontés à 4 types de roches différents. Le choix de la méthode d'excavation déclencha des discussions. L'article rétrospectif suivant y revient avec le recul du temps.

Circonvallazione occidentale di Zurigo

Galleria dell'Uetliberg

La Galleria dell'Uetliberg è una delle costruzioni di gallerie più impegnative, realizzata all'inizio del secondo millennio. La sezione scavata è senza precedenti. Su un tratto di avanzamento relativamente corto i costruttori sono stati sfidati da 4 cambi della tipologia di roccia. La scelta del metodo di avanzamento ha suscitato discussioni. A distanza di tempo facciamo una retrospettiva.

schen den beiden durchfahrenen Hügeln befinden sich die Bauwerke mit den elektromechanischen Installationen wie Beleuchtung, Lüftung und Verkehrsregelung. Die Erstellungskosten des Uetlibergtunnels betragen rund 1100 Mio. CHF (Bild 1, 2).

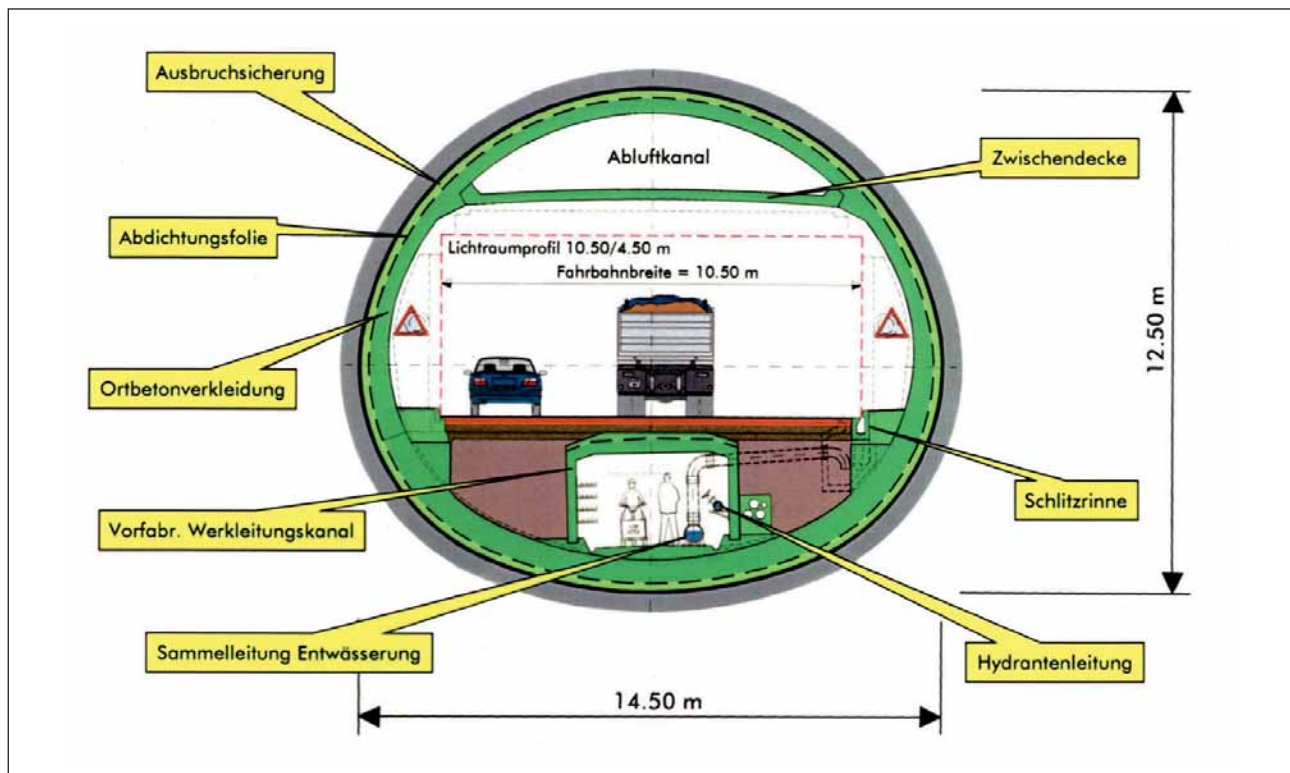
1 Geologie

Der Uetlibergtunnel durchquert von Osten nach Westen den Uetliberg und den wesentlich schwächeren Ettenberg. Der Tunnel verläuft überwiegend im Fels der Oberen Süsswassermolasse bestehend aus Mergeln, Siltsteinen und Sandsteinen in Wechsellagerung. Im Bereich der tief eingeschnittenen Täler zwischen den Hügeln durchstösst der

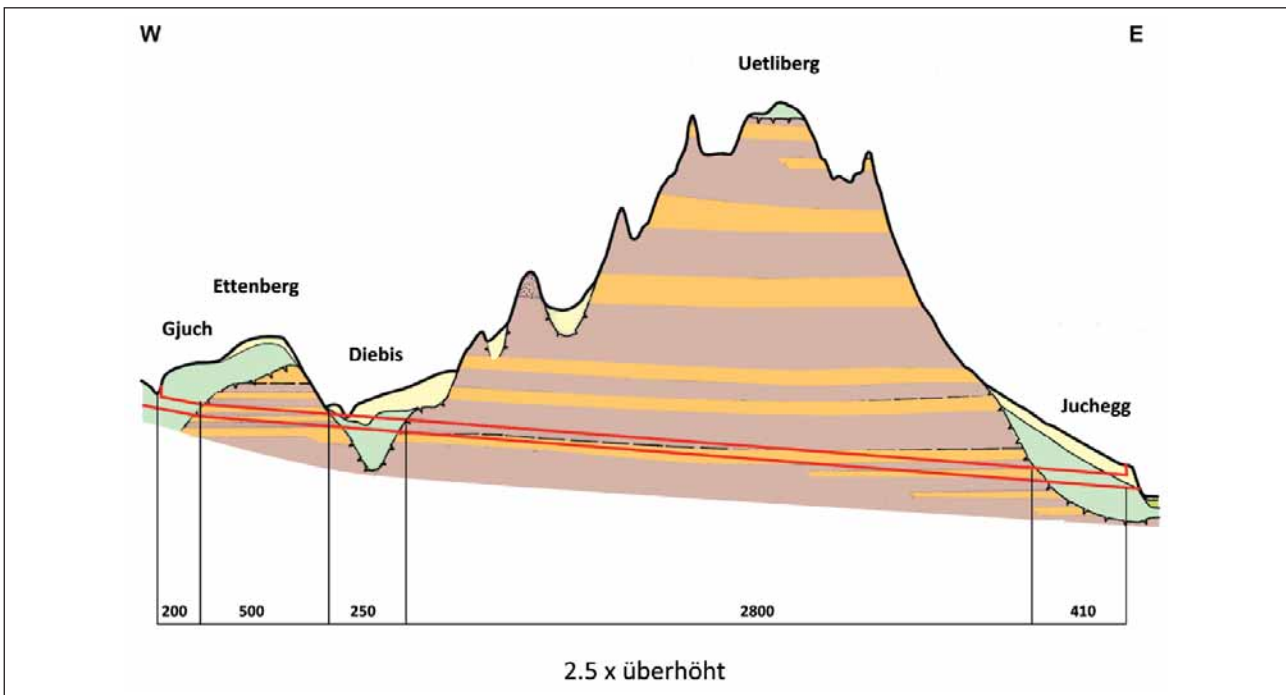
and lakes. The sandstones are mostly fine rather than coarse grained. All the molasse layers contain thin, bituminous or coaly levels as well as 2 roughly 30 cm thick layers comprising Sweet Water Limestones (bituminous limestones), which form regional marker levels. Generally the layers dip at a small angle towards the south-east in the area of the tunnel. Their thickness amounts to 1 m at the most. In some cases pronounced fissuring is present parallel to the valley flanks involving fissures of up to 30 cm, which are filled with fine sand or water (Fig. 4).

1.2 Soft Ground Sections

Washed slope loam lies in the proximity of the tunnel in the Diebis and Juchegg (Fig. 3) soft ground sections, in Juchegg



2 Normalprofil Uetlibergtunnel
Standard profile of Uetliberg Tunnel



3 Geologischer Längsschnitt
Geological longitudinal section

Tunnel die Talauffüllungen, bestehend aus eiszeitlichen Moräneablagerungen und nacheiszeitlich abgelagertem Gehängelehm. Die maximale Überlagerungshöhe beträgt 320 m (Bild 3).

1.1 Felsstrecken

Die Sandsteine, Siltsteine und Mergel der Oberen Süswwassermolasse in unregelmässiger Wechsellagerung sind Ablagerungen ehemaliger Überschwemmungsebenen und Seen, meist feinkörnige, selten grobkörnige Sandsteine. In allen Molasseschichten sind geringmächtige, bituminöse oder kohlige Horizonte sowie 2 rund 30 cm dicke Schichten aus Süswwasserkalken („Stinkkalke“), welche regionale Leit-horizonte darstellen, eingeschaltet. Die Schichten fallen im Bereich des Tunnels generell mit kleinem Winkel gegen Süd-osten ein. Ihre Mächtigkeit beträgt maximal 1 m. Zum Teil ist eine deutliche Klüftung parallel zu den Talflanken vorhanden, mit bis zu 30 cm geöffneten Klüften, welche mit Feinsand oder Wasser gefüllt sind (Bild 4).

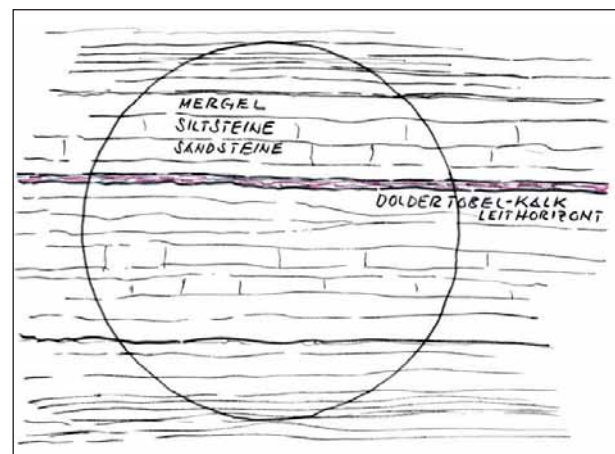
1.2 Lockergesteinsstrecken

In den Lockergesteinsstrecken Diebis und Juchegg (Bild 3) liegt im Tunnelbereich verschwemmter Gehängelehm, in Juchegg verschwemmtes Moränematerial oder Seeablagerungen, darunter Obermoräne oder Grundmoräne. Im Abschnitt Gjuch durchfährt der Tunnel den Endmoränekomplex von Wettswil, bestehend aus sehr heterogenen und wechselhaften, siltigen, sandigen und kiesigen Moräneablagerungen. Darin sind bis zu 15 % Blöcke mit Durchmessern bis zu 2 m eingestreut. In den tief liegenden Lockergesteinsabschnitten, im Bereich der Molasseoberfläche, liegen mehrere Meter mächtige, glazial aufgeschürfte Molasse-Komponenten (Bild 5, 6).

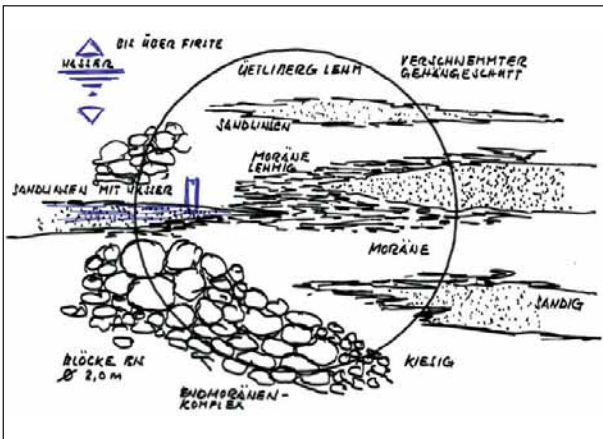
washed moraine material or marine deposits with upper moraine or basic moraine underneath. In the Gjuch section the tunnel passes through the Wettswil end moraine complex consisting of extremely heterogeneous and diverse, silty, sandy and gravelly moraine deposits. 15 % of this mass comprises boulders of up to 2 m. In the deep-lying soft ground sections close to the molasse surface there are several metre thick, glacial scraped molasse components (Fig. 5+6).

1.3 Flow of Water

In the soft ground sections, in the transition areas soft ground/molasse and in areas with shallow molasse covering with relatively many fissures, ingressing water was to be reckoned with in the driving areas in keeping with the geological prognosis. The water pressure in the soft ground sec-



4 Baugrundmodell Fels
Ground model for rock



5 Baugrundmodell Lockergestein
Ground model for soft ground

1.3 Wasserführung

In den Lockergesteinsstrecken, in den Übergangsbereichen Lockergestein/Molasse und in Strecken geringer Molasse-

tion was forecast to be 50 m water column, and 150 m in the rock section given if anything less incidence of water.

2 Dangers and Risks of different Tunneling Methods

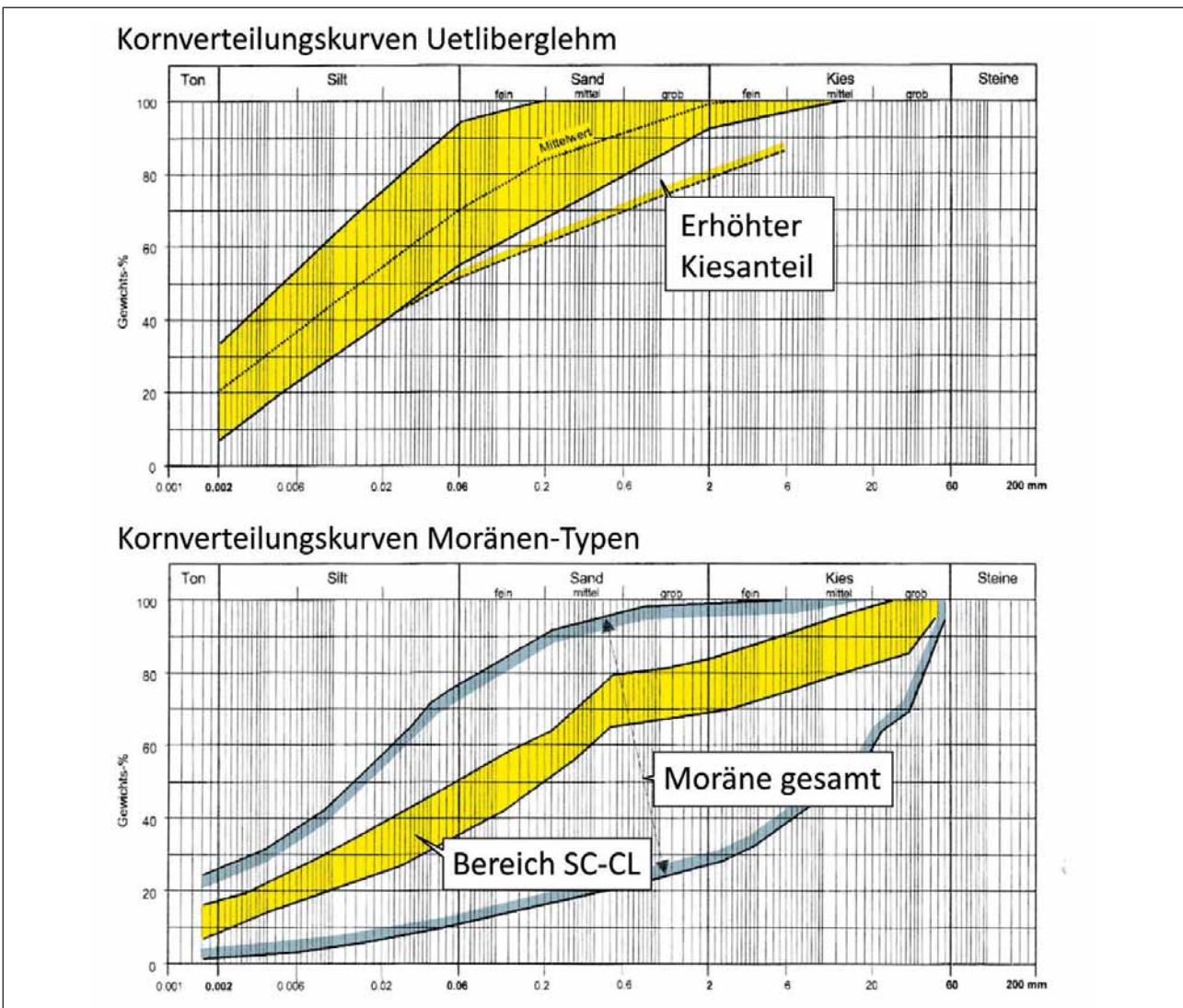
2.1 Tunneling in Rock

The following driving methods were available at the time for constructing the Uetliberg Tunnel:

- Drill & blast (SPV) largely with advance crown, then excavated bench and floor.
- Excavation of a mechanically driven pilot tunnel (TBM) then enlarging it by roadheader (TSM).
- Excavation using a tunnelling machine in shield with segmental support.

The following dangers and risks were emphasized at the time:

- Through selecting a drill & blast excavation, the substantial cross-sectional dimensions as well as the soft intermediate layers would lead to stability problems and boulders



6 Typische Siebkurven
Typical grading curves



7 Beispiel Molassefels Zürich-Thalwil: Niederbruch beim Sprengvortrieb (links) und ungesicherte Ortsbrust beim TBM-Vortrieb (rechts)
Example of molasse rock at Zurich-Thalwil: cave-in during blasting (left) and unsecured face in the TBM drive (right)

überdeckung mit relativ vielen, in Verbindung zur Oberfläche stehenden Klüften, war gemäss geologischer Prognose mit Wasserzutritten in den Vortriebsbereichen zu rechnen. Der Wasserdruck in der Lockergesteinsstrecke wurde mit 50 m Wassersäule prognostiziert, in der Felsstrecke mit 150 m bei eher geringem Wasseranfall.

2 Gefährdungen und Risiken verschiedener Vortriebsverfahren

2.1 Vortrieb im Fels

Für den Bau des Uetlibergtunnels in den Felsstrecken standen damals die folgenden Vortriebsverfahren im Vordergrund:

- Sprengvortrieb (SPV) vorwiegend mit einer vorauslaufenden Kalotte, nachträglich abgebauter Strosse und ausgebrochener Sohle.
- Ausbruch eines mechanisch aufgefahrenen Pilotstollens (TBM) und Ausweitung desselben mittels Teilschnittmaschine (TSM).
- Ausbruch mittels einer Tunnelvortriebsmaschine TVM im Schild mit Tübbingausbau.

Die folgenden Gefährdungen und Risiken wurden damals hervorgehoben:

- Bei der Wahl eines Sprengvortriebes dürften die beachtliche Querschnittdimension sowie die weichen Zwischenschichten zu Stabilitätsproblemen und Blockfall führen, insbesondere in der Tunnelfirste und in den Paramenten. Der sich im Bau befindende Bahntunnel Zürich-Thalwil bot dazu die Gelegenheit zur Besichtigung der zu erwartenden Auflockerungserscheinungen (Bild 7).

falling, especially in the tunnel roof and walls. The Zurich-Thalwil rail tunnel, which was under construction at the time provided the chance to inspect the anticipated loosening phenomena (Fig. 7).

- For the mechanised drive using a full-face TBM, the diameter of 15 m, which had never been tackled anywhere in the world up till that point (maximum 12 m) provided a headache. Contact forces, torque, face stability and a lack of opportunity to intervene (without an available pilot tunnel) were regarded as a major risk potential.
- The construction programme for a mechanised drive involving commissioning the machine, its manufacture and on-site assembly (albeit with greater driving rates as experience showed) compared to the performances of a drill & blast operation (but with lower rates of advance) applied without lengthy periods required for preparation, indicated that the planned deadline for opening the tunnel in 2010 was jeopardised.

2.2 Driving in soft Ground

Generally speaking the following danger scenarios prevailed in the soft ground:

- Confined water, namely in sand lentils, which can lead to instabilities and cave-ins at the face.
- Boulder fields (with boulder diameters of up to 2 m (according to the geological prognosis) are hard to master in the driving zone.

The following driving methods were considered for application in soft ground:

- Driving applying the freezing method was conceivable in



8 Beispiel Verklebung durch toniges Material
Example of clogging caused by clayey material

- Für den mechanischen Vortrieb mittels einer Vollschnitt-TBM bereitete der damals weltweit noch nie aufgefahrenen Durchmesser von rund 15 m (bisher maximal 12 m) Kopfzerbrechen. Anpresskräfte, Drehmoment, Ortsbruststabilität und fehlende Interventionsmöglichkeiten (ohne einen zur Verfügung stehenden Pilotstollen) wurden als grosses Risikopotential betrachtet.
- Das Bauprogramm eines mechanischen Vortriebes mit Maschinenbestellung, Maschinenherstellung und Montage vor Ort (erfahrungsgemäss dafür aber mit grossen Vortriebsleistungen), verglichen mit den Leistungen eines ohne grosse Vorbereitungszeiten angewendeten Sprengvortriebes (aber kleineren Vortriebsleistungen), liessen die Einhaltung des geplanten Eröffnungstermins für das Jahr 2010 als gefährdet erscheinen.

2.2 Vortrieb im Lockergestein

Generell standen im Lockergestein die folgenden Gefährdungsbilder im Vordergrund:

- Gespanntes Wasser, namentlich in Sandlinsen, was zu Instabilitäten und Niederbrüchen an der Ortsbrust und der Tunnelaibung führen kann.
- Blockfelder mit Blockdurchmessern von bis zu 2 m (gemäss geologischer Prognose) sind im Vortriebsbereich schwierig zu bewältigen.

Folgende Vortriebsverfahren wurden für den Einsatz im Lockergestein in Betracht gezogen:

- Falls im Tunnelabschnitt Gjuich ein Grundwasserspiegel vorhanden wäre oder sich einstellen liesse, wäre ein Vortrieb mit dem Gefrierverfahren möglich. Eine Vereisung

the Gjuich tunnel section if a groundwater table was present or could be arranged. Ground freezing as is well known is only possible with water and without a large flow speed.

- Driving the soft ground sections by the shotcreting construction method in the divided cross-section augmented by possible layers of lances appeared feasible.
- A drive protected by a pipe umbrella or a jet canopy with and without face anchors also seemed possible.

2.3 Combined Driving Method for soft Ground and Rock

Driving methods, which were able to tackle both soft ground as well as rock sections, were also contemplated:

- A mechanised drive with an open shield with and without face supporting was discussed.
- The application of a tunnelling machine (TVM) in the form of a hydro-shield, earth pressure balance (EPB) shield or mix-shield was discussed with various manufacturers.
- It had to be considered that at the time such tunnelling machines with some 15 m diameter had never been used anywhere in the world.
- The soft ground contains a substantial proportion of loamy components in some places, something which involves certain risks if a hydro-shield is involved. This applies particularly to the soil becoming clogged in the extraction area, during conveyance as well as in equipment (loading, transporting, dumping, Fig. 8), the necessity for large-scale dumping sites so that the transported excavated material can be dried, difficulties with separating and recycling the supporting components (bentonite).
- In selecting the driving method for the Uetliberg Tunnel the fact that 4 changes in the series of rock had to be

des Baugrundes ist bekannterweise nur mit Wasser und ohne grosse Fließgeschwindigkeit möglich.

- Ein Auffahren der Lockergesteinsstrecken mittels der Spritzbetonbauweise im unterteilten Profil ergänzt durch allfällige Spiesslagen erschien als machbar.
- Auch ein Vortrieb im Schutze eines Rohrschirmes oder eines Jetschirmes mit und ohne Brustanker wäre wohl möglich.

2.3 Kombinierte Vortriebsverfahren für Lockergestein und Fels

Vortriebsverfahren, mit denen sowohl die Lockergesteins- als auch die Felsstrecken aufgefahren werden können, wurden ebenfalls in Betracht gezogen:

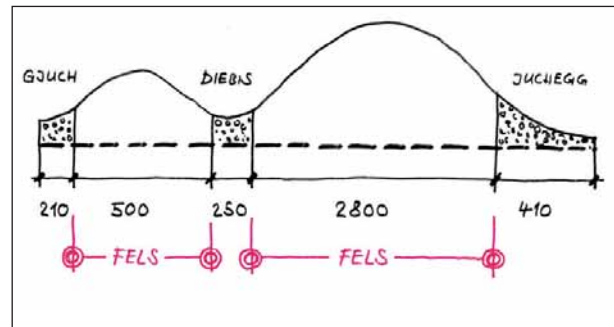
- Ein mechanischer Vortrieb mittels eines offenen Schildes mit und ohne Bruststützung wurde diskutiert.
- Der Einsatz einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) in Form eines Hydroschildes, Erddruckschildes oder Mixschildes wurde mit verschiedenen Herstellern besprochen.
- Zu bedenken war, dass damals derartige Tunnelvortriebsmaschinen mit einem Durchmesser von rund 15 m weltweit noch nie eingesetzt worden waren.
- Das Lockergestein weist zum Teil einen erheblichen Anteil an lehmigen Komponenten auf, was für das Auffahren des Hohlraumes mit einem Hydroschild mit diversen Risiken verbunden ist. Diese betreffen insbesondere das Verkleben des Bodens im Abbauraum, bei der Förderung sowie in Geräten (Aufladen, Transportieren, Abladen, Bild 8), die Notwendigkeit grossflächiger Deponieplätze zwecks Trocknung des geförderten Ausbruchmaterials, Schwierigkeiten bei der Separierung und Rückgewinnung der Stützkomponenten (Bentonit).
- Bei der Wahl des Vortriebsverfahrens für den Uetlibergtunnel war als zusätzliche Erschwernis zu beachten, dass auf einer relativ kurzen Tunnelstrecke von 4400 m 4 Gesteinswechsel zu überwinden waren: Lockergestein-Fels-Lockergestein-Fels-Lockergestein (Bild 9). Ein Hydroschild z.B. müsste viermal umgerüstet werden, was mit einem grossen Aufwand und beträchtlichen Stillstandzeiten verbunden wäre.
- Der Einsatz eines Erddruckschildes wurde als zu risikoreich betrachtet, da damals keine Erfahrungen mit Durchmessern über 10 m vorlagen. Die Risiken des Einsatzes eines Erddruckschildes mit einem Durchmesser von rund 15 m betrafen insbesondere das Aufbringen des notwendigen hohen Drehmomentes bzw. das Übertragen desselben auf die Tübbinge.

3 Anforderungen der Bauherrschaft

Das Bundesamt für Strassen ASTRA zusammen mit der Bau- und Verkehrsdepartement Kanton Zürich, Tiefbauamt, Nationalstrassen war beauftragt den Nationalstrassenabschnitt Westumfahrung Zürich zu realisieren. Der Uetlibergtunnel war Teil dieses Abschnittes. Der Auftrag ist erfüllt, wenn gleichzeitig die 3 Qualitätsziele

übercome over a relatively short tunnel section of 4,400 m represented a further difficulty: soft ground-rock-soft ground-rock-soft ground (Fig. 9). A hydro-shield e.g. had to be converted 4 times, involving major outlay and considerable standstill times.

- The application of an earth pressure balance shield was considered to be too risky, as at the time no experience was available with diameters exceeding 10 m. The risks of using an EPB shield with a diameter of roughly 15 m were in particular related to generating the required high torque and transferring this to the segments.



9 Umbau der Maschine infolge Gesteinswechsels
Converting the machine on account of change of rock

3 Demands posed by the Client

The Federal Roads Office (FEDRO/ASTRA) in conjunction with the Canton of Zurich's Building Department, Office of Civil Engineering was commissioned to accomplish the Zurich West Bypass national highway section. The Uetliberg Tunnel was part of this section. The task is fulfilled once the 3 quality targets

- construction time/overall construction programme (opening 2010),
 - total costs within the framework of the cost estimate and
 - structural quality (service life: 100 years)
- are attained.

The client's representative is responsible for designing the project. He prepares the documents for the different project phases, discusses them with the client and places the principles for making decisions at the client's disposal. The client approves the detailed project. In this way, he also chooses the construction method.

The client's arguments relating to excavation with a tunneling machine, in the form of a full-face machine, are summed up as follows:

- Designing and constructing the machine is on the construction programme's critical path. No possibilities of influencing this exist.
- With a diameter of around 15 m the largest machine ever built (1999) with EPB or fluid-supported face would have been applied. Although the technology was essentially known, the problems increase with the diameter if anything exponentially rather than linearly. No intervention

- Bauzeit/Gesamtbauprogramm (Eröffnung 2010),
- Gesamtkosten im Rahmen des Kostenvoranschlages und
- bauliche Qualität (100 Jahre Lebensdauer) erreicht werden.

Der Vertreter der Bauherrschaft ist der beauftragte Projektverfasser. Er erstellt die Unterlagen zu den verschiedenen Projektphasen, bespricht diese mit dem Bauherrn und stellt diesem die Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung. Der Bauherr genehmigt das Detailprojekt. Damit wählt er auch die Baumethode.

Die Argumente der Bauherrschaft bezüglich des Vortriebs mit einer Tunnelvortriebsmaschine, als Vollschnittmaschine ausgebildet, werden hier zusammengefasst dargestellt:

- Projektierung und Bau der Maschine ist auf dem kritischen Weg des Bauprogrammes. Es besteht keine Einflussmöglichkeit.
- Mit einem Durchmesser von rund 15 m wäre die grösste je gebaute Maschine (1999) mit Erddruck- oder Flüssigkeitsgestützter Ortsbrust zum Einsatz gekommen. Obwohl die Technologie grundsätzlich bekannt war, nehmen die Probleme mit dem Durchmesser eher exponentiell als linear zu. Eine Intervention, wie sie beim Sprengvortrieb möglich ist, fehlt hier. Zusatzmassnahmen können, mit den oben genannten Qualitätszielen vor Augen, nicht für jedes Gefährdungsbild umfassend ausgeschrieben werden bzw. durchwegs als „Sache des Unternehmers“ abgetan werden.
- Die Umfragen bei den Maschinenherstellern nach der „Machbarkeit“ einer Maschine dieser Grössenordnung war für die Bauherrschaft nicht beruhigend.

Fazit:

- Alle Beteiligten waren sich darin einig, dass eine TVM-Lösung gegenüber einem Sprengvortrieb/konventionellen Lockergesteinsvortrieb – wenn überhaupt – nur über ein geringes Sparpotential an Bauzeit und Baukosten verfügt.
- Bei einer TVM-Lösung müsste die Bauherrschaft, um – gemessen an ihrem Auftrag – die 3 Qualitätsziele zu erreichen, ein wesentlich höheres Risiko eingehen als bei der Lösung Sprengvortrieb/konventioneller Lockergesteinsvortrieb.
- Es wurde daher beschlossen, die TVM-Vollschnittlösung weder auszuschreiben noch als gültiges Angebot zuzulassen.

4 Ausschreibung des Uetlibergtunnels

Ausgeschrieben wurden

- Sprengvortrieb für die Felsstrecken
- Pilotstollen und Ausweitung mit Teilschnittmaschine in den Felsstrecken
- Spritzbetonbauweise im unterteilten Profil für die Strecken im Lockergestein

Ausgeschlossen wurde

- Tunnelvortriebsmaschine im Vollschnitt und die Teilschnittmaschine ohne Pilot

is possible in this case unlike when a drill & blast drive is involved. Additional measures cannot be accommodated at the tendering stage for every danger scenario nor can they be dismissed as “the contractor’s business” given the quality goals put forward above.

- Responses from machine manufacturers relating to the “feasibility” of a machine of this size were not exactly comforting for the client.

Summary:

- All those involved were unanimous that a solution with a tunnelling machine compared to a drill & blast drive/conventional soft ground drive – only resulted in a small potential for saving construction time and construction costs – if at all.
- In the case of a tunnelling machine solution the client would have to run a substantially higher risk in order to attain the 3 quality targets – as commissioned – than in the case of the drill & blast drive/conventional soft ground drive solution.
- It was thus decided that no tenders would be invited for the full-face solution with a tunnelling machine nor would it be admitted as a valid offer.

4 Call for Tenders for the Uetliberg Tunnel

Tenders were invited for

- Drill & blast for the rock sections
- Pilot tunnel and enlargement with roadheaders in the rock sections
- Shotcreting construction method in the divided cross-section for the soft ground sections

Precluded was

- full-face tunnelling machine and the roadheader (TSM) without pilot tunnel

5 Offers by Contractors

Table 1 summarises all the offers received. Offer No. 5 was approved.

The chosen solution for the Uetliberg rock section centred on a pilot tunnel driven by TBM, which was enlarged by a tunnel bore extender (TBE). Should problems crop up it was possible to revert to enlarging the pilot tunnel by means of drill & blast. Over a length of 700 m, the contractor selected such a drive in the form of a counter-drive in order to avoid a threatening penalty (fulfilling a deadline).

6 Contractors' Viewpoint

The contractors' representatives expressed themselves in a thoroughly positive manner about the experiences gathered from driving a tunnel using back-cutting technology for the first time anywhere in the world. The offered solution corresponded to the original positive assessment of a mechanised excavation process for the rock section. After the client

Anbieter Nr./ Bidder No.	Ausführung/ Execution	Charakterisierung (Veränderung gegenüber Amtsvorschlag)/ Characterisation (Change as against official proposal)	
		Lockergestein/ Soft ground	Molassefels/ Molasse rock
1	Amtsvorschlag/ Official proposal	angeboten/ offered	angeboten/ offered
	Unternehmervariante/ Contractor variant	Amtsvorschlag/Official proposal	Vortrieb mit einer Aufweitungsmaschine aus einem vorgängig erstellten Pilotstollen/ Drive by TBE from a previously produced pilot tunnel
2	Amtsvorschlag/ Official proposal	angeboten/ offered	angeboten/ offered
	Unternehmervariante/ Contractor variant	Kalottenvortrieb mit Seitenstollen/ Crown drive with access tunnel	SPV
3	Amtsvorschlag/ Official proposal	angeboten/ offered	angeboten/ offered
4	Amtsvorschlag/ Official proposal	angeboten/ offered	angeboten/ offered
	Unternehmervariante 1/ Contractor variant 1	Kalottenvortrieb mit Firststollen/ Crown drive with roof heading	TSM ohne Pilot *) / TSM without pilot *)
	Unternehmervariante 2/ Contractor variant 2	Kalottenvortrieb mit Firststollen/ Crown drive with roof heading	SPV
5	Amtsvorschlag/ Official proposal	angeboten/ offered	angeboten/ offered
	Unternehmervariante 1/ Contractor variant 1	Kalottenvortrieb mit teilweisem Einbau eines Rohrschirmes/ Crown drive with partial installation of pipe umbrella	SPV
	Unternehmervariante 2/ Contractor variant 2	Kalottenvortrieb mit teilweisem Einbau eines Rohrschirmes/ Crown drive with partial installation of pipe umbrella	Vortrieb mit einer Vollschnitt-TBM *) / Drive with full-face TBM *)
	Unternehmervariante 3/ Contractor variant 3	Kalottenvortrieb mit teilweisem Einbau eines Rohrschirmes/ Crown drive with partial installation of pipe umbrella	Vortrieb mit einer Aufweitungsmaschine TBE aus vorgängig erstelltem Pilotstollen/ Drive by TBE from a previously produced pilot tunnel
*) Ausschluss wegen Verstoss gegen Submissionsbedingungen Excluded owing to contravention of submission conditions		TSM Teilschnittmaschine/SPV Sprengvortrieb/TBM Tunnelbohrmaschine TSM roadheader/SPV drill & blast drive/TBM tunnel boring machine	

Tabelle 1 Eingegangene Angebote der Unternehmerkonsortien
Table 1 Offers received from the contractor consortia

5 Angebote der Unternehmer

In **Tabelle 1** sind alle eingegangenen Angebote zusammengefasst dargestellt. Das Angebot Nr. 5 erhielt den Zuschlag.

Die gewählte Lösung für die Felsstrecke Uetliberg bestand in einem mittels TBM aufgefahrenen Pilotstollen, welcher mit einer Tunnelbohrerweiterungsmaschine TBE ausgeweitet wurde. Im Falle von Problemen bestand die Rückfallebene aus einem sprengtechnischen Ausweiten des Pilotstollens. Auf einer Länge von 700 m hat der Unternehmer einen solchen Vortrieb als Gegenvortrieb gewählt, um einer drohenden Konventionalstrafe (Terminerefüllung) vorzubeugen.

refused to permit a full-face TBM to be applied, he was not able to preclude the offered variant of pilot tunnel with tunnel bore extender (TBE).

The most common advantages mentioned favouring the TBE system vis-à-vis a TBM are:

- The excavated cross-section must inevitable be circular. This results in substantial savings in cost to support the vault.
- The supporting agents could be applied very flexibly: cable anchors, friction anchors, lattice girders, reinforcing netting and shotcrete were installed directly behind the cutterhead.

6 Sicht des Unternehmers

Die Unternehmervorteile äusserten sich zu den Erfahrungen nach dem weltweit erstmaligen Auffahren eines Tunnels mit der Hinterschneidtechnik durchaus positiv. Die angebotene Lösung entsprach der ursprünglich positiven Beurteilung eines mechanischen Ausbruchvorganges für die Felsstrecke. Nachdem der Bauherr eine Vollschnitt-TBM nicht zulies, konnte er die offerierte Variante Pilotstollen mit Tunnelbohrerweiterungsmaschine nicht ausschliessen.

Die meistgenannten Vorteile des TBE-Systems gegenüber einer TBM sind:

- Der Ausbruchquerschnitt muss nicht zwingend kreisförmig sein. Daraus resultieren beträchtliche Kosteneinsparungen beim Gewölbeausbau.
- Die Sicherungsmittel waren sehr flexibel einsetzbar: Seilanker, Reibrohranker, Gitterträger, Bewehrungsnetze und Spritzbeton wurden unmittelbar hinter dem Bohrkopf eingebracht.
- Die Blockigkeit des abgebauten Materials unterscheidet sich deutlich von der bekannten „Chipsform“ der traditionellen TBM-Vortriebe. Durch die veränderte Sieblinie des Ausbruchmaterials ergeben sich neue Möglichkeiten zur Weiterverwendung.
- Durch die grössere Stückigkeit des Bohrgutes entsteht eine geringere Staubentwicklung.
- Es wirken geringere Kräfte auf das Hauptlager der Maschine.
- Der niedrigere Energieaufwand wurde positiv aufgenommen.

7 Mögliche Varianten von heute

Der im Tunnelbau erfolgte Technologiesprung macht es möglich, rückblickend festzustellen, ob heute anders entschieden werden könnte oder müsste. In **Tabelle 2** ist dies übersichtlich dargestellt.

- The blockiness of the excavated material clearly differs from the well-known “chip form” produced by traditional TBM drives. New opportunities for reuse are provided by the excavated material’s amended grading curve.
- Less dust is produced thanks to the larger size of the cuttings.
- Slighter forces act on the machine’s main bearing.
- The lower energy requirement was assessed positively.

7 Possible current Alternatives

The leap in technology that has taken place in tunnelling makes it possible to determine in hindsight whether other decisions could or would have to be taken now. This is presented lucidly in **Table 2**.

Literatur/References

- [1] Meili P.: Westumfahrung Zürich, Gesamtprojekt – eine Übersicht, „Direkt um Zürich“, A3 Westumfahrung Zürich und A4 im Knonaueramt. Baudirektion Kanton Zürich, Verlag Pöry Infra AG Zürich; ISBN 978-3-033-01890-7
- [2] Schnell O.: Uetlibergtunnel eine Übersicht, „Direkt um Zürich“, A3 Westumfahrung Zürich und A4 im Knonaueramt. Baudirektion Kanton Zürich, Verlag Pöry Infra AG Zürich; ISBN 978-3-033-01890-7
- [3] Laws S.: Geologie des Uetlibergtunnels, „Direkt um Zürich“, A3 Westumfahrung Zürich und A4 im Knonaueramt. Baudirektion Kanton Zürich, Verlag Pöry Infra AG Zürich; ISBN 978-3-033-01890-7
- [4] Amberg F.: Vergleich konventioneller Vortrieb/TBM_Vortrieb für Tunnel mit grossem Querschnitt, STUVA-Tagung 1999
- [5] Bolliger S., Murer Th.: Wettbewerbsvorteil durch innovative Unternehmervariante. ETH Symposium Tunnelbau, 17.11.2005
- [6] Maurhofer S.: Planerische Aspekte zum Vortrieb mittels Hinterschneidtechnik (TBE). ETH Symposium Tunnelbau, 17.11.2005

Fels / Rock	Lockergestein / Soft Rock	Fels + Lockergestein / Rock + Soft Rock
Pilotstollen + TSM / Pilot tunnel + TSM	Gefrierverfahren / Freezing method	Hydroschild / Hydro-shield
Pilotstollen + TBE (Hinterschneiden) / Pilot tunnel + TSM (back-cutting)	Spritzbetonbauweise mit unterteiltem Profil / Shotcreting with divided cross-section	Erddruckschild / EPB shield
TBM mit Tübbingausbau / TBM with segmental lining	Rohrschirm / Pipe umbrella	
Sprengvortrieb (Kalotte / Strosse) / Drill & blast (Crown / bench)	Jettingverfahren / Jetting method	
	Schild mit Brustklappen / Shield with face flaps	
TSM Teilschnittmaschine / SPV Sprengvortrieb / TBM Tunnelbohrmaschine TSM roadheader / SPV drill & blast drive / TBM tunnel boring machine		ausgeführt / executed
		aus heutiger Sicht machbar / possible as seen from today

Tabelle 2 Übersicht möglicher Bauverfahren aus heutiger Sicht

Table 2 Survey of possible Constructions Methods as seen from today

Philipp Häfliger, Dipl. Ing. ETH, Dipl. Wirtschaftsingenieur. STV/FH, Walo Bertschinger AG, Zürich/CH

Wahl der Vortriebsmethodik im Lockergestein

Tunnel der Umfahrung Biel Ostast

Beim Bau des Ostastes der Umfahrung von Biel werden 2 Hügelszüge mittels Tunnel durchquert. Im Längholtunnel stehen auf einer grossen Strecke stark wechselnde Lockermaterialgesteine im Grundwasser an. Infolge einer erweiterten Risikoanalyse mit detaillierten Störfallanalysen und Massnahmenplänen wurde das ursprünglich ausgeschriebene Hauptvortriebsverfahren im Lockermaterial geändert. Zur Anwendung gelangte eine EPB-Maschine mit einem Ausbruchdurchmesser von 12,60 m. Dabei konnten erfolgreich hoch durchlässige Schichten mit minimalster Überdeckung von 5 m aufgefahren werden. Die maschinellen Vortriebsarbeiten wurden im Juni 2009 aufgenommen und der vierte Tunneldurchschlag erfolgte im Februar 2012.

Choice of Driving Methods in soft Ground

Biel East Bypass Tunnel

Two ranges of mountains are penetrated by tunnels during the construction of the Biel East Bypass. Alternating soft ground rocks are present in the groundwater over a lengthy section of the Längholz Tunnel. Based on a protracted risk analysis with detailed fault analyses and action plans, the excavation method in soft ground originally cited at the tendering stage was changed. An EPB machine with 12.60 m excavated diameter was applied. In this way, highly permeable layers with a minimum overburden of 5 m were successfully driven. Mechanised driving activities commenced in June 2009 and the fourth tunnel breakthrough took place in February 2012.

1 Projektübersicht

Die Umfahrung von Biel schliesst eine der letzten Lücken im Schweizerischen Nationalstrassennetz. Dabei werden die Verbindungen Richtung Solothurn und Neuenburg (A5) gleichzeitig mit der Transjurane A16 und der T6 in Richtung Bern miteinander verbunden. Das Teilprojekt Westast befindet sich zurzeit in der Planungsphase. Das Autobahn-Bauvorhaben „Umfahrung Biel Ostast“ wird je Fahrtrichtung zweispurig erstellt und ist seit mehreren Jahren im Bau. Neben einer offenen Strecke im Bereich Orpund umfasst das Projekt 4 Tunnel durch die beiden Hügelszüge Bütenberg und Längholz (Bild 1). Als Tunnelausbau kommt eine zweischalige Konstruktion mit Regenschirmabdichtung zum Einsatz. Die 4 Tunnel wurden nacheinander mit einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) mit einem Ausbruchdurchmesser von 12,60 m maschinell aufgefahren. Mit den Bauarbeiten wurde die Arbeitsgemeinschaft Tunnel Umfahrung Biel Ostast (ATUBO), bestehend aus Walo Bertschinger AG, Porr Suisse AG und Specogna Bau AG, beauftragt.

Die Bauarbeiten des Tunnelbauloses haben im September 2007 begonnen. Der vierte maschinelle Vortrieb mit der TVM wurde im Februar 2012 abgeschlossen. Die Arbeiten an der

1 Project Overview

The Biel Bypass closes one of the final gaps in the Swiss national highway network. Towards this end, the links in the direction of Solothurn and Neuenburg (A5) are simultaneously connected with the Transjurana A16 and the T6 towards Berne. The West Bypass part-project is currently being planned. The motorway construction project “Biel East Bypass” is being produced with 2 lanes in each direction and has been in progress for a number of years. Apart from an open section in the vicinity of Orpund, the project includes 4 tunnels through the 2 Buttenberg and Längholz ranges of mountains (Fig. 1). A 2-shell structure with umbrella shield is applied for lining the tunnels. The 4 tunnels were driven by mechanised means one after the other by a tunnelling machine. The Tunnel Bypass Biel East JV (ATUBO), consisting of Walo Bertschinger AG, Porr Suisse AG and Specogna Bau AG, was commissioned to execute the construction work.

Work on the tunnel contract section began in September 2007. The fourth mechanised drive by TBM was concluded in February 2012. Work on the inner shell (invert/vault/intermediate ceiling/shoulder and road layout) is in progress and will be completed in summer 2014. The opening is scheduled for 2016.

Choix des méthodes d'avancement en terrain meuble

Tunnel du contournement de Bienne, Branche Est

La construction de la branche Est du contournement de Bienne nécessite la traversée de 2 chaînes de collines par un tunnel. Sur un grand tronçon du tunnel du Längholz, on rencontre du matériel géologique meuble très changeant dans de l'eau de la nappe phréatique. Suite à une analyse élargie des risques, avec analyses détaillées d'incidents et plans de mesures, on a changé la méthode de percement principale en terrain meuble initialement prévue dans l'appel d'offres. On a utilisé un tunnelier EPB avec un diamètre de 12,60 m et pu ainsi creuser avec succès des couches perméables avec une couverture très minime de 5 m. Les travaux d'excavation au tunnelier ont débuté en juin 2009 et la quatrième sortie de tunnel a eu lieu en février 2012.

Scelta della metodologia di avanzamento nella roccia non consolidata

Galleria della circonvallazione Bienne, ramo orientale

Per la costruzione del ramo orientale della circonvallazione di Bienne 2 colline vengono attraversate da una galleria. Nella galleria di Längholz su un lungo tratto si trovano rocce di materiale non consolidato a forte variazione nella falda. A seguito di un'analisi estesa dei rischi, compresi analisi dettagliate di incidenti e programmi d'intervento, il metodo principale di avanzamento originariamente oggetto del bando di gara è stato modificato per il materiale non consolidato. È stata utilizzata una macchina EPB con un diametro di scavo di 12,60 m, che ha permesso di scavare con successo strati a permeabilità elevata con una copertura sottilissima di soli 5 m. I lavori di avanzamento meccanico sono iniziati nel giugno 2009 e la quarta giunzione di galleria è avvenuta nel febbraio 2012.

Innenschale (Sohle/Gewölbe/Zwischendecke/Bankett- und Strassenaufbau) sind in Ausführung und werden im Sommer 2014 fertig gestellt. Die Eröffnung ist im Jahre 2016 geplant.

Die Tunnel des Büttenberg verlaufen vorwiegend im Fels; jene des Längholz werden durch 2 unterschiedliche Geologien geprägt. Der nördliche Bereich liegt im Molassefels mit einer Länge von ca. 1300 m, der südliche Bereich mit einer Länge von ca. 1050 m im Lockergestein.

Die nachfolgenden Ausführungen zur Wahl der Vortriebsmethodik sowie der Bauhilfsmassnahmen in den Querschlägen und Nischen beschränken sich auf den letztgenannten Tunnelabschnitt im Lockermaterial.

2 Geologie und Hydrologie Lockermaterialstrecke Tunnel Längholz

Die Lockergesteine des Längholztunnels weisen einen äusserst heterogenen, stark wechselhaften Aufbau auf. Es handelt sich dabei um glaziale und interglaziale Sedimente, die während bzw. vor der letzten Eiszeit (Würmzeit) abgelagert worden sind. Diese Schichten sind durch das Eis des Rhonegletschers erheblich vorbelastet worden und mehrheitlich von steifer Konsistenz bzw. hart gelagert. In den Sondierungen wurden 12 verschiedene Schichten von tonig-siltigen Kiessanden bis zu Seetonen mit ganz unterschiedlichen Zusammensetzungen gefunden. Die Lockergesteinsüberlagerung beträgt zwischen 5 und 23 m. Der Grundwasserspiegel liegt 3 bis 10 m über dem Tunnelscheitel. Die hydrologischen Verhältnisse werden im Detail als äusserst komplex

The Buttenberg tunnels mainly run through rock; those for the Längholz are characterised by 2 different geologies. The northern area is located in molasse rock and is some 1,300 m long. The southern part, which extends roughly 1,050 m, is in soft ground.

The following report on the choice of driving methods as well as the ancillary measures for construction in the cross-passages and niches concentrates on the last mentioned tunnel section in soft ground.

2 Geology and Hydrology of the Längholz Tunnel soft Ground Section

The soft grounds of the Längholz Tunnel possess an extremely heterogeneous, pronouncedly changing pattern. This relates to glacial and interglacial sediments, which were deposited during the last Ice Age (Würm period). These layers are considerably prestressed by the ice of the Rhone glacier and mainly possessing a stiff consistency or are hardened. 12 different layers of clayey-silty gravel sands extending to marine clays with quite different compositions were found during the explorations. The soft ground overburden ranged from 5 to 23 m. The groundwater level lies 3 to 10 m above the tunnel apex. The hydrographical conditions were defined as being extremely complex, i.e. the pressure conditions and permeabilities of the water-bearing layers can change very radically within a short distance. As the prognosis profile (Fig. 2) indicates the face comprises 2 or more layers. These layers are in part distinguished by extremely different characteristics. Thus e.g. in the same tunnel section,

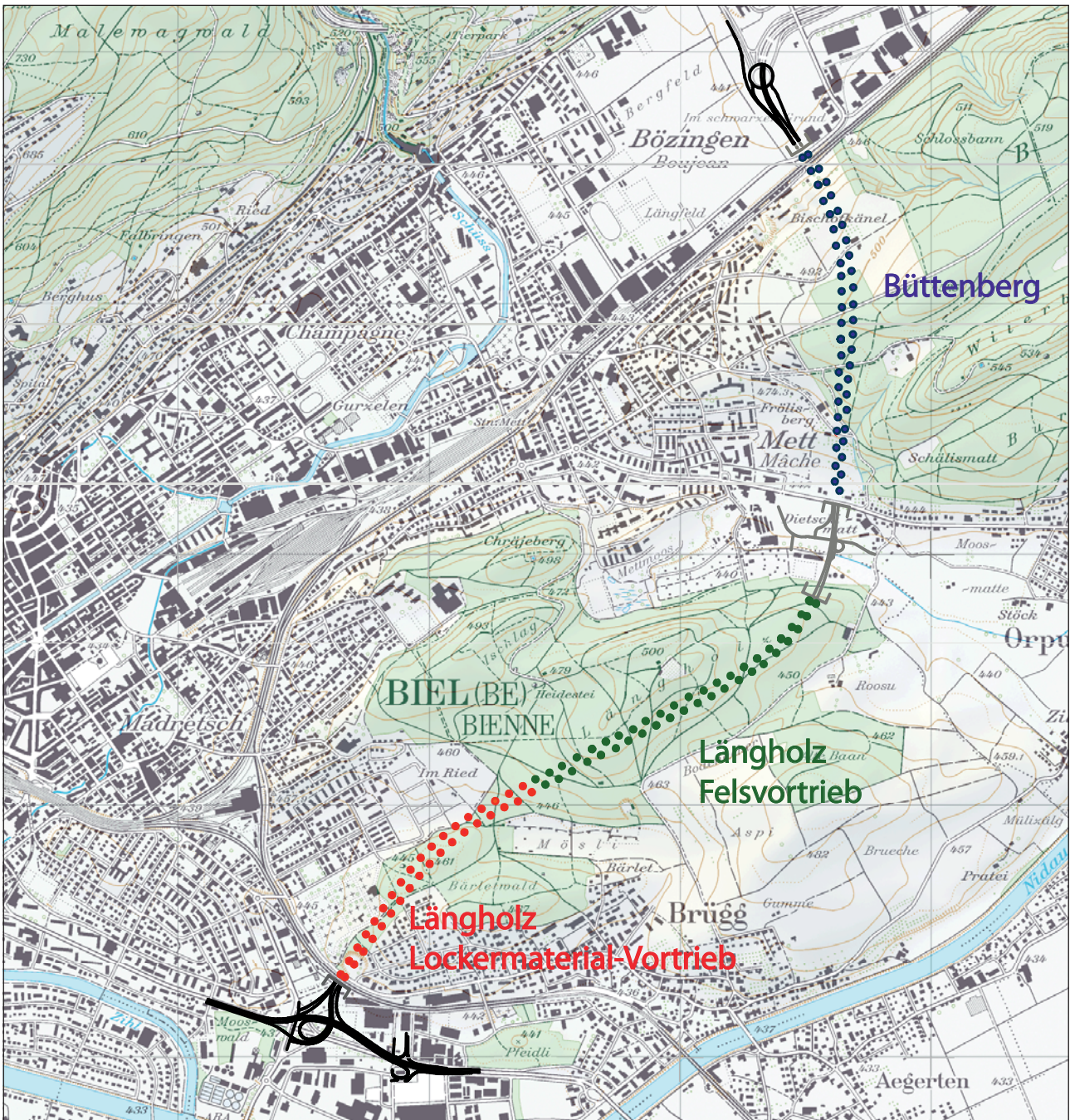
umschrieben, d.h. die Druckverhältnisse und Durchlässigkeiten der wasserführenden Schichten können innert kurzer Distanz stark wechseln. Wie aus dem Prognoseprofil (Bild 2) hervorgeht, ist die Ortsbrust durchwegs aus 2 oder mehreren Schichten aufgebaut. Diese Schichten zeichnen sich zum Teil durch sehr unterschiedliche Eigenschaften aus. So können z.B. im gleichen Tunnelquerschnitt wasserführende und nicht wasserführende oder verkittete neben breiigen, ausfliessenden Horizonten angeschnitten werden. Eine Besonderheit in Biel ist, dass die stark durchlässigen und rolligen sowie zum Ausfliessen neigenden Schichten vor allem im Kalotten- und Firstbereich anzutreffen sind.

water-bearing and non water-bearing or cemented levels in addition to pulpy, effluent ones can be encountered. A special feature in Biel is that the starkly permeable and non-cohesive as well as effluent layers are to be found mainly in the crown and roof areas.

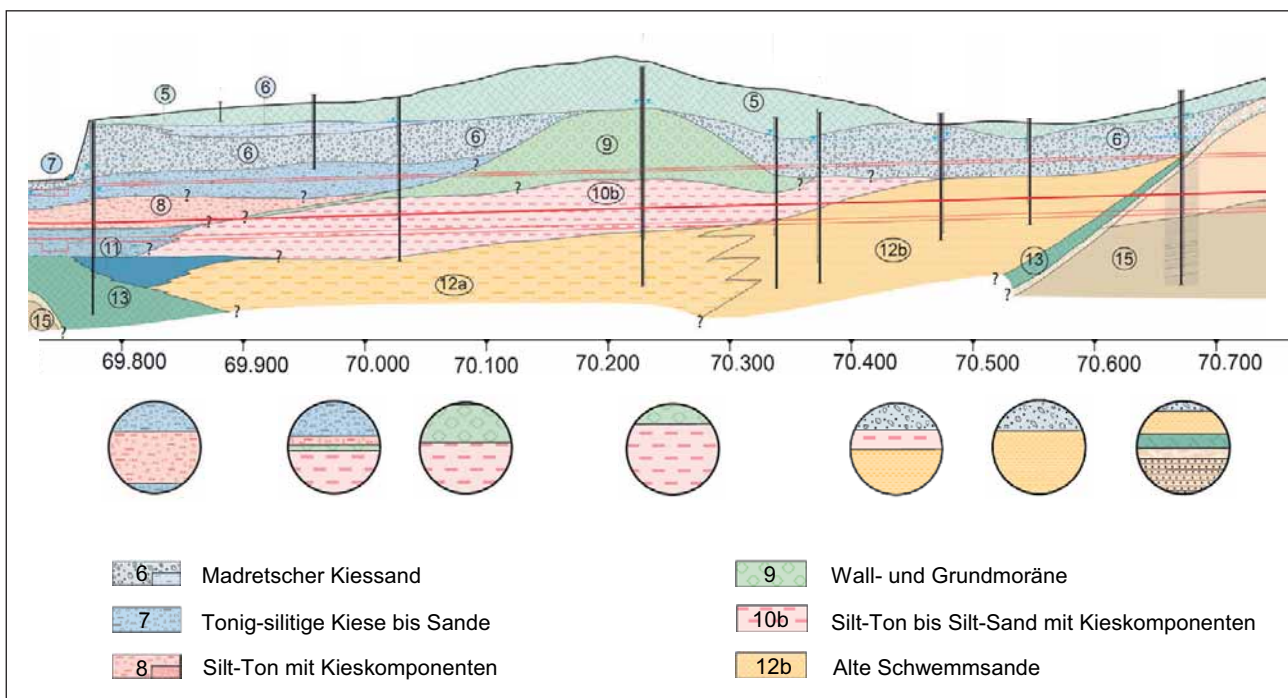
3 Driving Methods for Main Bores

3.1 Driving Methods during Tendering

The stable, generally non water-bearing rocks in the Büttenberg and Längholz rock sections were to be tackled with an open simple shield with excavation taking place



1 Übersicht des Projektes Umfahrung Biel Ostast
Overview of the Biel East Bypass project



2 Prognoseprofil Geologie Lockermaterialstrecke Längholztunnel
Prognosis profile of geology for soft ground section Längholztunnel

3 Vortriebsmethodik Haupttöhlen

3.1 Ausgeschriebene Vortriebsmethodik

Die standfesten, in der Regel nicht wasserführenden Gebirge der Felsstrecken des Bütenbergs wie auch des Längholz waren mit einem offenen Einachschild mit Abbau unter atmosphärischen Bedingungen und trockener Materialabfuhrung ausgeschrieben. Es wäre aber grundsätzlich möglich gewesen, diese im konventionellen Vortrieb aufzufahren. Massgebend für die Wahl der Vortriebsmethode waren jedoch die Lockergesteinstrecken des Längholztunnels. Eine offene Bauweise wurde im Vorfeld aus Gründen des Umweltschutzes (weitreichende Grundwasserbeeinträchtigung und grosse nötige Eingriffe in Waldzonen) bereits ausgeschlossen.

Bei der Projektierung wurden folgende Vortriebsmethoden zur Durchörterung der Lockergesteinstrecke des Längholztunnels untersucht:

- Hydroschild-TVM
- Erddruckschild-TVM
- Druckluftschild
- Konventioneller Vortrieb mit Grundwasserabsenkung und Teilquerschnitten mit Spritzbetonsicherung

Alle 4 Systeme wurden vom Bauherrn und den Projektverfassern einer Risikobewertung unterzogen und als Resultat ein Vortrieb im Lockermaterial mittels Hydroschild ausgeschrieben. Varianten beim Lockergesteinstvortrieb im Längholztunnel wurden nur zugelassen, wenn nachgewiesen werden konnte, dass dadurch das Ausführungsrisiko kleiner wird.

under atmospheric conditions and dry material conveyance. It would basically have been possible to excavate using the conventional method. However the soft ground sections of the Längholz Tunnel were the determining factor for the choice of driving method. A cut-and-cover approach was precluded from the outset for environmental protection reasons (negatively affecting the groundwater and major intervention required in forest zones).

The following driving methods were examined at the planning stage for penetrating the Längholz Tunnel soft ground sections:

- Hydro-shield TBM
- EPB TBM
- Compressed-air shield
- Conventional drive with groundwater lowering and part cross-sections with shotcrete supporting

All 4 systems were subjected to a risk assessment by the client and the project designers and as a result, a drive in soft ground using a hydro-shield was called for in the tender. Alternatives for the soft ground section in the Längholz Tunnel were only permitted providing it could be proved that the risk of execution was consequently smaller.

3.2 Principles for alternative Choice of Driving Methods

The guiding principles for the choice of an alternative driving method were determined by the client and the project designers and could essentially not be changed. The route alignment was optimised in several planning phases and took the various general conditions and restrictions in the

3.2 Grundlagen für alternative Wahl der Vortriebsverfahren

Die wesentlichen Grundlagen für die Wahl eines alternativen Vortriebsverfahrens wurden vom Bauherrn und den Projektverfassern festgelegt und konnten grundsätzlich nicht verändert werden. Die Linienführung wurde in verschiedenen Planungsphasen optimiert und berücksichtigt die vielfältigen Rahmenbedingungen und Auflagen im überbauten Gebiet. Somit legt die Linienführung wesentliche Randbedingungen für die Vortriebe fest:

- Normalprofil Tunnel
- Tunnellänge
- zu durchörternde Geologie
- Überlagerungshöhe
- Überbauung mit entsprechenden Emissionsbeschränkungen bezüglich Setzungen, Erschütterungen und Lärm
- unterirdische Hindernisse

Als wesentlichster Aspekt für die Wahl des Vortriebsverfahrens gilt die Beurteilung der Baugrundverhältnisse. Hier gilt es, die dazu am besten geeignete Verfahrenstechnik zu finden, welche die insgesamt wirtschaftlichste Lösung darstellt. In städtischen Gebieten müssen die Vortriebsmethoden gewährleisten, dass die Oberflächensetzungen unterhalb akzeptabler Grenzen bleiben. Somit ist eine kontinuierliche Stützung der Ortsbrust während des Vortriebs gefordert und die Grundwasserströmung in Richtung Ortsbrust zu verhindern. Zudem ist aus Sicht des Bauherrn die Notwendigkeit von kostspieligen und zeitintensiven Massnahmen zur Baugrundverbesserung – wie Injektionen oder Bodenvereisungen – zu reduzieren.

Sowohl in den Tabellen der SIA 198, Anhang E, wie auch in jener des DAUB sind Empfehlungen über das Einsatzgebiet der einzelnen Vortriebsmaschinentypen publiziert. Eine eindeutige Zuordnung zu einem Maschinentyp ist aufgrund der häufigen anzutreffenden Wechsel der zuvor beschriebenen Geologie nur bedingt möglich. Im Folgenden werden die beiden im Vordergrund stehenden Vortriebsverfahren erläutert.

3.3 TVM mit Flüssigkeitsstützung der Ortsbrust

Bei Vortriebsmaschinen mit Flüssigkeitsstützung wird die Ortsbrust durch eine unter Druck stehende Flüssigkeit gestützt. Die Stützflüssigkeit wirkt sowohl dem anstehenden Erddruck wie auch dem Wasserdruck entgegen. Nur in undurchlässigen, feinkörnigen Böden würde sich Wasser allein eignen. In den teilweise grobkörnigen Böden werden Flüssigkeiten mit thixotropen Eigenschaften eingesetzt, die in Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit des anstehenden Baugrunds festgelegt werden. Die Dichte beziehungsweise Viskosität der Flüssigkeit muss entsprechend der anstehenden Geologie variiert werden können. Dazu haben sich in der Praxis Bentonitsuspensionen bewährt.

Haupt Einsatzgebiete der Flüssigkeitsschilde sind grob- und gemischtkörnige Bodenarten. Der Grundwasserspiegel sollte sich mit ausreichendem Abstand oberhalb der Tunnel-

built-up area into consideration. As a result the route alignment established important general conditions for the drives:

- Tunnel standard cross-section
- Tunnel length
- Geology to be penetrated
- Overburden height
- Buildings with corresponding emission restrictions relating to settlements, vibrations and noise
- Obstacles underground

Evaluation of the ground conditions represented a considerable aspect for choosing the driving method. It was essential to come up with the most suitable process technology, which entailed the most economic solution by and large. In urban areas, the driving methods must assure that surface settlements remain below acceptable limits. As a result, continuous supporting of the face during the drive is necessary and the flow of groundwater towards the face must be prevented. In addition, seen from the client's viewpoint, the need for expensive and time-consuming measures devised to improve the ground – such as injections or ground freezing – must be reduced.

Recommendation on the fields of application of the different types of tunnelling machines are published in the SIA 198 tables, Appendix E as well as those of the DAUB (German Tunnelling Committee). On account of the frequent changes in the previously described geology, it is difficult to allocate a particular type of machine. The 2 driving methods selected are now examined.

3.3 TBM with fluid-supported Face

In the case of fluid-support tunnelling machines, the face is supported by a pressurised fluid. The supporting fluid counters the prevailing earth pressure as well as the water pressure. Water on its own would only be suitable in impermeable fine-grained soils. In partially coarse-grained soils, fluids with thixotropic properties are applied, which are determined in accordance with the water permeability of the surrounding ground. The density or the viscosity of the fluid must be capable of being varied in keeping with the prevailing geology. Towards this end, bentonite slurries have proved themselves in practice.

The main fields of application for fluid-supported shields are coarse and mixed grain types of soil. The groundwater level must be located at a sufficient distance above the tunnel roof. The sphere of application can be extended by adding fine grain and fillers or additives to improve the rheological properties. The required supporting pressure can be controlled very accurately via an air cushion behind an installed baffle and via the harmonised flow rates of the deliver and feeder pumps.

A high degree of fine grain can lead to difficulties in separation. It must also be considered that the rheological proper-

erste befinden. Der Einsatzbereich kann durch die Zugabe von Feinkorn und Füller oder Additive zur Verbesserung der rheologischen Eigenschaften erweitert werden. Der erforderliche Stützdruck kann sehr genau über ein Luftpolster hinter einer eingebauten Tauchwand und über die abgestimmten Förderleistungen der Förder- und Speispumpen geregelt werden.

Ein hoher Feinkornanteil kann zu Schwierigkeiten bei der Separierung führen. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die rheologischen Eigenschaften der Stützflüssigkeit durch Feinstkorn verschlechtern, da eine Trennung der tonigen Fraktion und Bentonit technisch nicht möglich ist.

Bei Einstiegen in die Abbaukammer muss die Stützflüssigkeit durch Druckluft ersetzt werden. Die Stützflüssigkeit bildet dann an der Ortsbrust eine nur wenig luftdurchlässige Membrane, deren Lebensdauer jedoch zeitlich begrenzt ist (Gefahr der Austrocknung). Diese Membrane erlaubt die Stützung der Ortsbrust mittels Druckluft und ist gegebenenfalls regelmässig zu erneuern bzw. zusätzliche Massnahmen sind zu ergreifen (z.B. Abdichtung mit Folie).

3.4 TVM mit Erddruckstützung der Ortsbrust

Bei Vortriebsmaschinen mit Erddruckstützung wird die Ortsbrust durch einen Brei aus abgebautem Boden gestützt und es kann im Gegensatz zu den anderen Schildvortriebsverfahren auf ein sekundäres Stützmedium verzichtet werden (Druckluft, Suspension, Brustverbau). Dabei wird der Boden durch die Werkzeuge des rotierenden Schneidrades an der Ortsbrust gelöst und durch die Öffnungen des Schneidrades in die Abbaukammer gedrückt. Die Mischflügel an der Rückseite des Schneidrades (Rotoren) und an der Druckwand (Statoren) verhelfen dabei dem Boden zu einer geeigneten Konsistenz. Die Vortriebspressekraft wird über die Druckwand auf den Erdbrei übertragen und verhindert somit ein unkontrolliertes Eindringen des Bodens von der Ortsbrust in die Abbaukammer. Eine vollständige Stützung der Ortsbrust auch im Firstbereich gelingt jedoch nur dann, wenn das Stützmedium „Boden“ in den Zustand einer weichen bis steif-plastischen Masse gebracht werden kann. Der Gleichgewichtszustand ist erreicht, wenn der Erdbrei in der Abbaukammer durch den anstehenden Erd- und Wasserdruck nicht weiter verdichtet werden kann. Die Öffnungen im Bohrkopf müssen gross genug sein, um den Eintritt des abgebauten und im Werkzeugspalt vor dem Schneidrad bereits vorkonditionierten Bodens ohne wesentliche Druckverluste in die hintere Mischkammer zu erlauben. Das Ausbruchmaterial wird mit der druckhaltenden Förderschnecke aus der unter Druck stehenden Abbaukammer in den unter atmosphärischen Druck stehenden Tunnel gefördert.

Maschinentypen mit Erddruckstützung eignen sich nach der Lehre besonders in Böden mit Feinkornanteilen (< 0,06 mm) von über 30 %. In grob- und gemischtkörnigen Böden und Fels steigen mit zunehmendem Stützdruck die Anpresskraft und das Schneidraddrehmoment überproportional an. Das

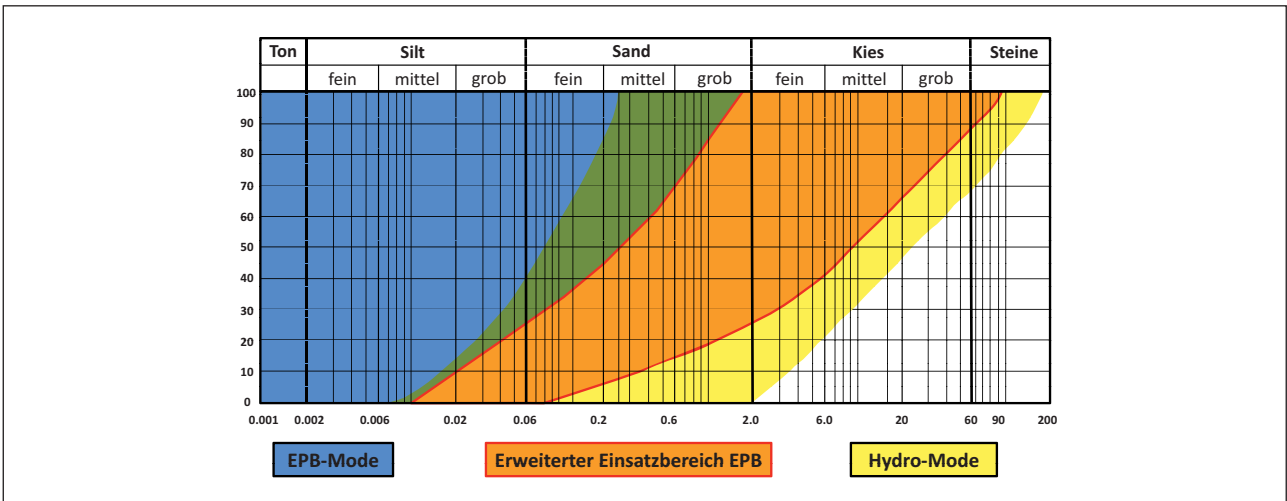
ties of the supporting fluid deteriorate as a result of ultrafine grain as it is technically impossible to separate the clayey fraction and bentonite.

When entering the extraction chamber, the supporting fluid must be replaced by compressed air. The supporting fluid then only forms a slightly air-permeable membrane at the face, whose life span is time-restricted (danger of drying out). This membrane permits the face to be supported by means of compressed air and must be renewed if need be or additional measures resorted to (e.g. sealing with sheeting).

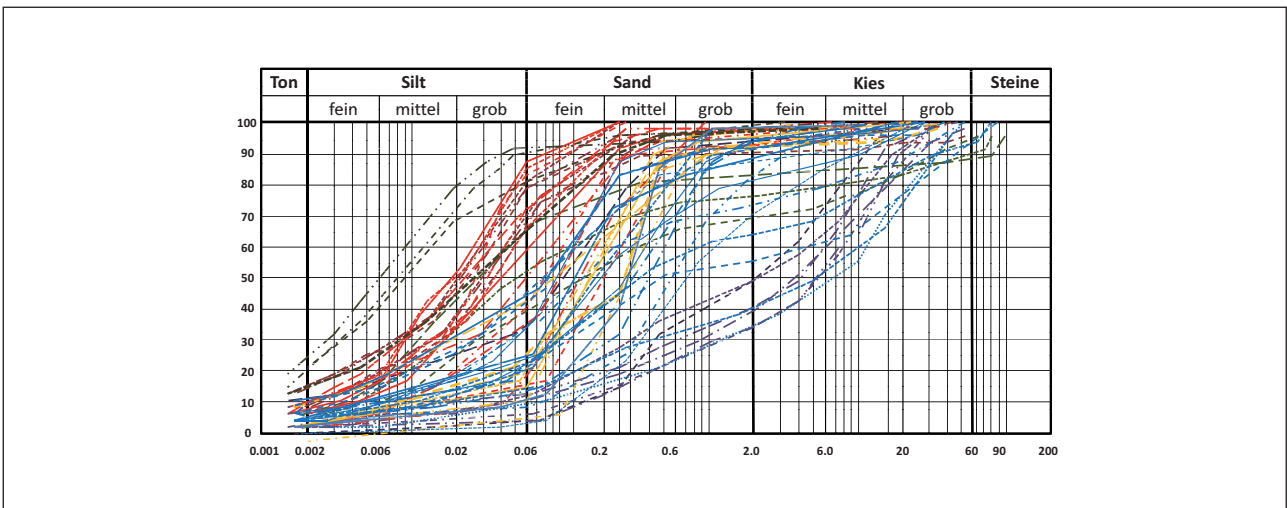
3.4 TBM with Earth Pressure Balance Support of the Face

In the case of EPB tunnelling machines, the face is supported by a slurry of excavated material and in contrast to other shield driving methods, a secondary supporting medium can be dispensed with (compressed air, suspension, face breasting). In the process, the soil is removed by the tools on the rotating cutting wheel and pressed into the extraction chamber through the openings in the cutting wheel. The rotors on the rear side of the cutting wheel and the stators on the pressure wall assist the soil to attain a suitable consistency. The thrusting jack force is transferred to the earth slurry via the pressure wall and thus prevents the soil from the face entering the excavation chamber in an uncontrolled manner. However it is only possible to achieve complete supporting of the face in the roof area as well providing that the supporting medium "soil" can adopt the state of a soft to stiff plastic mass. The state of equilibrium is reached if the earth slurry in the extraction chamber can no longer be further compacted by the prevailing earth and water pressure. The openings in the cutting head must be large enough to allow the excavated soil that has been preconditioned in the tool gap in front of the cutting wheel to enter the rear mixing chamber without any considerable pressure losses. The excavated material is conveyed by the pressure-retaining screw conveyor from the pressurised extraction chamber to the tunnel, which is subject to atmospheric pressure.

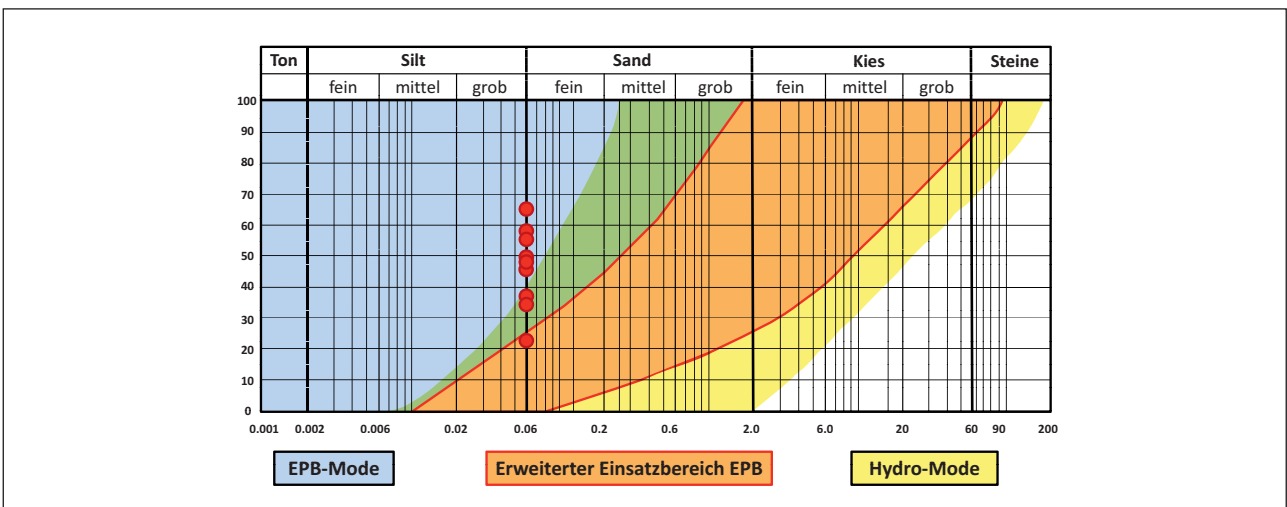
It is claimed that types of machine with earth pressure balance support are particularly suitable in soils with fine grain proportions (< 0.06 mm) of more than 30 %. In coarse and mixed grain soils and rock, the contact pressure and the cutting wheel torque grow over-proportionally with increasing supporting pressure. The flow behaviour of the excavated soil can be improved by adding suitable conditioning media such as bentonite, polymers or foam. The support pressure is controlled by the screw conveyor speed or the pressure volume controlled injecting of a suitable conditioning medium. The compressible proportion of air from the foam takes on the function of the compressed air cushion for the EPB drive in similar fashion to the hydro-shield drive. The supporting medium soil behaves like a spring due to compression so that fluctuations in volume in the extraction chamber cause substantially lower support pressure fluctuations.



3 Durch geeignete Bodenconditionierung erweiterter Einsatzbereich für EPB-Vortriebe
Extended range of application for EPB drives as a result of suitable soil conditioning



4 Kornverteilungskurven der Baugrunduntersuchungen
Grain distribution curves of ground investigations



5 Werte (rote Kreise) für die durchschnittlichen Feinanteile der 9 typischen Tunnelquerschnitte und deren Zuordnung in der Grafik der Einsatzbereiche [9]
Values (red circles) for the average amount of fine particles for the 9 typical tunnel cross-sections and their allocation in the graphic of application areas [9]

Strömungsverhalten des abgebauten Bodens kann durch Zugabe geeigneter Konditionierungsmittel wie z.B. Bentonit, Polymeren oder Schaum verbessert werden. Der Stützdruck wird durch die Förderschneckendrehzahl oder durch die druckvolumengesteuerte Injektion eines geeigneten Konditionierungsstoffes gesteuert. Der in den Boden eingemischte, kompressible Luftanteil des Schaums übernimmt beim EPB-Vortrieb analog zum Hydroschildvortrieb die Funktion des Druckluftpolsters. Das Stützmedium Boden verhält sich infolge einer Kompression wie eine Feder, so dass Volumenschwankungen in der Abbaukammer deutlich geringere Stützdruckschwankungen verursachen.

Ursprünglich für den Einsatz in weichen, plastischen Tonen konzipiert, haben Erddruckschilde durch den Einsatz der Schaumkonditionierung eine Erweiterung des Einsatzbereiches erfahren und auch in Europa eine erhebliche Verbreitung gefunden. Die traditionellen Einsatzbereiche (feinkörnige Böden für Erddruckschilde, grobkörnige Böden für Flüssigkeitsschilde) wurden für EPB-Vortriebe auf heterogene Baugrundverhältnisse ausgedehnt, bei denen sowohl Lockergestein (grobkörnige oder gar stark heterogene Böden) als auch Festgestein anstehen und somit mit dem Auftreten einer gemischten Ortsbrust zu rechnen ist („mixed face conditions“). Das Bild 3 zeigt den durch geeignete Bodenkonditionierung erweiterten Einsatzbereich für EPB-Vortriebe. Trotzdem ist weiterhin die Beschaffenheit des Baugrundes der entscheidende Faktor für die Auswahl der Art der Ortsbruststützung.

3.5 Wahl Vortriebsverfahren

Umfassende geologische und hydrogeologische Grundlagen sind die Voraussetzungen für die Ermittlung der Gefährdungsbilder, die Wahl der Vortriebsart und die Planung von allfälligen notwendigen Bauhilfsmassnahmen.

Die Kornverteilung (Bild 4) stellt direkt und indirekt das wesentliche Bewertungskriterium für die Standfestigkeit und die Durchlässigkeit des Baugrunds dar. Es gilt die Frage zu beantworten, welche Baugrundverhältnisse vorrangig gegeben sind und mit welcher Verfahrenstechnik unter diesen Bedingungen die beste Performance erreicht werden kann. Zusätzlich ist zu beurteilen, wie häufig und in welchem Ausmass geänderte Baugrundeigenschaften eintreten können. Aufgrund der Korngrößenverteilung aus den geologischen Untersuchungen kann der Tunnel in einzelne Homogenabschnitte unterteilt werden.

Bild 5 zeigt deutlich auf, dass die Mehrzahl der Tunnelquerschnitte im Lockergestein in Biel ausserhalb des Bereiches liegt, in dem der Einsatzbereich des Hydro-Schildes als „gut“ bezeichnet wird. Ein EPB-Vortrieb entspricht also besser den erwarteten Bodenbedingungen von Biel als ein Hydroschildvortrieb. Eine grobe Abschätzung ergibt demnach, dass bei einem Hydroschildvortrieb mit einem Filterkuchenanteil von ca. 50 bis 60 % des Ausbruchvolumens gerechnet werden muss, unter der Annahme, dass in den Filterpressen der

Originalen für den Einsatz in weichen, plastischen Tonen, EPB-Schilde haben ihren Anwendungsbereich durch die Zugabe von Schaum erweitert und werden auch weitläufig in ganz Europa eingesetzt. Die traditionellen Anwendungsbereiche (fein- und grobkörnige Böden für EPB-Schilde, grobkörnige Böden für flüssigkeitsgestützte Schilde) wurden auf heterogene Baugrundbedingungen für EPB-Vortriebe erweitert, bei denen sowohl weiches (grob- oder extrem heterogenes) als auch festes Gestein vorkommt, so dass gemischte Stützbedingungen zu erwarten sind. Fig. 3 zeigt den erweiterten Anwendungsbereich für EPB-Vortriebe dank geeigneter Bodenbearbeitung. Dennoch ist die Beschaffenheit des Baugrundes der entscheidende Faktor für die Wahl der Stützart.

3.5 Choice of Driving Method

Extensive geological and hydrogeological principles represent the prerequisites for determining danger scenarios, the choice of the type of drive and planning of possible necessary ancillary measures for construction.

The grain distribution (Fig. 4) represents the main planning criterion for the stability and permeability of the ground both directly and indirectly. It is necessary to answer the question relating to which are the prevailing ground conditions and with which process technology the best performance can be attained under these circumstances. Furthermore, it must be assessed how frequently and to what extent, changes in ground conditions can occur. On the basis of the grain size distribution from the geological investigations, the tunnel can be divided into individual homogeneous sections.

Fig. 5 clearly displays that the majority of the tunnel cross-sections in the soft ground in Biel are located outside the area, in which the hydro-shield application is described as “good”. In other words an EPB drive complies better with the anticipated soil conditions in Biel than a hydro-shield drive. An approximate estimate thus indicates that given a hydro-shield drive, a filter cake share of 50 to 60 % of the excavated volume must be reckoned with assuming that the fine proportion of < 0.1 mm accrues in the filter presses. This enormously high proportion of fine components necessitates a separation plant with high separating capacity in the fine range. Possible bottlenecks in the separation circuit result in the drive grinding to an immediate halt.

Furthermore, it must be considered that the lab grain size distribution often fails to correspond with the grain size distribution in the excavated material. Grain size distributions can only be identified on non-cemented rocks and thus frequently only cover a limited spectrum of all soft grounds.

Under the prevailing general conditions, the 2 driving methods from Chapters 3.3 and 3.4 are essentially possible, albeit with different effects and risks. An extended risk assessment must be carried out to establish the optimal solution for technical feasibility, safe driving, environment, construction time etc.

Feinanteil < 0,1 mm anfällt. Dieser enorm hohe Anteil an Feinkomponenten verlangt eine Separieranlage mit hoher Separierkapazität im Feinbereich. Mögliche Engpässe im Separierungskreislauf haben einen sofortigen Vortriebsstillstand zur Folge.

Zusätzlich gilt es zu berücksichtigen, dass die Laborkorngrößenverteilung häufig nicht der Korngrößenverteilung im Ausbruchmaterial entspricht. Korngrößenverteilungen können nur an nicht zementierten Gesteinen bestimmt werden und decken daher häufig nur ein eingeschränktes Spektrum aller Lockergesteine ab.

Unter den vorhandenen Randbedingungen sind grundsätzlich die beiden Vortriebsverfahren aus Kapitel 3.3 und 3.4 mit unterschiedlichen Auswirkungen und Risiken möglich. Um die optimale Lösung bezüglich technischer Machbarkeit, sicherem Vortrieb, Umwelt, Bauzeit etc. zu finden, ist eine erweiterte Risikobeurteilung durchzuführen.

3.6 Schneidradgestaltung

Das Schneidraddesign muss sowohl die Anforderungen für einen Festgesteinsvortrieb (Molasse), als auch für einen EPB- bzw. Hydro-Vortrieb erfüllen. Ein relativ geschlossenes Schneidrad – insbesondere bei einem EPB-Schneidrad – wird gewählt, um eine zusätzliche mechanische Stützung der Ortsbrust über das Schneidrad zum Erdbrei zu erhalten.

Als Öffnungsverhältnis wird der prozentuale Anteil der Materialeinlassöffnungen an der gesamten Schneidradfläche bezeichnet. Diese Kennzahl ist für Erddruckschilde von grösserer Bedeutung als für Flüssigkeitsschilde. Um den Eintritt des abgebauten und im Werkzeugspalt vor dem Schneidrad bereits vorkonditionierten Bodens ohne wesentliche Druck-

3.6 Cutting Wheel Design

The cutting wheel design must comply with the needs of a solid rock drive (molasse) and for an EPB or hydro-drive. A relatively closed wheel especially in the case of an EPB cutting wheel – is chosen to obtain additional mechanised support for the face via the cutting wheel with the slurry.

The opening ratio relates to the percentage share of the material intake openings to the overall cutting wheel area. This coefficient is of greater significance for EPB shields than for fluid-supported shields. To permit the excavated soil to enter the rear mixing chamber after preconditioning in the tool gap in front of the cutting wheel without any substantial losses of pressure, the openings must be sufficiently large. The support pressure is usually measured by pressure cells, which are installed in the pressure wall or cutting wheel, flush with the surface. As a result, major differences in pressure in the earth pressure in front of and behind the cutting wheel should be avoided if the support pressure must be controlled as exactly as possible.

As soon as the stone and boulder content of soft ground is forecast, the grain size of the erratic blocks should be restricted by placing grain delimiters in the intake openings. Otherwise these could reach the mixing chamber and have to be processed by the screw conveyor. It has been shown through a large number of different applications that boulders can be processed by cutter rollers providing they are sufficiently bound in the surrounding matrix. Depending on the size of the boulder, they are reduced to normal chip-pings or split into individual fragments.

No difference exists between the fluid-shield and EPB shield types of machine as far as actual extraction with cutter roll-



6/7 Schneidräder der Vortriebe für Fels und Lockermaterial: Hydro-Mixschild (Weinbergtunnel, Bild 6, blau) und EPB-Mixschild (Umfahrung Biel Ostast, Bild 7, gelb)
Cutting wheels for the drives in rock and soft material: hydro-mix-shield (Weinberg Tunnel, Fig. 6, blue) and EPB mix-shield (Biel East Bypass, Fig. 7, yellow)

verluste in die hintere Mischkammer zu erlauben, müssen die Öffnungen genügend gross ausgebildet sein. Die Stützdruckmessung wird üblicherweise durch Druckmessdosen vorgenommen, die in der Druckwand bzw. im Schneidrad oberflächenbündig eingebaut sind. Daher sind grössere Druckunterschiede des Erddrucks vor und hinter dem Schneidrad zu vermeiden, wenn eine möglichst genaue Steuerung des Stützdruckes erforderlich ist.

Sobald für ein Lockergestein der Gehalt von Steinen und Blöcken prognostiziert ist, soll mittels Anordnung von Kornbegrenzern in den Einlassöffnungen die Korngrösse der Findlinge begrenzt werden, welche in die Mischkammer gelangen können und durch den Schneckenförderer verarbeitet werden müssen. Durch eine Vielzahl verschiedener Einsätze ist belegt, dass Findlinge mittels Schneidrollen abgearbeitet werden können, solange sie ausreichend fest in die umgebende Matrix eingebunden sind. Je nach Grösse des Findlings besteht der Abbauprozess in normalem Chipping oder aber in einem Spalten in einzelne Bruchstücke.

Für den eigentlichen Abbau mit Schneidrollen an der Ortsbrust ist kein Unterschied zwischen den Maschinentypen Flüssigschild bzw. Erddruckschild vorhanden. Jedoch ist die Behandlung von Steinen nach Eintritt in die Abbaukammer unterschiedlich, sofern der eingesetzte Schneckendurchmesser die Abförderung einer solchen Korngrösse nicht erlaubt. Bei Flüssigschilden werden standardmässig Brecher vor dem Rückhaltesieb des Saugstutzens installiert und der Bereich zusätzlich mit Bentonitpühdüsen ausgestattet.

Die meisten technischen Merkmale (Auslegungen) der möglichen Vortriebsmaschinentypen Hydro-TVM und EPB-TVM sind in Bezug auf den Felsvortrieb absolut identisch. Der Unterschied liegt jedoch in der zu installierenden Leistung (inkl. Hauptlagergrösse) und der damit verbundenen höheren Dreh- und Anfahr momente für eine EPB-Maschine, welche für den Lockermaterialvortrieb im „closed mode“ (d.h. im geschlossenen, druckbeaufschlagten Modus) notwendig sind. Diese höher installierte Leistung bietet auch für mögliche Ereignisse im Felsvortrieb wesentliche Vorteile bzw. zusätzliche Sicherheiten (v.a. bei nachbrüchigem Gebirge und der Gefahr von Blockierung des Schneidrades). Das Schneidrad einer modernen Hydro-Mixschild-TVM (z.B. Weinbergtunnel in Bild 6) unterscheidet sich nur unwesentlich von einer modernen EPB-Mixschild-TVM (z.B. Umfahrung Biel Ostast in Bild 7).

4 Risikobeurteilung

4.1 Allgemeines

Bei der Erstellung einer Risikobeurteilung ist es wichtig, dass eine systematische Risikoanalyse für jede Art der Ortsbruststützung durchgeführt wird und die akzeptablen Restrisiken aufgelistet werden. Die Vor- und Nachteile der Hydro- und EPB-Schildtechnik müssen gegenübergestellt und bewertet werden.

ers is concerned. Notwithstanding, stones are handled differently once they have entered the extraction chamber, should the applied screw diameter not allow such a grain size to be conveyed. For fluid-supported shields, crushers are normally set up in front of the intake port's retention sieve and the area additionally fitted with bentonite flushing nozzles.

Most technical specifications (design) for the different types of driving machines hydro TBM and EPB TBM are absolutely identical when it comes to excavating rock. However there is a difference in the installed capacity (including size of main bearing) and the related higher rotation and start-up speeds for an EPB machine, which are necessary for the soft ground drive in "closed mode". This higher installed capacity affords considerable advantages as well for possible incidents during the rock drive and additional safeguards (above all, in the event of crumbling rock or the danger of the cutting wheel becoming blocked). The cutting wheel for a modern hydro-mix-shield TBM (e.g. Weinberg Tunnel in Fig. 6) is only slightly different from a modern EPB-mix-shield TBM (e.g. Biel East Bypass in Fig. 7).

4 Risk Assessment

4.1 General

When compiling a risk assessment it is essential that a systematic risk analysis for each type of face support is undertaken and the acceptable residual risks are listed. The pros and cons of hydro and EPB shield technology must be compared and evaluated.

In urban areas, the driving methods should ensure that the surface settlements remain below acceptable limits. Continuous face supporting during the drive is called for to prevent groundwater flowing towards the face. The ancillary measures for each kind of support must be evaluated.

The risk analysis is centred on the issue of which conflicts and risks can occur during the driving process, in other words the construction technical cycle from the start of the drive until the tunnel is broken through. The aim is to attune the individual factors machine and construction method as well as man optimally to each other. Risk identification represents one of the most difficult tasks in this respect during the entire risk-focussed project realisation procedure owing to engineering and process technological interrelationships. It is a central component of efficient risk management.

The goal of producing shield-driven tunnels must be to apply a TBM, which can cope with all "foreseeable" incidents relating to the project. This applies all the more to mechanised drives as the higher investment outlay for the machine based on economic factors can only be compensated by increased rates of advance. Thus a TBM must be able to produce a continuous and high rate of advance. The shield machine as the core of the construction method must ultimately represent a custom-built driving unit for the project,

In städtischen Gebieten sollen die Vortriebsmethoden gewährleisten, dass die Oberflächensetzungen unterhalb akzeptabler Grenzen bleiben. Eine kontinuierliche Stützung der Ortsbrust während des Vortriebs ist gefordert und die Grundwasserströmung in Richtung Ortsbrust ist zu verhindern. Die Evaluation der Zusatzmassnahmen für jede Art der Stützung ist nötig.

Im Mittelpunkt der Risikoanalyse steht dabei die Frage, welche Konflikte und Risiken während des Vortriebsprozesses, also des bauverfahrenstechnischen Ablaufs vom Vortriebsstart bis zum Tunneldurchstich, auftreten können. Ziel ist es, die Einzelfaktoren Maschine und Bauverfahren sowie Mensch optimal aufeinander abzustimmen. Die Risikoidentifikation ist dabei im gesamten risikofokussierten Projektrealisierungsprozess aufgrund maschinen- und verfahrenstechnischer Abhängigkeiten eine der schwierigsten Aufgaben und zentraler Bestandteil des effizienten Projektmanagements.

Ziel der Herstellung von schildvorgetriebenen Tunneln muss es sein, eine TVM einzusetzen, die auf alle aus dem Projekt ableitbaren „vorhersehbaren“ Störfälle abgestimmt ist. Dies gilt bei maschinellen Vortrieben umso stärker, da aus wirtschaftlichen Gründen heraus der für die Maschine erhöhte Investitionsaufwand nur durch erhöhte Vortriebsleistungen zu kompensieren ist. Eine TVM muss somit eine kontinuierliche und hohe Vortriebsleistung erbringen können. Die Schildmaschine, Kernstück des Bauverfahrens, muss letztlich eine für das Projekt massgeschneiderte Vortriebsseinheit sein, die in der Lage ist, alle vor dem Bohrkopf liegenden Probleme zu bewältigen. Wesentlich ist die Erkenntnis, dass mit der Fertigung der Schildmaschine der maschinentechnische Optimierungsprozess ganz und der verfahrenstechnische Prozess weitgehend abgeschlossen sind.

Unvorhergesehene Störfälle und deren Behebung bedeuten insbesondere bei Maschinenvortrieben immer unkalkulierbare Zusatzkosten und Bauzeitverlängerungen. Umbauten beziehungsweise Anpassungen während des Einsatzes im Baugrund sind technisch nur schwer realisierbar.

4.2 Vorteile EPB

Im nachfolgenden werden die wesentlichen Vorteile eines EPB-Vortriebs, bezogen auf das Projekt Biel, aufgelistet:

- Entfall einer Separierungsanlage, die im Förderkreislauf eingebunden ist und die Leistungsfähigkeit des Vortriebs unmittelbar beeinflusst.
- Geringere Kapitalkosten (keine Separieranlage).
- Kein zusätzliches zweites Schüttersystem nötig (Band ist bereits für die Felsstrecke installiert).
- Weniger komplexer Betrieb (weniger anspruchsvoll, da keine Synchronisationen von Pumpen, keine Druckstöße auf Fördersysteme).
- Empfindlichkeit bezüglich Baugrundvariabilität ist tendenziell grösser. Diesem Umstand kann aber mit geeigneten Konditionierungsmitteln gut begegnet werden und all-

which is capable of mastering all problems lying in front of the cutterhead. The recognition that with the completion of the shield machine the engineering optimisation process is completed and the process technological procedure largely concluded is important.

Unforeseen incidents and their elimination always denote incalculable added costs and extending construction times especially in the case of mechanised drives. Conversions or adaptations during application in the ground are hard to accomplish technically.

4.2 Advantages of EPB

The important advantages of an EPB drive relating to the Biel project are listed as follows:

- No need for a separation plant, which is installed in the conveying circuit and directly influences the drive's efficiency.
- Lower capital costs (no separation plant).
- No additional second mucking system required (belt already installed for the rock section).
- Less complex operation (less sophisticated as no synchronisation of pumps, no pressure impacts on conveying systems).
- Sensitivity relating to ground variability is potentially greater. This circumstance can, however, be amply countered thanks to suitable conditioning agents and possible consequences of instability (probability of failure) are potentially lower (caving soil displaces a suspension during the hydro drive). EPB shields possess the advantage compared to shields with fluid-supported face that a sudden, voluminous intrusion into the extraction chamber filled with pasty and compacted material is not feasible with regard to the system. An instable face is "supported" by the extracted material.
- Less risk of blow-outs.
- Additional sources of noise are dispensed with, especially during the operation of the separation plant and chamber filter presses given possible restrictions of the working time; loading material (excavation).

4.3 Disadvantages of EPB

The following main disadvantages of an EPB drive were identified for the Biel Bypass project:

- Interpreting the operating modes and changing them is more difficult for the shield operator as control-technical interventions and their effects occur with considerable delay.
- Earth pressure support in the extraction area depends on several parameters (stiffness of excavated material, rate of advance, rotation speed of screw conveyor, etc.); as a result, the earth pressure cannot always be adjusted directly and effective distribution is hampered by uncertainty.
- In the event of incidents and the need to enter the working area, it is very easy to create suitable conditions to enter under compressed air given fluid support by pumping off the support fluid and at the same time admitting

fällige Konsequenzen einer Instabilität (Versagenswahrscheinlichkeit) sind tendenziell kleiner (einbrechender Boden verdrängt eine Suspension beim Hydrovortrieb). Erddruckschilde besitzen gegenüber Schilden mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust den Vorteil, dass ein schlagartiger, grossvolumiger Einbruch in die mit breiigem und verdichtetem Material gefüllte Abbaukammer aus dem System her gesehen nicht möglich ist. Instabile Ortsbrust wird durch das Aushubmaterial „gestützt“.

- Geringeres Risiko von Ausbläsern.
- Entfall von zusätzlichen Lärmquellen, insbesondere beim Betrieb der Separieranlage und Kammerfilterpressen unter allfälligen Einschränkungen der Arbeitszeit; Materialverlad (Ausbruch).

4.3 Nachteile EPB

Für das Projekt Umfahrung Biel konnten nachfolgende wesentliche Nachteile eines EPB-Vortriebes identifiziert werden:

- Die Interpretation der Betriebszustände und deren Änderungen sind schwieriger für den Schildfahrer, da steuerungstechnische Eingriffe und deren Wirkungen deutlich zeitversetzt verlaufen.
- Die Erddruckstützung im Abbauraum ist von mehreren Parametern abhängig (Steifigkeit Aushubmaterial, Vortriebsgeschwindigkeit, Drehzahl Schneckenförderer, etc.); dadurch ist der Erddruck nicht direkt einstellbar und die effektive Verteilung ist einer Unsicherheit unterworfen.
- Bei Störungen und der Notwendigkeit des Betretens des Arbeitsraumes können bei der Flüssigkeitsstützung sehr einfach durch Abpumpen der Stützflüssigkeit unter gleichzeitiger Beaufschlagung mit Druckluft Verhältnisse geschaffen werden, um einen Einstieg unter Druckluft zu ermöglichen. Dagegen ist das Ausräumen der Arbeitskammer bei der Erddruckschildmaschine aufwändiger und langwieriger.
- Bei der Druckluftbeaufschlagung der Arbeitskammer einer flüssigkeitsgestützten Schildmaschine entsteht direkt ein abdichtender Filterkuchen. Beim EPB muss bei stark durchlässigen Schichten zuerst mittels Beigabe von Bentonitsuspension ein Filterkuchen an der Ortsbrust gebildet werden (Penetrationszeit beachten).

4.4 Entscheidungsfindung für die Ausführung in Biel

Sowohl mit einer EPB-Maschine wie auch mit einer Hydro-Maschine könnten grundsätzlich sämtliche anzutreffenden geologischen Formationen durchfahren werden. Für die erweiterte Risikobetrachtung und die Entscheidungsfindung des Vortriebsverfahrens wurden neben den zuvor aufgelisteten Vor- und Nachteilen zusätzlich folgende Kriterien und deren Auswirkungen beurteilt:

- Wirtschaftlichkeit
- Bruststabilität
- Materialförderung
- Niederbrüche
- Tagbrüche
- Ausbläser
- Umgang mit Findlingen und Blöcken

compressed air. However, it is more complicated and time-consuming to evacuate the working chamber in the case of the EPB shield machine.

- A filter cake seal is produced directly when compressed air fills the working chamber of a fluid-supported shield machine. In the case of the EPB machine, firstly bentonite suspension must be added to form a filter cake at the face (please observe the penetration time) for highly permeable layers.

4.4 Reaching a Decision for Execution in Biel

Essentially all encountered geological formations can be penetrated both by an EPB machine and a hydro-machine. The following criteria and their effects were also taken into account apart from the previously listed pros and cons for the extended risk assessment to reach a decision:

- Economy
- Face stability
- Material conveyance
- Collapses
- Cave-ins
- Blow-outs
- Dealing with boulders and blocks
- Adapting to variable geology
- Clogging
- Effects of machine damage
- System susceptibility
- Dumping capacity

Extensive evaluations and analyses led to the expanded risk assessment coming up with a new conclusion and the EPB drive in soft ground alternative was approved.

An earth pressure balance shield in classical form with underlying screw conveyor was applied to produce the Biel Bypass. The screw conveyor was used to transport material from the extraction chamber both in open and closed mode, whereby it only served material conveyance in pure atmospheric operation without being used to reduce pressure as well.

5 Measures for Execution

5.1 General

During execution, the following additional measures were resorted to among other things in order to minimise possible residual risks:

- Extensive lab tests involving the in situ ground were undertaken in the run-up to construction operations.
- If geological layers with high permeability prevail, it must be assured that the extraction chamber is also completely filled in the roof area.
- Adhering to a uniform rate of advance to retain uniform support pressure (strive towards a continuous drive).
- Controlling the foam plant in semi-automatic mode.
- Installing a continuous operation over the entire soft ground section.

- Anpassung auf variable Geologie
- Verklebungen
- Auswirkungen von Maschinenschäden
- Systemanfälligkeit
- Deponierbarkeit

Die umfangreichen Bewertungen und Analysen ergaben, dass die erweiterte Risikoeinschätzung zu einer Neubeurteilung führte und die Variante EPB-Vortrieb im Lockermaterial zugelassen werden konnte.

Bei der Ausführung der Umfahrung Biel gelangte ein Erd-druckschild in der klassischen Bauart mit untenliegender Förderschnecke zum Einsatz. Sowohl im offenen wie geschlossenen Modus wurde die Förderschnecke zur Materialabförderung aus der Abbaukammer eingesetzt, wobei sie im rein atmosphärischen Betrieb nur noch der Materialförderung und nicht mehr zusätzlich dem Druckabbau diente.

5 Massnahmen für die Ausführung

5.1 Allgemeines

In der Ausführung wurden unter anderem nachfolgende zusätzliche betriebliche Massnahmen ergriffen, um allfällige Restrisiken zu minimieren:

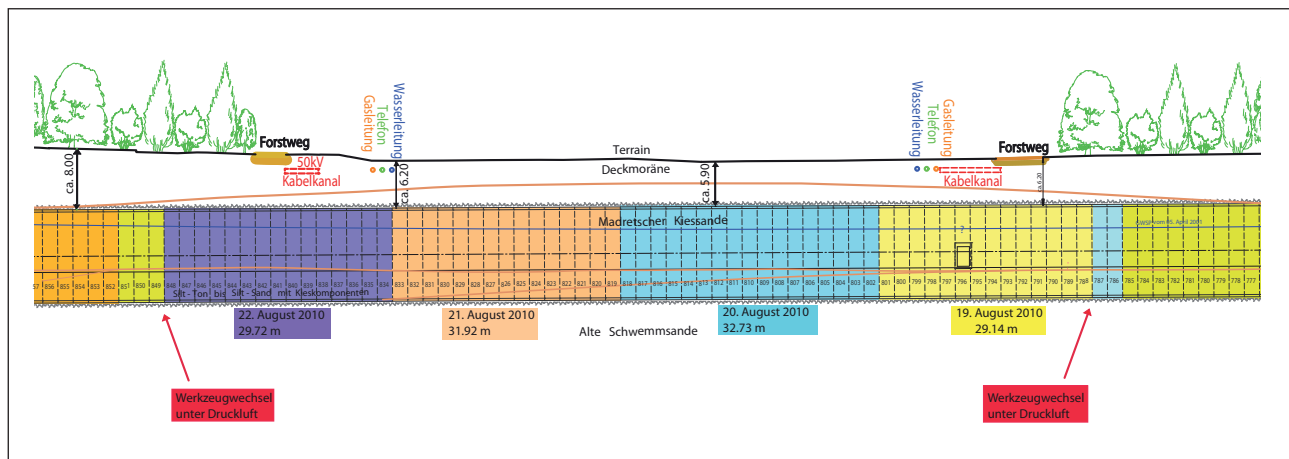
- Im Vorfeld der Ausführungsarbeiten wurden umfangreiche Laborversuche mit dem anstehenden Boden durchgeführt.
- Beim Anstehen von geologischen Schichten mit hoher Durchlässigkeit ist eine Vollfüllung der Abbaukammer auch im Firstbereich sicherzustellen.
- Einhaltung einer gleichmässigen Vortriebsgeschwindigkeit zur Einhaltung eines gleichmässigen Stützdruckes (kontinuierlichen Vortrieb anstreben).
- Steuerung der Schaumanlage über Semi-Automatik.
- Installation eines Durchlaufbetriebes im gesamten Bereich der Lockergesteinsstrecke.
- Für den Fall kurzzeitiger Druckverluste an der Ortsbrust kann mit der raschen Zufuhr von 12 m³ Bentonitsuspensi-

- In the event of short-term pressure losses at the face, the speedy addition of 12 m³ of bentonite suspension (permanently available on the back-up) and operation of a compressed air control unit ensures a quick response is possible.
- Graphic safety chart with ongoing assessment directly from the TBM control cabin.
- Online data transfer to the contractor's construction office.
- For prompt recognition of wear affecting the extraction tools, a number of wear identification systems were installed and regular cutting wheel inspections carried out under compressed air.
- Installation of 2 parallel, independent lock systems to enable parallel movements.
- Provision of suitable working instructions.
- Continuous training for the entire driving crews as well as preparation and critical driving situations (catalogue of incidents).
- Monitoring the conveyance of excavated masses (deviation from the empirically determined average desired values).
- Implementation of a data bank management system to process all driving data.
- Risk evaluation accompanying driving with real time analysis of the driving data and the interaction of TBM and ground.
- Maintaining extensive service intervals prior to undertunnelling critical areas.

5.2 Implementing special Measures of Execution

The soft ground sections were executed successfully thanks to detailed work preparation, the application of the previously determined measures and the consistent implementation of the safety plans and the catalogue of incidents.

A further special feature was having to cross major utility lines such as gas, telephone and water at an angle on several occasions. Furthermore, this was tackled in the area, where the shallowest overburden amounted to less than 6 m. No



8 Zeitlicher Ablauf der Unterquerung der Versorgungsleitungen mit minimalsten Überdeckungen im Bereich der grössten durchlässigen Schichten im Firstbereich
Time frame for undertunnelling the utility lines with minimal overburdens at the largest permeable layers in the roof area

on (ständig vorhanden auf Nachläufer) und der Regelung über eine Druckluftregelanlage kurzfristig reagiert werden.

- Grafischer Sicherheitsplan mit laufender Beurteilung direkt aus dem Führerstand der TVM.
- Online-Datentransfer in das Baubüro des Unternehmers.
- Für die rechtzeitige Erkennung des Verschleisses der Abbauwerkzeuge wurden mehrere Verschleisserkennungssysteme eingebaut und regelmässige Schneidradinspektionen unter Druckluft durchgeführt.
- Installation von 2 parallelen, unabhängigen Schleusensystemen, damit ein paralleles Schleusen möglich wird.
- Geeignete Arbeitsanweisungen erlassen.
- Laufende Schulung der gesamten Vortriebsmannschaften sowie Vorbereitung auf kritische Vortriebsituationen (Störfallkatalog).
- Überwachung der Ausbruchmassenförderung (Abweichung von den empirisch ermittelten durchschnittlichen Sollwerten).
- Implementierung eines Datenbankmanagementsystems zur Erfassung sämtlicher Vortriebsdaten.
- Vortriebsbegleitende Risikobewertung durch Echtzeitanalyse der Vortriebsdaten und der Interaktion TVM-Baugrund.
- Durchführung von ausgeweiteten Wartungsstopps vor der Unterfahrung von kritischen Bereichen.

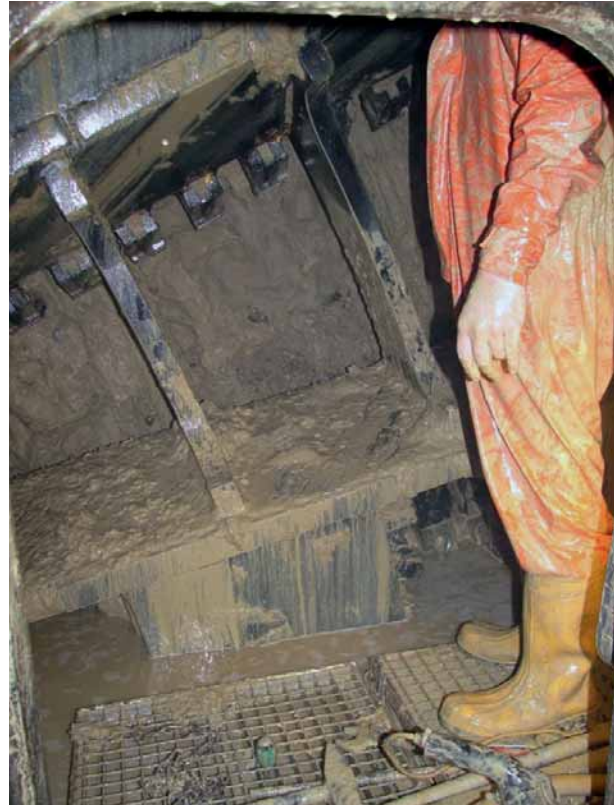
5.2 Umsetzung spezieller Massnahmen in der Ausführung

Aufgrund einer detaillierten Arbeitsvorbereitung, der Umsetzung der zuvor festgelegten Massnahmen und der konsequenten Umsetzung der Sicherheitspläne und der Störfallkataloge konnten die Lockermaterialstrecken erfolgreich aufgefahren werden.

Eine weitere Besonderheit war die schleifende mehrmalige Querung von grösseren Versorgungsleitungen wie Gas, Telefon und Wasser. Diese Querungen fanden zudem in jenem Bereich statt, wo die kleinste Überdeckung weniger als 6 m betrug. In dieser Umgebung wurden im Vorfeld keine zusätzlichen bodenverbessernden Massnahmen ergriffen. Unmittelbar vor dem Querungsstart wurde ein Werkzeugwechsel vorgenommen, damit im Bereich der Querung und der geringsten Überlagerung keine geplanten Einstiege notwendig wurden (Bild 8).

Für die Arbeiten im Abbauraum (Kontrolle Schneidrad, Werkzeugwechsel) waren Drucklufteinstiege notwendig (Bild 9). Auf der TVM waren 2 vollständige Schleusen eingebaut, damit auch ein paralleles Schleusen ermöglicht wurde. Die Erfahrungen haben aufgezeigt, dass in den Lockermaterialstrecken regelmässige Werkzeugwechsel notwendig sind. Damit diese Einstiege beim anstehenden, hoch durchlässigen Boden auf einem hohen Sicherheitsniveau durchgeführt werden konnten, wurde ein Standardverfahren umgesetzt. Dabei wird eine „gereifte“ Bentonitsuspension von ca. 60 bis 80 m³ über die Anschlüsse in der Druckwand und über

additional advance ground-improving measures were resorted to in this area. Immediately before starting this procedure, tools were replaced so that no scheduled accesses were necessary in the area of intersection and the shallowest overburden (Fig. 8).



9 Einstieg unter Druckluft in die Abbaukammer
Access under compressed air into the extraction chamber

For the work in the extraction area (controlling the cutting wheel, tool replacement) compressed air accesses (Fig. 9) were required. Two complete locks were installed on the TBM so that parallel movements were possible. Experience indicated that regular tool changes were needed in the soft ground sections. In order to ensure that these accesses were produced with a high safety level in the in situ, highly permeable soil, a standard method was implemented. Towards this end, a “matured” bentonite suspension of roughly 60 to 80 m³ is pumped into the extraction area via the connections in the pressure wall and via the foam lances to saturate the ground for several hours and form a filter cake at the face. This filter cake, which is retained in equilibrium by the compressed air control system, served as a membrane thus assuring that the face was sealed (Fig. 10).

Although constantly changing geological components were encountered, fairly constant rates of advance were possible in EPB mode. The average rates of advance in EPB mode amounted to 15.5 m/working day in the first Längholz bore, which was increased by 2 m for the second one. The best daily rate of advance in EPB mode was 37.5 m. Towards this end, however, the machine parameters and the condition-

die Schaumlanzen in den Abbauraum eingepumpt, um den Boden während mehrerer Stunden zu sättigen und einen Filterkuchen an der Ortsbrust zu bilden. Dieser Filterkuchen, der durch das Druckluftregelsystem im Gleichgewicht gehalten wurde, diente als Membran und gewährleistete somit die Abdichtung der Ortsbrust (Bild 10).



10 Filterkuchen an der Ortsbrust
Filter cake at the face

Obwohl ständig wechselnde geologische Komponenten angetroffen wurden, konnten im EPB-Modus recht konstante Vortriebsleistungen erreicht werden. Die durchschnittlichen Vortriebsleistungen im EPB-Modus betragen in der ersten Längholzröhre 15,5 m/AT und diese konnten in der zweiten Tunnelröhre um 2 m gesteigert werden. Die beste Tagesleistung im EPB-Modus betrug 37,5 m. Dazu mussten jedoch die Maschinenparameter und die Konditionierung laufend beurteilt und angepasst werden. Infolge des hohen Verschleisses in der Lockermaterialstrecke wurden regelmässig Druckluft-einstiege angesetzt, die nach dem vorgängig beschriebenen Standardverfahren vorgenommen wurden und jeweils mehrere Vortriebschichten benötigten.

6 Querschläge und Nischen

6.1 Allgemeines

Als Bauhilfsmassnahmen werden jene Tätigkeiten bezeichnet, die zur Gewährleistung der Standsicherheit des Hohlraums, zur Beschränkung der Verformungen oder der Wasserzutritte im Bauzustand einem Vortrieb vorausgehend ausgeführt werden. Im vorliegenden Projekt der Umfahrung Biel Ostast war

ing had to be continuously assessed and adjusted. Owing to the high wear in the soft ground section, compressed air accesses were undertaken at regular intervals, which were executed in accordance with the standard method, previously described requiring several driving shifts.

6 Cross-Passages and Niches

6.1 General

Those activities, which are carried out in advance of an excavation to assure stability of the cavity, restrict the deformations or water ingresses during the state of construction, are described as ancillary measures. In this particular project the Biel East Bypass, the freezing method was to be applied for producing the cross-passages and niches in soft ground. The cross-passages possess an excavated length of 26 m and the niches are 4.5 m deep. Two negotiable cross-passages and 12 niches are located in the affected soft ground section.

6.2 Securing and Opening the Segments

In order to create an opening in a segmental shell, the opening area in other projects was frequently supported by special segments made of steel. For this purpose, the individual steel special segments are bolted together in a complicated manner to form a bearing, resilient steel frame around the opening area during the opening phase. This robust and intricately produced steel structure is expensive owing to the high proportion of steel, and the placing process takes far longer than that for installing a normal segment. Further alternatives have been successfully developed in recent years so that steel segments no longer need to be used. Projects were executed, in which special segments were installed in the area of the cross-passages/niches, in which integrated bolting elements made of steel are concreted in place. As a consequence, it is possible to lock the segments furnished in this way to one another in the annular joint once they have been installed in the tunnel. In this way, a statically effective frame is formed around the segment openings being produced. However, the application of special segments means that it is essential that a given sequence of ring assembly types is pursued for the immediate area affecting the cross-passages/niches. In addition, the production of these special segments in the precast concrete plant is considerably more expensive than conventional segments, as the elements must be provided with stronger reinforcement. The bolting elements must be positioned and attached in the reinforcement with absolute accuracy. Generally for this purpose, special production gauges have to be created and the steel elements temporarily bolted to the formwork during the concreting stage.

A further approach for stabilising segments during the opening phase was applied in the Biel East Bypass project both in the rock section as well as in the soft ground section. 30 cm thick, 2 m wide double-cone uni-rings with a division of 6+0.5, i.e. with large keystone, were applied in all tunnel

für die Erstellung der Querschläge und Nischen im Lockermaterial das Gefrierverfahren vorgesehen. Die Querschläge weisen eine Vortriebslänge von 26 m auf und die Nischen eine Tiefe von 4,5 m. In der betreffenden Lockermaterialstrecke befinden sich 2 begehbare Querschläge und 12 Nischen.

6.2 Sichern und Öffnen der Tübbinge

Um eine Öffnung in einer Tübbingschale herzustellen, wurde in anderen Projekten häufig der Öffnungsbereich mit Stahl-Sondertübbingen ausgebaut. Die einzelnen Stahl-Sondertübbinge werden dabei aufwändig miteinander verschraubt und bilden während der Öffnungsphase einen tragfähigen, biegesteifen Stahlrahmen um den Öffnungsbereich herum. Diese robuste und aufwändig hergestellte Art der Stahlkonstruktion ist durch den hohen Stahlanteil teuer, und der Versetzungsvorgang dauert wesentlich länger als ein normaler Tübbingeinbau. In den letzten Jahren wurden erfolgreich weitere Alternativen entwickelt, um auf den Einsatz von Stahl-tübbingen zu verzichten. Es wurden Projekte ausgeführt, indem im Bereich der Querschläge/Nischen Spezialtübbinge versetzt wurden, in welche integrierte Verschraubungselemente aus Stahl einbetoniert sind. Somit ist es möglich, die so ausgestatteten Tübbinge nach ihrem Einbau im Tunnel in der Ringfuge kraftschlüssig miteinander zu verschrauben. Um die zu erstellenden Tübbingöffnungen herum wird auf diese Weise ein statisch wirksamer Rahmen ausgebildet. Der Einsatz von Sondertübbingen erfordert jedoch, dass für den unmittelbaren Bereich der Querschläge/Nischen eine Zwangsfolge der Ringbautypen eingehalten werden muss. Zudem ist die Herstellung dieser Sondertübbinge im Fertigteilwerk gegenüber den herkömmlichen Tübbingen deutlich aufwändiger, da die Elemente mit einer verstärkten Bewehrung ausgestattet werden. Die Verschraubungselemente sind lagemgenau in die Bewehrung einzulegen und zu fixieren. Dazu werden in der Regel speziell für diese Elemente eigene Fertigungslehren hergestellt und die Stahleinlagelemente während des Betoniervorgangs temporär mit der Schalung verschraubt.

Im Projekt der Umfahrung Biel Ostast wurde sowohl in der Felsstrecke wie auch in der Lockermaterialstrecke ein weiterer Ansatz der Tübbingstabilisierung während der Öffnungsphase umgesetzt. In allen Tunnelstrecken gelangten 30 cm dicke, 2 m breite doppelkonische Uniringe mit einer Teilung von 6+0,5, d.h. mit grossem Schlussstein zum Einsatz. Durch das Tübbingdesign wandert der Schlussstein radial im Profil. Aufgrund dieses Systems entstehen für jeden Querschlag bzw. Nische unterschiedliche Fälle von längslaufenden Fugenlagen, die einzeln betrachtet werden, um die notwendigen Sicherungsmittel entsprechend zu optimieren.

Die maximale Breite für die Aussparung der begehbaren Querschläge beträgt 3,5 m, die Höhe 4,0 m. Die Achsen der Querschläge, von beiden Hauptröhren her betrachtet, sind senkrecht angeordnet und exakt auf die jeweiligen Ringmitten ausgelegt. Die notwendigen geometrischen Anpassungen zwischen den beiden Tunnelröhren erfolgten innerhalb

sections. Thanks to the segment design, the keystone moves radially in the profile. Owing to this system, there are different cases of longitudinally running joint positions, which are considered individually to optimise the necessary support medium correspondingly.

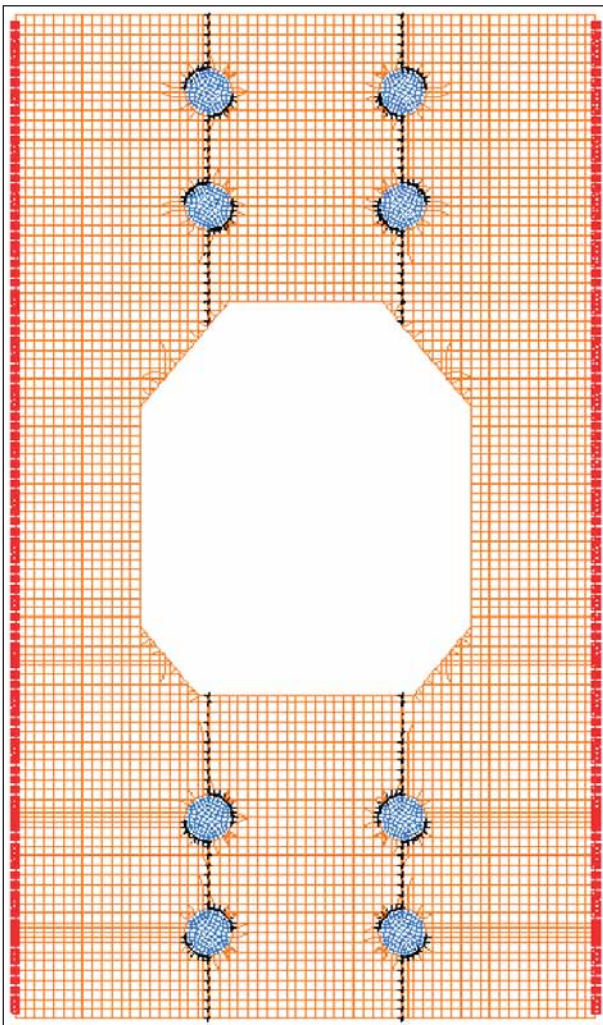
The maximum width for the opening for the negotiable cross-passages amounts to 3.5 m, the height 4.0 m. The cross-passage axes, seen from both main bores, are arranged perpendicularly and laid out exactly to conform to the given ring centres. The required geometrical adjustments between the 2 tunnel bores were undertaken within the cross-passage. As a result, the remaining, externally located segmental rings each possess a residual width of 1.25 m. The same approach was applied to the niches; only their dimensions are substantially smaller and the remaining residual width amounts to 0.85 m.

Determining the load and the force transfer derives from the possible ring standard force from the project designer's segment statics. In order to apply the joint formation 2,000 x 300 mm for load transference full-faced, the longitudinal joints around the openings are backfilled or grouted. The externally located guide channels for the continuous sealing elements can be neglected in the calculations. Due to the segment concept, the longitudinal joints merely consist of concreting joints. In this respect, theoretically largely standard forces are transferred within the ring. The base fill installed when the rings are cut open further reduces the minimal remaining bending moments, which are directed inwards.

The developing stresses around the segment breakthrough are investigated using an unrolling disc with 300 mm thickness. The entire transverse joint opening is modelled (Fig. 11). In this system the ring standard force is applied as a line load in both the upper and lower edge (Fig. 12). The general conditions along the lateral ring joints are selected in such a way that the displacements in the ring plane are free and the line bearing reactions are only activated in the longitudinal direction of the tunnel. The annular joint is not prevented from opening (i.e. pure pressure contact or lack of tension).

The positions of the longitudinal joint can be neglected with the exception of unfavourable positioning of the keystone, as the entire system is largely overloaded both longitudinally as well as in the direction of the ring. The case is investigated in which the keystone is in an unfavourable position to the opening for assessing possible kinematics.

Depending on the size of the opening the central segments are completely cut through. Thus it is essential that the forces prevailing in the segment ring are diverted via shear connectors. The connectors consist of a steel pipe, which is filled with concrete. As a result the forces acting on the connector are transferred to the next segment ring via the pipe and the infill concrete. Each of the annular joints above and below the openings must be secured with 2 x 2 connectors, in other words a total of 8, to assure the bearing safety of



11 Systemmodellierung Tübbingsicherung Querschlagsöffnung
(Ersteller ILF Zürich)
System modelling securing the segments of the cross-passage opening
(compiled by ILF Zurich)

des Querschlags. Somit weisen die verbleibenden, aussen liegenden Tübbingringe jeweils eine Restbreite von 1,25 m auf. Die Betrachtung bei den Nischen erfolgte analog; nur sind sie in ihren Abmessungen wesentlich kleiner und die verbleibende Restbreite der Tübbingringe beträgt 0,85 m.

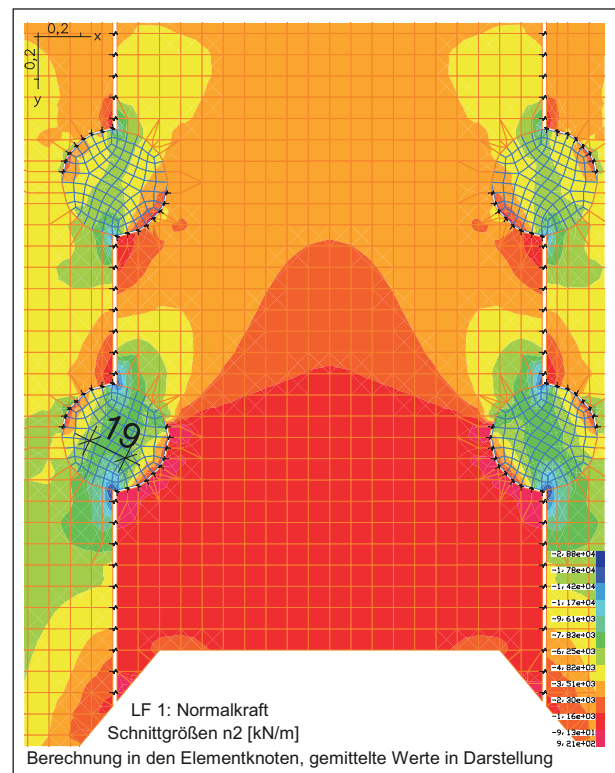
Die Ermittlung der Beanspruchung und der Kraftumlenkung erfolgt über die im Ring maximal mögliche Ringnormalkraft aus der Tübbingstatik des Projektverfassers. Um die Fugenausbildung vollflächig 2000 x 300 mm zur Lastabtragung heranzuziehen, werden die Längsfugen im Bereich der Öffnungen verfüllt bzw. verpresst. Die aussenliegenden Führungskanäle für die umlaufenden Dichtungselemente können in den Berechnungen vernachlässigt werden. Bedingt durch das Tübbingkonzept sind in der Längfugenausbildung reine Betonierfugen vorhanden. Hierbei werden theoretisch zum überwiegenden Teil Normalkräfte im Ring übertragen. Die zum Zeitpunkt des Aufschneidens der Ringe eingebaute Sohlauffüllung reduziert die geringen verbleibenden, nach innen gerichteten Biegemomente noch weiter.

the cross-section of a negotiable cross-passage. Inclined longitudinal joints at the keystone should also be secured by an additional connector next to the opening (Fig. 13). Generally speaking a minimum gap of 500 mm is maintained between the longitudinal joints and the connectors. A bevelled cutting procedure is carried out in the corners (30° in the direction of the ring) in order to favour the development of stresses. The cutting paths must be adhered to exactly as every deviation can signify the residual cross-section is correspondingly weakened.

In order to ensure that the system's tensioning is confined as much as possible, minimise opening of joints or relief during cutting, attain proper joint contact and additionally enhance industrial safety, the temporary fittings for the segments were retained around the openings.

The negotiable cross-passages possess considerably larger dimensions and require a 7.0 m wide and 9.7 m high cavity. The safety concept for the segments is applied in similar fashion and an increased level of safety is needed on account of the calculation and the fact that the floor in the corresponding area is not installed on account of the presence of the utility duct. Altogether 24 connectors and 3 IBO anchors with a central ring position are installed above the negotiable cross-passages as an additional provision against the completely severed 3 rings collapsing.

The cutting course in the corners is inclined or bevelled to facilitate favourable stress development. In order to avoid overcut-



12 Statische Berechnung der Normalkraft (Ersteller ILF Zürich)
Static calculation of standard force (compiled by ILF Zurich)

Der Spannungsfluss um den Tübbingdurchbruch wird anhand einer abgewinkelten Scheibe mit einer Dicke von 300 mm untersucht. Es wird die gesamte Querverbindungsöffnung modelliert (Bild 11). Die Ringnormalkraft wird auf dieses System sowohl im oberen als auch im unteren Rand als Linienlast aufgebracht (Bild 12). Entlang der seitlichen Ringfugen sind die Randbedingungen derart gewählt, dass die Verschiebungen in der Ringebene frei sind und Linienlagerkräfte nur in Tunnellängsrichtung aktiviert werden. Ein Öffnen der Ringfuge wird nicht behindert (d.h. reiner Druckkontakt bzw. Zugausfall).

Mit Ausnahme von ungünstigen Lagen des Schlusssteins sind die Längsfugenlagen vernachlässigbar, da das gesamte System sowohl in Längs- als auch in Ringrichtung weitgehend überdrückt ist. Für die Beurteilung einer allfälligen Kinematik wird der Fall untersucht, bei dem der Schlussstein in ungünstiger Lage zur Öffnung liegt.

Bedingt durch die Grösse der Öffnung werden die mittleren Tübbinge vollständig durchschnitten. Es ist daher erforderlich, die Ableitung der im Tübbingring herrschenden Kräfte über Schubdübel zu gewährleisten. Die Dübel bestehen aus einem Stahlrohr, das mit Beton kraftschlüssig verfüllt ist. Daher werden die auf den Dübel wirkenden Kräfte über das Rohr und den Füllbeton auf den nächsten Tübbingring weitergeleitet. Zur Gewährleistung der Tragsicherheit für den Querschnitt eines begehbaren Querschlages sind die Ringfugen oberhalb und unterhalb der Öffnungen mit je 2 x 2 Dübeln, also insgesamt 8 Dübeln, zu sichern. Geneigte Längs-

ting in the corners during the cutting process 150 mm diameter core drilling was executed in all the section corners. The cutting courses are selected in such a way that they affect the outer edge of the sealing level. Any remaining overcut courses are backfilled with the excavation support for the cavity.

A segment ring is only weakened to a necessary minimum. The cutting edges of the segment ring subsequently become the outer edge of the sealing level. The inner edge facing the clearance area is tackled during a second working phase to ensure that the waterproofing membrane is permanently redirected.

In the area where the freezing method is applied, the connectors are not produced over the entire 300 mm segment thickness in contrast to the connectors in the other openings to prevent ingressing water during the drilling process. The core drilling for the shear connectors first takes place after freezing. Towards this end anchoring is extended to 4 annular joints with a total of 16 connectors and then actuated by grouting after the deformations caused by freezing pressure have ceased. An adapted mortar recipe was selected for the plugging mortar or rather for grouting the annular space. This also hardens given the prevailing low temperature or rather dew point conditions.

6.3 Concept of Freezing Method

The application of ground freezing measures for creating cross-passages and niches in soft material essentially fulfils 2 tasks. On the one hand, the frozen body that is formed



13 Tübbingsicherung bei einem befahrbaren Querschlag
Securing the segments for a negotiable cross-passage

fugen am Schlusstein, deren Öffnungswinkel zur Querverbindung hin öffnet, sind ebenfalls mit einem zusätzlichen Dübel neben der Öffnung zu sichern (Bild 13). Generell wird zwischen Längsfugen und Dübel ein Mindestabstand von 500 mm eingehalten. Die Schnittführung wird in den Ecken gebrochen ausgeführt (30° zur Ringrichtung), um den Spannungsfluss zu begünstigen. Die Schnittverläufe sind strikt einzuhalten, da jede Abweichung eine entsprechende Schwächung des Restquerschnittes bedeuten kann.

Um die Verspannungen des Systems gering zu halten, ein Öffnen von Fugen bzw. ein Aufatmen beim Schneiden zu minimieren, einen satten Fugenkontakt zu erhalten und um die Arbeitssicherheit zusätzlich zu erhöhen, wurden die temporären Verschraubungen der Tübbingsteine um die Öffnung herum belassen.

Die befahrbaren Querschläge weisen wesentlich grössere Dimensionen auf und benötigen eine 7,0 m breite und 9,7 m hohe Aussparung. Das Sicherungskonzept der Tübbinge wird analog angewendet und es resultiert aufgrund der Berechnung und dem Umstand, dass die Sohle im entsprechenden Bereich infolge der Anbindung des Werkleitungskanals nicht eingebaut ist, ein erhöhter Sicherheitsaufwand. Insgesamt werden 24 Dübel und als zusätzliche Lagesicherung gegen Hereinklappen der vollständig durchtrennten 3 Ringe oberhalb des befahrbaren Querschlages 3 IBO-Anker mit mittiger Ringlage eingebaut.

Die Schnittführung erfolgt in den Ecken geneigt bzw. gebrochen, um einen günstigen Spannungsfluss zu ermöglichen. Um kein Überschneiden in den Ecken während des Schnittvorganges zu erhalten, werden vorgängig in allen Schnittecken Kernbohrungen mit einem Durchmesser von 150 mm ausgeführt. Die Schnittführungen sind so gewählt, dass diese die Aussenkante der Abdichtungsebene tangieren. Allfällige verbleibende Überschneidungen werden mit der Ausbruchsicherung des Hohlraumes verfüllt.

Ein Tübbingring wird nur auf ein erforderliches Minimum geschwächt. Die Schnittkanten des Tübbingrings werden dabei zur späteren Aussenkante der Abdichtungsebene. Um eine dauerhafte Umlenkung der Abdichtungsfolie herzustellen, wird die Innenkante zum Lichtraum hin in einem zweiten Arbeitsgang abgefast.

Im Bereich des Gefrierfahrens erfolgte die Herstellung der Dübel im Gegensatz zu den Dübeln in den anderen Öffnungen nicht über die gesamte Tübbingdicke von 300 mm, um Wassereintritte während des Bohrprozesses zu verhindern. Die Kernbohrungen für die Schubdübel erfolgten erst nach dem Aufgefrieren. Dabei wurde die Verdübelung auf 4 Ringfugen mit insgesamt 16 Dübeln ausgedehnt und erst nach den abgeklungenen Verformungen zufolge Vereisungsdruck kraftschlüssig verpresst. Für den Stopfmörtel bzw. die Ringraumverpressung zwischen Stahlring und Tübbingbeton wurde eine angepasste Mörtelrezeptur verwendet, welche



14 Eingesetzter Preventer für die Bohrungen der Gefrierlanzen
Preventer used for drilling the freezing lances

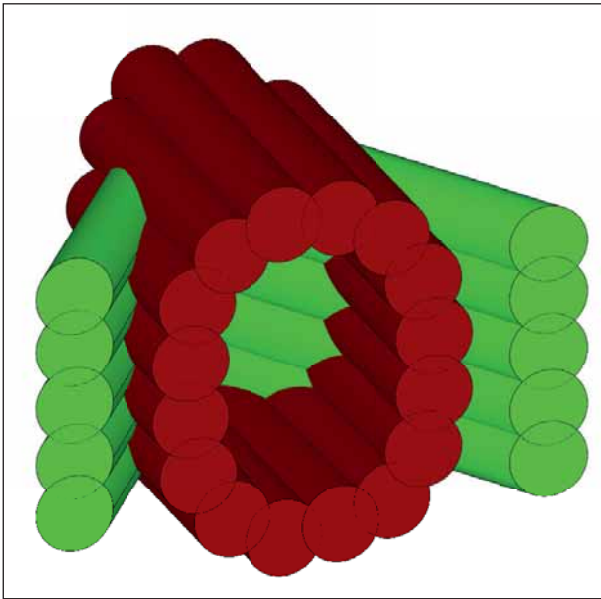
takes on a static function by increasing the ground's bearing capacity and temporarily accepting the water and earth pressure, until the support has been installed and becomes correspondingly capable of bearing load. On the other hand, the closed frozen body established in the ground safely seals the cross-passage and niches that are being driven to the segments against the prevailing water.

Preventer drilling is undertaken from the first main bore around the cross-passage being excavated to improve the surrounding soil. Freezing lances are introduced in the holes in which the cooling fluid (brine) circulates at a temperature of approx. -35 °C, which removes heat from the soil and cools it down to such an extent until a closed frozen body is created. On account of the slight difference in temperature when using brine as a coolant – in contrast to nitrogen freezing – the freezing process takes a long time. The required distance between the individual lances depends on the soil's thermal characteristics, the drilling length and the tolerable deviations of the horizontal drilling. The segments are pre-drilled by core hole drilling to a predetermined depth, geometrically adapted preventer plates with drilling jars and seals are attached and the drilling for freezing purposes is carried out firstly when they are in place (Fig. 14).

It must be additionally ensured when arranging the freezing lances for a niche that a closed frozen body can be formed (Figs. 15+16).

An insulating layer of Styrodur plates is placed on the inner side of the segment so that no large-area loss of heat occurs and freezing is made easier at the segmental bore.

The pressure within the frozen body increases owing to the growing volume as soon as it is closed. The enclosed water



15/16 Schematische Darstellung des geschlossenen Gefrierkörpers für eine Nische
Schematic presentation of the closed frozen body for a niche

auch bei den vorhandenen tiefen Temperatur- bzw. Taupunktverhältnissen abbündet.

6.3 Konzept Gefrierverfahren

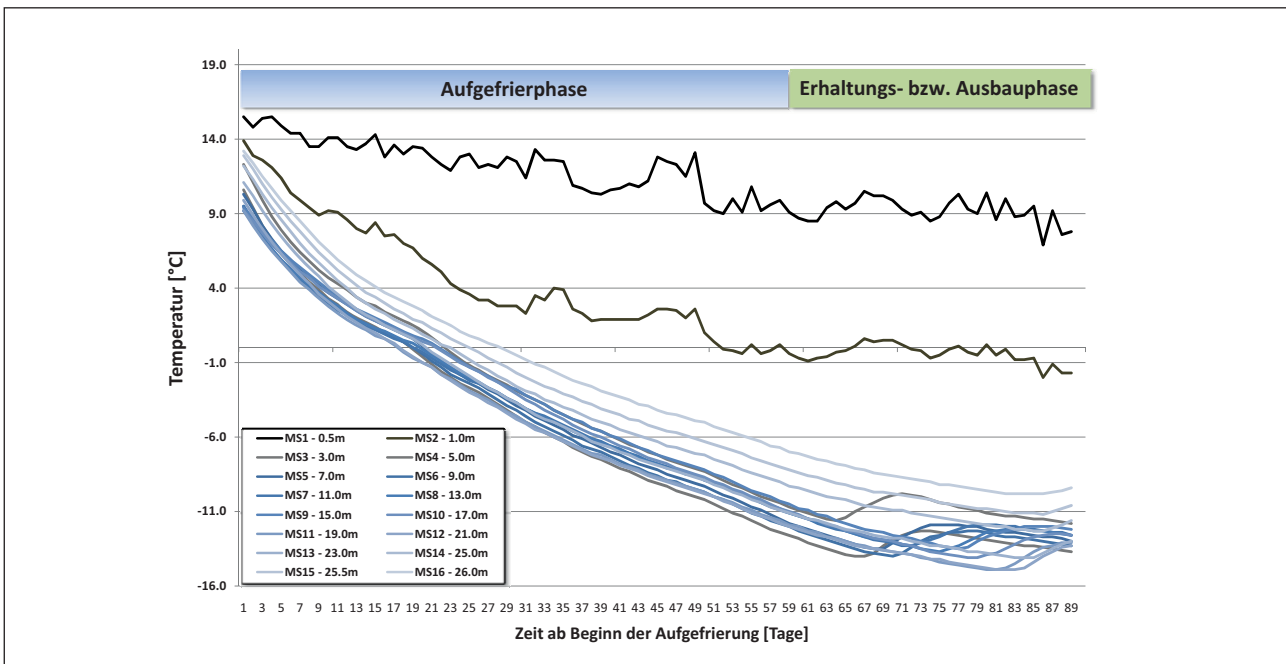
Der Einsatz von Bodenvereisungsmassnahmen bei der Herstellung von Querschlägen und Nischen im Lockermaterial erfüllt grundsätzlich 2 Aufgaben. Einerseits übernimmt der gebildete Frostkörper eine statische Funktion, indem

must be drained off by means of special drill holes. Steel bracings are installed in the main bore as an additional measure to stabilise the segments (Fig. 17).

During the freezing procedure, the forming of the frozen body must be monitored constantly through temperature measurements and compared with the calculations. The temperature measuring chains are set up in and around the



17 Stahlaussteifung zur Stabilisierung der Tunnelröhre infolge Aufbau des Gefrierdrucks einer Nische
Steel bracing to stabilise the tunnel bore following build-up of freezing pressures in a niche



18 Temperaturverlauf der Sensoren in der Bohrung T02 (Querschlag) über die Zeit
Time-related temperature curve of the sensors in the drill hole T02 (cross-passage)

er die Tragfähigkeit des Bodens erhöht und temporär den Wasser- und Erddruck aufnimmt, bis die Sicherung eingebaut und entsprechend tragfähig ist. Andererseits dichtet der geschlossene, im Boden aufgebaute Frostkörper den aufzufahrenden Querschlag bzw. die Nischen und die Anschlussbereiche an die Tübbinge gegen das anstehende Wasser sicher ab.

Zur Ertüchtigung des anstehenden Bodens werden aus der ersten Hauptröhre heraus Preventerbohrungen rund um den auszubrechenden Querschlag angeordnet. In die Bohrungen werden Vereisungslanzen eingeführt und darin zirkuliert die Kühlflüssigkeit (Sole) mit einer Temperatur von ca. -35°C, die dem Boden Wärme entzieht und so weit abkühlt, bis ein geschlossener Gefrierkörper entsteht. Aufgrund des geringen Temperaturgefälles beim Einsatz des Kälteträgermittels Sole – im Gegensatz zur Stickstoffvereisung – dauert



19 Sicherungsarbeiten im gefrorenen Querschlag
Supporting work in the frozen cross-passage

frozen body's cross-section so that expansion of the frozen zone can be determined. The measured data of the temperature measuring lances, the surface temperatures as well as the flow and return temperature of the brine are registered continuously and assessed (Fig. 18).

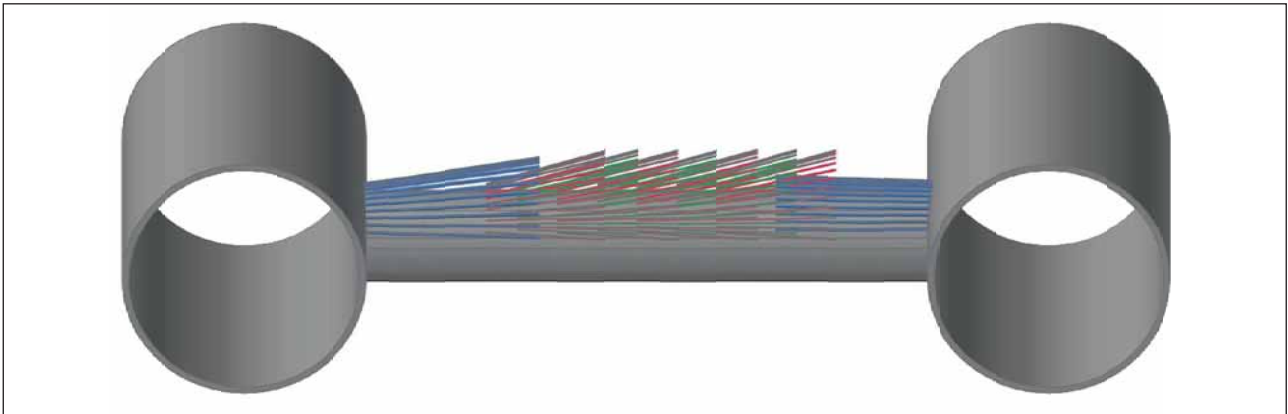
Through the appropriate setting up of the monitoring measures for the freezing method it can be determined whether a further water ingress during the drive has been stopped effectively (Fig. 19).

6.4 Optimising the Ancillary Measures for Construction in the Cross-Passages and Niches

As freezing represents a cost-intensive ancillary measure during construction, the client proposed that additional exploratory drilling should be executed from the surface and from the main tunnel on the basis of the findings obtained when driving the first main bore to obtain further information leading to optimisation.

The vertical exploratory drilling from the surface in the proximity of a cross-passage as well as additional drilling from the main tunnel led to a more detailed geological interpretation. The stable drill holes without direct water ingresses were equipped with piezometer tubes and monitored over a lengthy observation period.

Several short drilling series in the niche areas and in the second cross-passage confirmed the observations from the main drive and led to a clear reduction in the overall freezing measures required. Only 1 cross-passage and altogether 7 niches from the original 2 + 12 were subjected to the freezing method.



20 Optimierung der Bauhilfsmassnahme mittels vorgängig erstellten Rohrschirmen aus den beiden Hauptröhren (blau) und Spiessschirmen während des Vortriebs
 Optimising the ancillary measures for construction by means of previously produced pipe umbrellas from the 2 main bores (blue) and lance umbrellas during the drive

der Aufgefriervorgang lange. Der erforderliche Abstand der einzelnen Lanzen ist abhängig von den thermischen Eigenschaften des Bodens, der Bohrlänge sowie den tolerierbaren Abweichungen der horizontalen Bohrungen. Die Tübbinge werden mittels Kernbohrungen bis auf eine vorbestimmte Tiefe vorgebohrt, geometrisch angepasste Preventerplatten mit Schlagschiebern und Dichtungen (Bild 14) aufgedübelt und erst durch diese heraus erfolgen die Gefrierbohrungen.

Bei der Anordnung der Gefrierlanzen für eine Nische ist zusätzlich darauf zu achten, dass sich ein geschlossener Eiskörper ausbilden kann (Bild 15, 16).

Auf der Tübbinginnenseite wird eine Isolierung aus Styrodurplatten aufgebracht, damit kein grossflächiger Wärmeabfluss stattfindet und das Angefrieren an die Tübbingröhre erleichtert wird.

Der Druck innerhalb des Gefrierkörpers steigt infolge Volumenzunahme, sobald dieser geschlossen ist. Das eingeschlossene Wasser ist durch spezielle Bohrungen mit Manometerüberwachung zu drainieren. Als zusätzliche Massnahme werden zur Tübbingstabilisierung in der Hauptröhre Stahlaussteifungen eingebaut (Bild 17).

Während des Gefriervorgangs ist die Frostkörperbildung mittels Temperaturmessungen laufend zu überwachen und mit den Berechnungen zu vergleichen. Die Temperaturmessketten werden im und um den Querschnitt des Frostkörpers angeordnet, sodass die Ausdehnung des aufgefrorenen Körpers ermittelt werden kann. Die gemessenen Daten der Temperaturmesslanzen, die Oberflächentemperaturen sowie Vorlauf- und Rücklauf-temperatur der Sole werden kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet (Bild 18).

Durch die geeignete Anordnung der Überwachungsmassnahmen beim Gefrierverfahren kann sichergestellt werden, dass ein weiterer Wasserzutritt beim Vortrieb (Bild 19) wirkungsvoll unterbunden wird.

Alternative ancillary measures for construction were considered for the niches and cross-passage excavated without application of the freezing methods. The niches were provided with a double short pipe umbrella. For geometrical reasons, the negotiable cross-passage was produced using a combination of pipe umbrellas and lance umbrellas (Fig. 20).

Pipe umbrellas were produced from both main bores (Fig. 21). The drive took place from 1 bore and in the central section it proceeded with the use of lance umbrellas for geometrical reasons. The drives were secured by overlapping drainage drill holes and face anchors.

7 Conclusions

Optimisation measures were only made possible through intensive cooperation between the client, project engineer and the joint venture and thanks to the willingness displayed on all sides. In the project in hand, the Biel East Bypass, the invited main driving methods in soft ground were altered through a systematic approach in the form of an extended risk analysis with detailed incident analyses and action plans. An EPB machine with 12.60 m excavated diameter was applied. In this connection, highly permeable layers with a minimal overburden of 5 m were successfully penetrated.

A conceptionally straightforward and economic system for securing the segments for creating the cross-passages and niches was chosen. Thanks to the choice of system with flexible but effective supporting measures for the segment rings that required cutting, no additional constraints were created for possible optimisations of ancillary measures for construction in the subsequent cross-passages and niches. Through targeted, additional exploration of the geological conditions from the main bores and the surface, in conjunction with a detailed assessment of the driving data from the TBM excavation and the extended risk analysis based on this, the required ancillary measures for construction could be substantially optimised for execution.

6.4 Optimierung der Bauhilfsmassnahmen in Querschlägen und Nischen

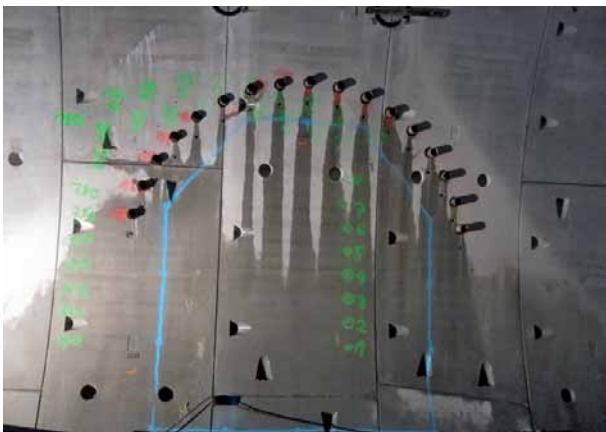
Weil es sich bei der Gefriermassnahme um eine kostenintensive Bauhilfsmassnahme handelt, hat die Bauherrschaft aufgrund der Vortriebserfahrungen der ersten Hauptröhre angeregt, dass mittels zusätzlichen Erkundungsbohrungen von der Oberfläche aus und aus dem Haupttunnel heraus weiterführende Aufschlüsse erlangt werden, um Optimierungen umzusetzen.

Die vertikalen Erkundungsbohrungen ab der Oberfläche im Bereich eines Querschlages sowie die zusätzlichen Bohrungen aus der Hauptröhre haben zu einer detaillierteren geologischen Interpretation geführt. Die standfesten Bohrungen ohne unmittelbare Wasserzutritte wurden mit Piezometerrohren ausgestattet und über einen längeren Beobachtungszeitraum überwacht.

Die mehreren kurzen Bohrungen in den Nischenbereichen sowie im zweiten Querschlag bestätigten die Beobachtungen aus dem Hauptvortrieb und führten zu einer deutlichen Reduktion der erforderlichen gesamten Gefriermassnahmen. Von den ursprünglich 2 Querschlägen und 12 Nischen wurden lediglich 1 Querschlag und insgesamt 7 Nischen mit dem Gefrierverfahren ertüchtigt.

Für die ohne Gefriermassnahmen ausgebrochenen Nischen und Querschläge wurden alternative Bauhilfsmassnahmen eruiert. Die Nischen wurden mit einem doppelten kurzen Rohrschirm versehen. Aus geometrischen Gründen erfolgte für den begehbaren Querschlag eine Umsetzung mit einer Kombination von Rohrschirmen und Spiessschirmen (Bild 20).

Aus beiden Hauptröhren heraus wurden Rohrschirme erstellt (Bild 21). Der Vortrieb erfolgte aus einer Röhre heraus und ging im mittleren Bereich aus geometrischen Gründen mittels Einsatz von Spiessschirmen weiter. Die Vortriebe wurden durch überlappende Drainagebohrungen und Ortsbrustanker gesichert.



21 Aus der Hauptröhre vorab erstellter Rohrschirm im Bereich des Querschlages
Pipe umbrella produced in advance from the main bore in the vicinity of the cross-passage

Literatur/References

- [1] Assenmacher, S.; Heimann, M.; Hicking, W.; Seibitz, M.; Wirtz, C.: Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung innovativer Techniken im maschinellen Tunnelbau, Tunnelbau 2010 (2010)
- [2] Boeheim, S.; ILF Zürich: Statische Dimensionierungen Tübbingdurchbrüche SOS-Nischen, Querverbindungen begehrbar und befahrbar (Fels, Lockergestein und Gefrierverfahren) (2011, 2012)
- [3] British Tunnelling Society in association with the Institution of Civil Engineers (BTS/ice): Closed-Face Tunnelling Machines and Ground Stability, A guideline for best practice (2005)
- [4] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB): Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen (Stand 10/2010)
- [5] Friedemann, W.; Frodl, St.: Planung von Querschlägen für maschinell aufgefahrene Tunnel, Heft 2, Felsbaumagazin 2010 (2010)
- [6] Handke, D., Maidl, B.; Maidl, R.: Bauverfahrenstechnische Prozessabhängigkeiten als Steuerungselemente zur Risikominimierung bei der Realisierung von Schildprojekten – Vorstellung einer Risikostrategie auf der Basis baupraktischer Erfahrungen, Tunnelbau 2006 (2006)
- [7] Handke, D.: Stand der Schildvortriebstechnik, Heft 2, Felsbaumagazin 2011 (2011)
- [8] Maidl, U.: Bodenconditionierung bei Erddruck- und Flüssigkeitsschilden, Tunnelbau 2002 (2002)
- [9] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G.: Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb, 2. Auflage (2011)
- [10] Rieker, K.: Vergleich von stützdruckgeregelten Schildvortriebsmethoden bei Anwendung in heterogenen Baugrundbedingungen, Tunnelbau 2005 (2005)
- [11] Sennhauser, U.: Lockergesteinsstrecke des Längholtunnels – Wahl des Vortriebsverfahrens. Tagungsunterlagen Kolloquium: Maschinelle Vortriebe im Lockergestein (2008)
- [12] Quadri, A.; Sennhauser, U.; Straumann, U.: N5 Umfahrung Biel – Ostast; Schliessung der Lücke im schweizerischen Nationalstrassennetz, SBI 5/08 (2008)



22 Durchschlag des zweiten Längholtunnels
Breakthrough of the second Längholz Tunnel

7 Schlussfolgerungen

Nur dank einer intensiven Zusammenarbeit zwischen Bauherr, Projektingenieur und Arbeitsgemeinschaft und der allseitigen Bereitschaft können Optimierungsmassnahmen erfolgreich umgesetzt werden. Im vorliegenden Projekt der Umfahrung Biel Ostast wurde durch eine systematische Vorgehensweise in Form einer erweiterten Risikoanalyse mit detaillierten Störfallanalysen und Massnahmenplänen das ausgeschriebene Hauptvortriebsverfahren im Lockermaterial geändert. Zur Anwendung gelangte eine EPB-Maschine mit einem Ausbruchdurchmesser von 12,60 m. Dabei konnten erfolgreich hoch durchlässige Schichten mit minimalster Überdeckung von 5 m aufgefahren werden.

Im vorliegenden Projekt wurde ein konzeptionell einfaches und wirtschaftliches System für die Tübbingsicherung bei der Querschlags- und Nischenerstellung gewählt. Durch diese Systemwahl mit den flexiblen, aber wirkungsvollen Sicherungsmassnahmen der aufzuschneidenden Tübbingringe wurden keine zusätzlichen Zwangsbedingungen für allfällige Optimierungen von Bauhilfsmassnahmen in den nachfolgenden Querschlägen und Nischen geschaffen. Mit einer zielgerichteten, zusätzlichen Erkundung der geologischen Verhältnisse aus den Hauptrohren und ab der Oberfläche, verbunden mit einer detaillierten Auswertung der Vortriebsdaten aus dem TVM-Vortrieb und der darauf aufbauenden erweiterten Risikoanalyse, konnten die notwendigen Bauhilfsmassnahmen für die Ausführung wesentlich optimiert werden.

Projektbeteiligte / Project Participants

Bauherrschaft und Oberbauleitung / Client and overall project management :

Tiefbauamt des Kantons Bern,
Abteilung Nationalstrassenbau /
Foundation Engineering Office of the Canton of Berne,
department for national highway construction

Örtliche Bauleitung / Local site management:

UBOT Umfahrung Biel örtliche Bauleitung /
UBOT Biel Bypass local site management

Projektverfasser Büttenbergtunnel / Project designer Buttenberg Tunnel:

Emch+Berger AG, Bern

Projektverfasser Längholtunnel / Project designer Längholz Tunnel:

INGE BBA:

Bächtold&Moor AG, Bern
B+S AG, Bern
Allemand Jeanneret Schmid AG, Neuchâtel
Kissling+Zbinden AG, Spiez/Biel

Geologie und Geotechnik / Geology and geotechnics:

Kellerhals+Haefeli AG, Bern

Bauausführung /

Geology and geotechnics:

ATUBO ARGE Tunnels Umfahrung Biel Ostast /

ATUBO JV Tunnels Biel East Bypass:

Walo Bertschinger AG, Bern/Zürich
PORR Suisse AG, Altdorf
Specogna Bau AG, Kloten

Flavio Chiaverio, Dipl. Bauing. ETH/SIA, A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel/CH

3. Röhre Belchentunnel

Wahl der Vortriebsverfahren

Bei der Planung eines Untertagebauwerkes ist die Wahl des optimalen Vortriebsverfahrens eine der wesentlichsten Aktivitäten. Das Vorgehen, wie der Hohlraum ausgebrochen, gesichert und verkleidet wird, setzt in den meisten Fällen eine wichtige Marke für die weiteren Planungsschritte. Im Beitrag wird dies am Beispiel der 3. Röhre des Belchentunnels dargestellt.

3rd Tunnel Bore of Belchen Tunnel

Choice of Driving Methods

The optimal choice of driving method represents one of the priorities for planning an underground structure. The procedure for excavating, supporting and lining the cavity is an important indicator in most cases for the further planning stages. This report emphasises this factor taking the example of the 3rd bore for the Belchen Tunnel.

1 Einleitung

Das gewählte Verfahren hat nicht selten einen massgeblichen Einfluss auf Termine, Kosten und Umweltbeeinflussung während des Baus. Es ist deshalb notwendig, sich in früher Projektphase systematisch mit der Frage der optimalen Vortriebsverfahren auseinander zu setzen. Eine falsche Wahl kann sich entsprechend ungünstig auf den Projekterfolg auswirken. Neben rein qualitativen Überlegungen ist es je nach Projekt auch zweckmässig, die Vortriebswahl aufgrund quantitativer Risikoüberlegungen zu festigen.

2 Methoden zur Wahl der Vortriebsmethode

2.1 Allgemeines

Bereits in früher Projektphase sind Planer und Bauherr gefordert, Entscheidungen betreffend die Vortriebswahl zu fällen. Dazu gilt es als Erstes, einen Kriterienkatalog mit den die Vortriebsmethode bestimmenden Kriterien zu erstellen. Es ist jedoch zu beachten, dass, wenn keine zwingenden Gründe vorliegen, die Vortriebswahl nicht zu früh gefällt wird, um den wirtschaftlichen Spielraum und die innovativen Möglichkeiten im Unternehmerwettbewerb nicht unnötigerweise vorzeitig einzuschränken.

2.2 Vortriebsmethoden

Die Grundlagenliteratur bietet eine Übersicht über die heute gängigen Vortriebsmethoden, wobei auch immer wieder projektspezifische Kombinationen auftreten. U.a. gibt die SIA-Norm 198 eine schematische Übersicht der Vortriebsverfahren [1]. Dabei wird unterschieden in Vortriebe im Fels und im Lockergestein. Ähnliches findet sich auch im deutschen

1 Introduction

The selected method frequently exerts a determining influence on deadlines, costs and environmental impact during construction. It is thus essential to deal systemically with the issue of the optimal driving methods at an early stage of the project. A wrong choice can have a correspondingly unfavourable effect on the project's success. Apart from pure qualitative considerations, it is also advisable to decide the type of excavation on the basis of quantitative risk considerations.

2 Approaches for Choosing the Driving Methods

2.1 General

Planners and client are required to come up with decisions regarding the driving method from early on in the project. Towards this end, there is first of all a catalogue of criteria containing the criteria determining the driving methods. However, care must be taken to ensure that the choice of driving method is not carried out prematurely unless there is a good reason for it so that the economic room for manoeuvring and the innovative possibilities engendered by competition among contractors is not unnecessarily restricted.

2.2 Driving Methods

Fundamental literature provides an overview of today's current driving methods, whereby project-specific combinations also keep occurring. Among other things, the SIA Norm 198 affords a schematic survey of driving methods [1]. A difference is drawn between driving in rock and in soft ground.

Troisième galerie du tunnel du Belchen

Choix de la méthode d'excavation

Le choix de la méthode optimale d'excavation est l'une des activités essentielles dans la planification d'un ouvrage souterrain. La manière dont la cavité va être creusée, sécurisée et revêtue constitue dans la plupart des cas un repère important pour les étapes suivantes de la planification. L'article le démontre à l'exemple de la 3e galerie du tunnel du Belchen.

3° tubo della galleria del Belchen

Scelta del metodo di avanzamento

Durante la progettazione di una costruzione sotterranea, la scelta ottimale del metodo di avanzamento è una delle attività più importanti. Il procedimento di scavo, messa in sicurezza e rivestimento di una cavità, nel maggior numero dei casi influisce sulle fasi di progettazione successive. Nel seguente articolo, ciò viene illustrato prendendo come esempio il 3° tubo della galleria del Belchen.

und im österreichischen Normenwerk. Die Methoden sind zwar die gleichen, nur stimmt die Terminologie nicht immer überein. Im Folgenden soll aus rein formalen Gründen die Bezeichnung aus dem schweizerischen Umfeld verwendet werden, ohne damit die Abweichung zu den Nachbarländern werten zu wollen (Bild 1).

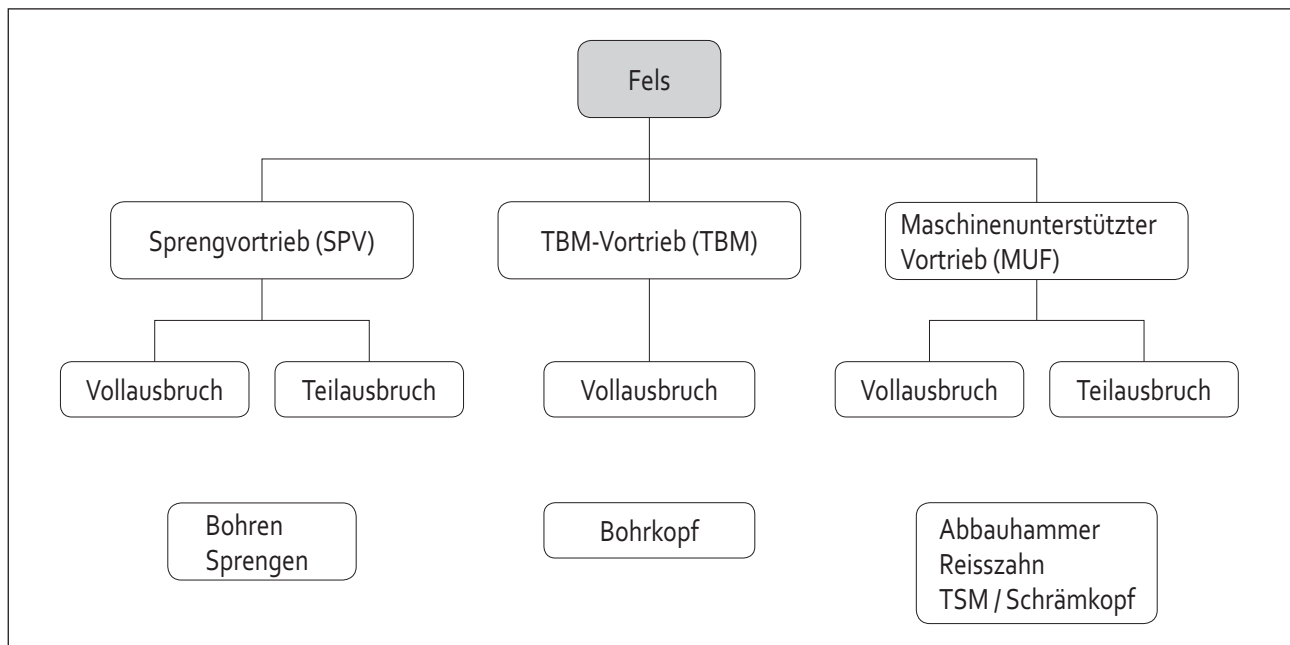
2.3 Kriterien zur Wahl des Vortriebsverfahrens

Die Projektanforderungen bestimmen die Wahl der möglichen Vortriebsverfahren massgeblich. Dabei ist zu unterscheiden, welche der Anforderungen zwingend zu erfüllen sind (sogenannte Musskriterien) und welche, die offen in der Erfüllung sind (sogenannte Sollkriterien). In einem ersten Projektschritt gilt es, diese Anforderungen zu definieren. Zwingende Anforderungen können sein: das Einhalten von Gesetzen, Verordnungen, Umweltvorgaben, Auflagen aus Plangenehmigungsverfahren oder Terminvorgaben.

Similar approaches are to be found in the German and Austrian standards. The methods are admittedly the same even although the terminology is not always identical. In the following the description as applied in Switzerland will be used without discriminating against what is practised in its neighbouring countries (Fig. 1).

2.3 Criteria for choosing the Driving Method

The demands of the project govern the choice of possible driving methods to a large extent. A distinction must be drawn here with regard to the mandatory requirements to be fulfilled (so-called essential criteria) and those, which remain open regarding fulfilment (so-called desired criteria). It is essential to define these requirements during an initial phase of the project. Mandatory requirements can be: adherence to legislation, stipulations from planning approval proceedings or provisions on deadlines.



1 Vereinfachtes Schema nach SIA 198 für Vortriebe im Fels
Simplified diagram after SIA 198 for drives in rock

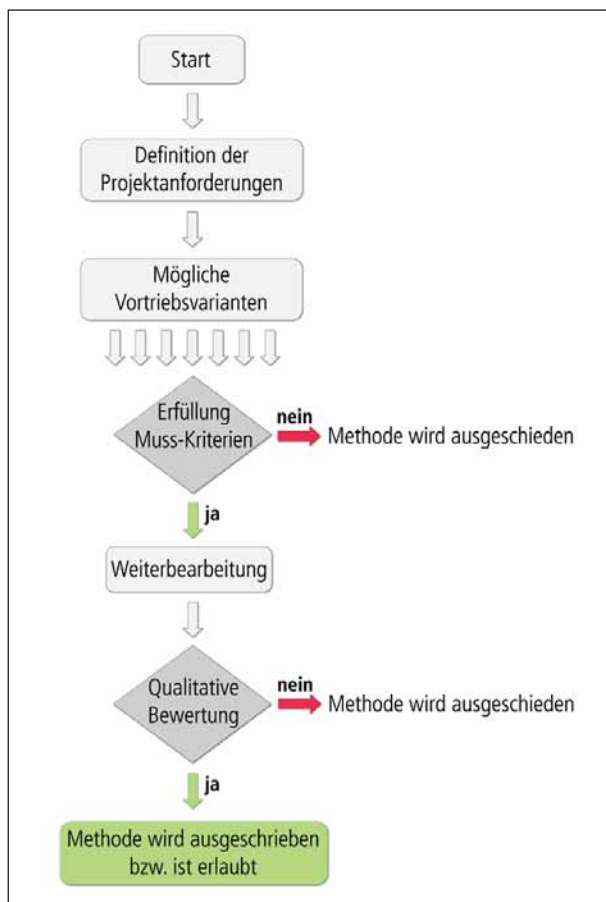
Aus den Baugrundeigenschaften ergibt sich eine weitere Menge von Kriterien, welche die einzelnen Vortriebsverfahren gut bis gar nicht erfüllen können. Für eine erste Auswahl der unterschiedlichen mechanischen Vortriebsverfahren bietet sich die revidierte Empfehlung der DAUB an [2]. In Anlehnung an Ehrbar et al [3] kann das Vorgehen gemäss Bild 2 erfolgen.

Häufig ist diese rein qualitative Beurteilung nicht ausreichend für eine Auswahl von optimalen Vortriebsmethoden. Mit der Risikoanalyse bietet sich eine Methode an, die versucht, die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der Vortriebsverfahren projektspezifisch zu quantifizieren. Diese Methode wurde u.a. auch bereits beim Projekt „Adlertunnel“ (SBB Neubaustrecke Bahn 2000) [4] angewendet. Für die Planung des Sanierungstunnels Belchen kam ebenfalls eine solche Risikoanalyse zur Anwendung.

3 Sanierungstunnel Belchen (STB)

3.1 Projektgeschichte

Im Dezember 1970 wurde das Teilstück der Nationalstrasse N2 in den Kantonen Basel-Landschaft und Solothurn mit dem 3,2 km langen Belchentunnel dem Verkehr übergeben. Dieser Tunnel ist heute einer der wichtigsten Abschnitte auf der Nord-Süd-Verbindung und hat aktuell einen DTV von rund 50 000 Fahrzeugen (Bild 3).



2 Ablaufschema zur Bestimmung des Vortriebsverfahrens
Sequence diagram for determining the driving method

A further range of criteria stem from the ground characteristics, which can fulfil the individual driving methods either completely or not at all. The revised DAUB recommendation [2] is available for an initial selection of the different mechanised driving methods. The procedure can be applied on the basis of Ehrbar et al [3] in accordance with Fig. 2.

Frequently this purely qualitative evaluation does not suffice for choosing optimal driving methods. The risk analysis provides a method, which attempts qualify the various strengths and weaknesses of the driving methods tied to specific projects. This method was among other things applied for the “Adler Tunnel” project (SBB new rail route Bahn 2000) [4]. A risk analysis of this kind was also applied for planning the Belchen Tunnel redevelopment scheme.

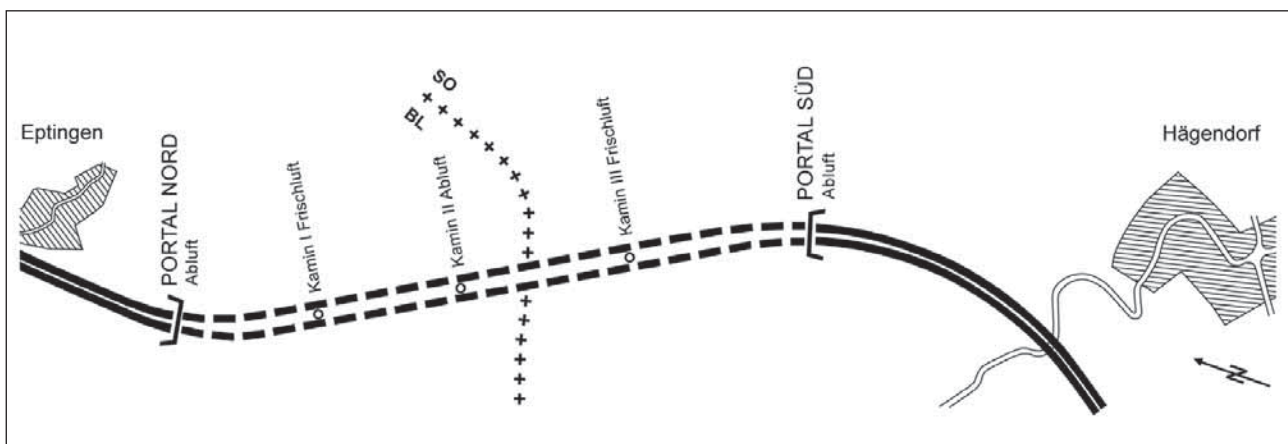
3 Belchen Tunnel Redevelopment (STB)

3.1 Project History

In December 1970, the part-section of the national highway N2 in the cantons of Basle-Landschaft and Solothurn including the 3.2 km long Belchen Tunnel was opened for traffic. Today, this tunnel represents one of the most important sections on the north-south link and currently is frequented by around 50,000 vehicles per day (Fig. 3).

The Belchen Tunnel passes through typical Folded Jura rock formations. Around 20 % of the section length is located in limestone (incl. Hauptrogenstein, Liesberg layers) and 40 % in swelling tonstein. The starkly swelling gypsum keuper extends over 40 % of the entire length of the tunnel. The anhydrite swelling problem complex resulted in adjustments being made to the project during construction back in the 1960s. For instance, during construction around 500 m of base invert (Fig. 4) that was already concreted and badly damaged by anhydrite swelling had to be removed and replaced by a stronger and reinforced base invert.

During the 1980s and 90s, various local renovation jobs were undertaken. The measuring devices installed in the Belchen Tunnel clearly indicated that the swelling process had still not ceased so that the load on the tunnel’s bearing structure and in turn the frequency of damage would increase. This development meant that during future years and decades redevelopment work would be needed to an even greater extent. The concept for a general restoration was evolved in 1996/1997 against this background. This also included among other things the production of a test section for a drainage tunnel some 10 m below the tunnel bore. This test was aimed at establishing whether water could be removed from the gypsum keuper by means of systematic drainage drill holes to stop or at least delay the swelling process [6]. Planning for constructing a 3rd tunnel bore was pursued parallel to this. In this way, it would be possible to close one tunnel bore for future major redevelopment work, with 2 x 2 lanes still remaining open for traffic. The Federal Council approved the General Project sponsored by the cantons of Basle-Landschaft and Solothurn in 2003.



3 Heutige Situation (Schema)
Diagram depicting present situation

Der Belchentunnel durchquert die typischen Gesteinsformationen des Faltenjuras. Rund 20 % der Streckenlänge liegen in Kalkgestein (u.a. Hauptrogenstein, Liesbergerschichten) und 40 % in quellhaftem Tongestein. Der stark quellfähige Gipskeuper erstreckt sich auf 40 % der Tunnelgesamtlänge. Die Problematik des Anhydritquellens führte bereits während der Bauzeit in den 1960er Jahren zu Projektanpassungen. So mussten noch während des Baus rund 500 m bereits betoniertes und durch Anhydritquellen stark beschädigtes Sohlgewölbe (Bild 4) wieder abgebrochen und durch ein neues, stärkeres und bewehrtes Sohlgewölbe ersetzt werden [5].

In den 1980er und 1990er Jahren wurden verschiedene lokale Instandsetzungsarbeiten vorgenommen. Die im Belchentunnel installierten Messeinrichtungen zeigten deutlich, dass der Quellprozess noch nicht abgeschlossen ist und somit auch die Belastung auf das Tunneltragwerk und die Schadenshäufigkeit zunehmen werden. Diese Entwicklung wird dazu führen, dass in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zunehmend Sanierungsarbeiten notwendig werden. Mit dieser Vorgabe wurde 1996/1997 das Konzept einer Gesamtanierung erarbeitet. Dieses beinhaltete u.a. auch den Bau einer Versuchsstrecke eines Drainagestollens rund 10 m unter der Tunnelröhre. Der Versuch hatte das Ziel zu erkennen, ob mittels systematischer Drainagebohrungen dem Gipskeuper das Wasser entzogen und damit der Quellprozess gestoppt bzw. verzögert werden kann [6]. Parallel dazu wurde auch die Planung des Baus einer 3. Tunnelröhre vorangetrieben. Damit könnte für zukünftige grössere Instandsetzungsarbeiten jeweils eine Tunnelröhre gesperrt werden, während 2+2 Spuren immer für den Verkehr offen blieben. Das von den Kantonen Basel-Landschaft und Solothurn unterstützte Generelle Projekt wurde 2003 vom Bundesrat genehmigt.

In den Jahren 2000 bis 2003 erfolgte eine erste Instandsetzung der bestehenden Tunnelröhren. Es wurden vor allem sichtbare lokale Schäden (Risse, Abplatzungen) behoben und der Belag inkl. Bankettbereich erneuert. Anfang 2004 wurde das Projekt des Sanierungstunnels Belchen (STB),

The existing tunnel bores were renovated from 2000 till 2003. First and foremost, visible local damage (cracks, spalling) was remedied and the surfacing including the hard shoulders renewed. In early 2004, the Belchen Tunnel redevelopment (STB) scheme, as the project for the 3rd bore came to be officially known, was made public. Under the premise that constructing the additional tunnel bore did not lead to an increase in capacity, the project was correspondingly approved.

As the results of the test drainage tunnel failed to provide a clear picture, the construction and operation of the 3rd bore (tunnel development) represent the sole lasting solution to ensure that 2 x 2 lanes are available at all times in future on this important transport artery.

In summer 2012, the Federal Council took a further decision in favour of accomplishing redevelopment of the tunnel.

3.2 STB Project Overview

The planned Belchen Tunnel redevelopment is located to the west of the existing 2 tunnel bores. It begins at the north portal at Eptingen (Canton BL) and re-emerges at the south portal at the side of the existing tunnel on terrain belonging to the community of Hägendorf (Canton SO). The tunnel is



4 Durch Quelldruck zerstörtes Sohlgewölbe (1965)
Base invert destroyed by swelling pressure (1965)

3. Röhre Belchentunnel • Wahl der Vortriebsverfahren

wie das Projekt der 3. Röhre offiziell genannt wird, öffentlich aufgelegt. Unter der Prämisse, dass der Bau der zusätzlichen Tunnelröhre keine Kapazitätserweiterung darstellt, wurde das Projekt genehmigt und verfügt.

Da die Ergebnisse beim Versuchsdrainagegestollen kein eindeutiges Bild ergaben, stellen Bau und Betrieb der 3. Röhre (Sanierungstunnel) die einzige nachhaltige Lösung dar, auf dieser wichtigen Verkehrsachse zukünftig jederzeit 2x2 Fahrspuren gewährleisten zu können.

Im Sommer 2012 hat der Bundesrat einen weiteren Entscheidung zu Gunsten der Realisierung des Sanierungstunnels getroffen.

3.2 Projektübersicht STB

Der geplante Sanierungstunnel Belchen liegt westlich der bestehenden 2 Tunnelröhren. Er beginnt am Nordportal bei Eptingen (Kanton BL) und tritt beim Südportal auf Gemeindegebiet Hägendorf (Kanton SO) seitlich des heutigen Tunnels wieder zutage. Die Gesamtlänge des Tunnels beträgt 3,2 km. Der Abstand zur bestehenden Tunnelröhre Richtung Luzern beträgt minimal 30 m. Die Situation und das Längensprofil verläuft zumeist parallel zu den bestehenden Röhren; mit einem Hochpunkt in etwa Tunnelmitte (Bild 5, 6).

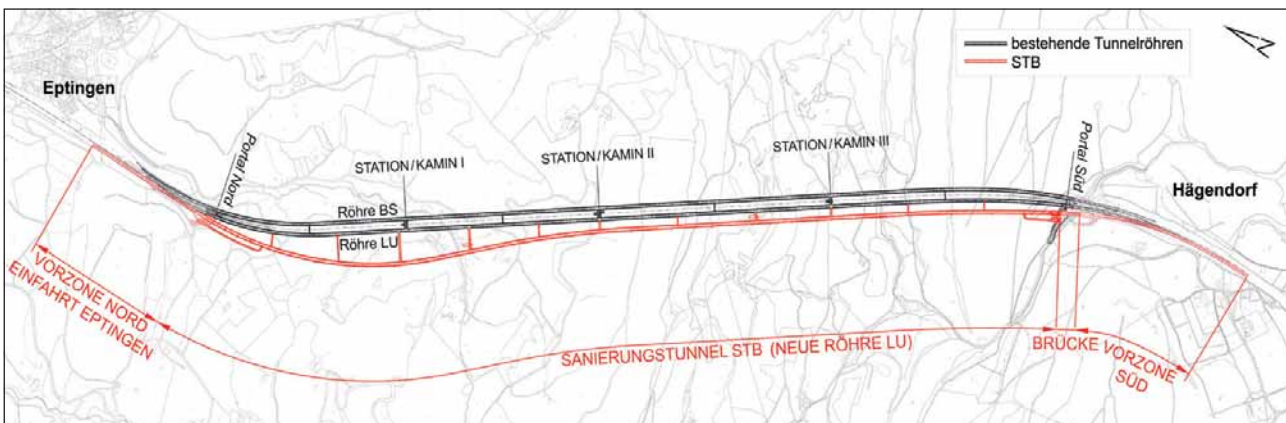
altogether 3.2 km long. The distance to the existing tunnel bore towards Lucerne amounts to a minimum of 30 m. The situation and the longitudinal profile mostly runs parallel to the existing bores; the apex lies roughly in the middle of the tunnel (Fig. 5, 6).

3.3 Geology

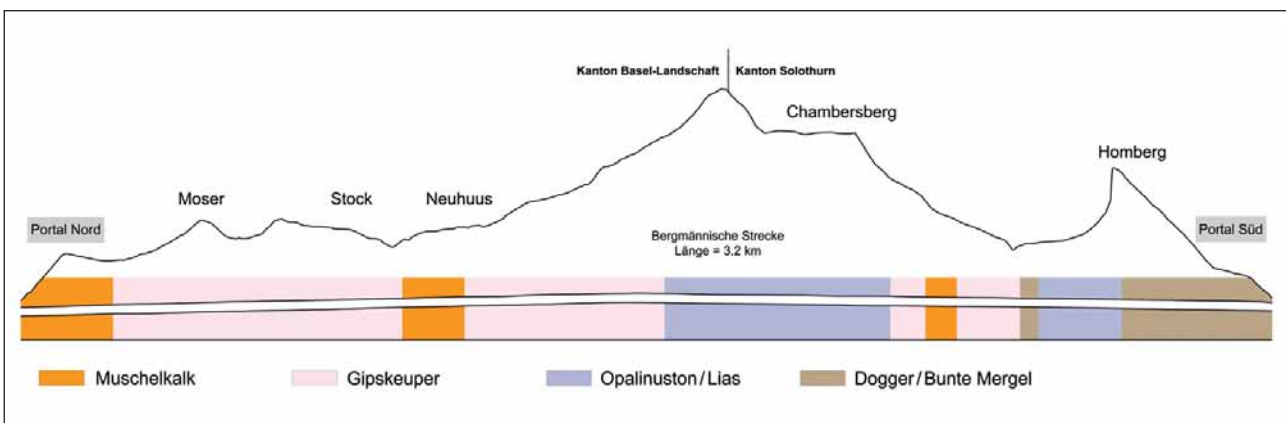
The Belchen Tunnel redevelopment passes through the mostly upright standing Folded Jura rock formations along its entire length (Fig. 6). The rock has been affected by intensive tectonics, which manifests itself in the formations being split into numerous joints and folds with horsts and grabens.

The tunnel runs through swelling rock over 80 % of its route. The gypsum keuper section accounting for some 40 % (approx. 1.2 km) determines the tunnel design. Absorption of water in gypsum keuper anhydrite leads to the chemical formation of gypsum thus resulting in an up to 60 % increase in volume. If the tunnel lining prevents this expansion in volume a swelling pressure of several MPa can build up on the tunnel structure in the course of years.

The absorption of water given hampered expansion also leads to swelling pressures in tonstein, which however, are considerably smaller than those in the gypsum keuper.



5 Situation mit Sanierungstunnel Belchen
Situation with Belchen Tunnel redevelopment scheme



6 Geologisches Profil
Geological cross-section

3.3 Geologie

Der Sanierungstunnel Belchen durchquert auf seiner ganzen Länge die meist steil stehenden Gesteinsschichten des Faltenjuras (Bild 6). Das Gebirge ist einer intensiven Tektonik unterworfen, was sich in einer Zergliederung der Formationen in zahlreiche Schuppen und Falten bzw. mit Horsten und Gräben manifestiert.

Auf rund 80 % der Strecke verläuft der Tunnel in quellhaftem Gestein. Bestimmend für das Tunneldesign ist dabei die Strecke des Gipskeupers mit rund 40 % (ca. 1,2 km). Die Aufnahme von Wasser führt im Anhydrit des Gipskeupers zu einer chemischen Umwandlung in Gips und damit verbunden zu einer Volumenzunahme von bis zu 60 %. Wird diese Volumenvergrößerung durch die Tunnelverkleidung behindert, so kann sich im Laufe der Jahre ein Quelldruck auf die Tunnelkonstruktion von mehreren MPa entwickeln.

Im Tongestein führt die Aufnahme von Wasser bei behinderter Dehnung ebenfalls zu Quelldrücken, die aber deutlich kleiner sind als im Gipskeuper.

3.4 Normalprofil

Die Wahl des Normalprofils der bergmännischen Tunnelstrecke richtet sich nach den Vorgaben der SIA-Normen und der

3.4 Standard Cross-Section

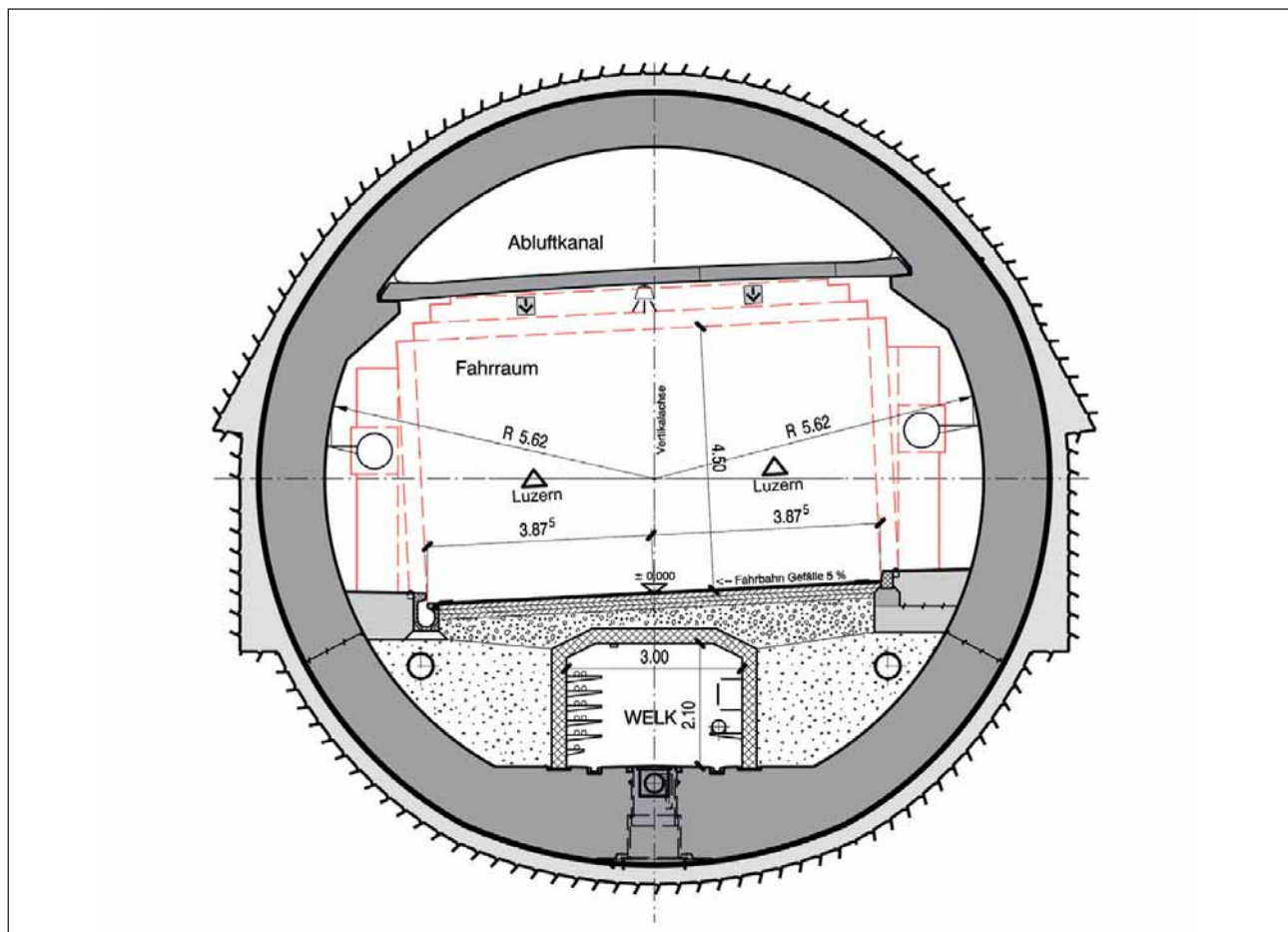
The choice of standard cross-section for the trenchless tunnel route is geared to the specifications contained in the SIA Norms and the ASTRA guidelines. The useable space amounts to 7.75 x 5.20 m in transport technical terms. An intermediate ceiling separates the exhaust air duct from the carriageway. The supply lines (electric cables, extinguishing water line etc.) run in an accessible utility conduit (WELK) below the carriageway (Fig. 7).

3.5 Project Requirements

Accomplishing the Belchen Tunnel redevelopment sets various requirements. In this connection, there is first and foremost the challenge of penetrating swelling rock zones, especially anhydrite gypsum keuper, which determines the route alignment and the choice of standard cross-section.

The swelling rock zones calls for speedy ring closure so that the swelling pressure that develops can be resisted as soon as possible. The intention is to produce the definitive bearing vault only 4 months after excavation and the placing of the first supporting shell (shotcrete or segments).

Taking the major swelling potential into consideration, a construction method, which treats the rock as gently as pos-



7 Normalprofil Sprengvortrieb
Standard cross-section drill & blast

ASTRA-Richtlinien. Der verkehrstechnische Nutzraum beträgt 7,75 x 5,20 m. Eine Zwischendecke trennt den Abluftkanal vom Fahrraum. Die Versorgungsleitungen (Elektroleitungen, Löschwasserleitung etc.) verlaufen in einem begehbaren Werkleitungskanal (WELK) unter der Fahrbahn (Bild 7).

3.5 Projektanforderungen

Die Realisierung des Sanierungstunnels Belchen stellt diverse Anforderungen. Im Vordergrund steht dabei das Durchfahren von quellhaften Gesteinszonen, insbesondere des anhydritführenden Gipskeupers, welcher die Linienführung und die Wahl des Normalprofils bestimmt.

Die quellhaften Gesteinszonen verlangen einen raschen Ringschluss, damit dem sich entwickelnden Quelldruck möglichst schnell ein Widerstand entgegengebracht werden kann. Es ist vorgesehen, dass bereits rund 4 Monate nach dem Ausbruch und dem Einbau der ersten Sicherungsschale (Spritzbeton oder Tübbing) die definitive tragfähige Gewölbe erstellt ist.

Unter Berücksichtigung des grossen Quellpotentials ist diejenige Baumethode, welche das Gebirge möglichst schonend abbaut, von Vorteil. Die vielen zu erwartenden Übergänge der Gesteinsschichten stellen eine bautechnische Herausforderung dar. Diese Zonen sind meistens tektonisiert, wasserführend und zuweilen wenig standfest.

4 Risikoanalyse beim STB

4.1 Allgemeines

Eine erste qualitative Betrachtung führte zu einer Auswahl grundsätzlich möglicher Vortriebsverfahren, die weiter zu verfolgen waren:

- Konventioneller Vortrieb (KVT) im Sprengvortrieb (SPV); möglicherweise kombiniert mit einem Teilschnittmaschinenvortrieb (Maschinenunterstützter Vortrieb im Fels – MUF)
- Maschineller Vortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM)

Aufgrund der speziellen geologischen Randbedingungen ist eine Bewertung und Gegenüberstellung der Vortriebsarten mittels einer Risikoanalyse zweckmässig. Man erhält dadurch nicht nur eine Aussage zum Vergleich der Methoden, sondern – was für den Projekterfolg ebenso wichtig ist – eine Übersicht über die Risiken und die Massnahmen, um diesen Risiken zu begegnen. Vortriebsmethoden mit zu hohen, nicht akzeptablen Risiken sollten denn auch von der Ausführung ausgeschlossen werden. Die Zielsetzungen der Risikoanalyse waren:

- Gegenüberstellung der Risiken einzelner Vortriebsmethoden
- Wahl der Vortriebsmethode(n) für die Submission
- Festlegung, welche Unternehmervarianten zugelassen werden können
- Ausschluss von Vortriebsmethoden mit zu hohem Risiko

sible, possesses advantages. The many transitions affecting the rock layers that are anticipated represent an engineering challenge. These zones are mostly tectonised, water-bearing and sometimes unstable.

4 Risk Analysis at the STB

4.1 General

An initial qualitative consideration led to a choice of essentially feasible driving methods, which were worth following up:

- Conventional driving (KVT) by drill & blast (SPV); possibly combined with a roadheader excavation (machine-supported drive in rock – MUF)
- Mechanised drive with a tunnel boring machine (TBM)

Owing to the special geological general conditions that prevailed it is advisable to apply a risk analysis to assess and compare the types of drive. This provides details for comparing the methods and an overview of the risks and project requirements to counter these risks – something equally important for the project's success. Driving methods that possess excessively high and thus unacceptable risks should then also be precluded from execution. The risk analysis's targets were:

- Comparison of the risks of individual driving methods
- Choice of driving method(s) for submission
- Determining permissible contractor's alternatives
- Precluding driving methods with excessively high risk

4.2 Choosing Driving Methods

The possible driving methods were listed and subjected to an initial qualitative appraisal on the basis of the specific project requirements and the geological conditions. In this connection, resources such as DAUB recommendations [2] were also applied in conjunction with excavations in similar rock formations.

Four driving methods emerged from this initial appraisal, which were compared to one another by risk analysis:

Driving method A:

drill & blast without measures (SPV):
blasting – crown, bench and floor

Driving method B:

drill & blast/TSM with measures (SPV/MUF):
pilot tunnel, "gentle" blasting – crown and bench, floor with roadheader (TSM)

Driving method C:

tunnel boring machine without measures (TBM)

Driving method D:

tunnel boring machine with measures (TBM)

"Measures" defines those method-specific variable actions, which minimise risks during excavation and long-term behaviour. For the conventional alternative (B), these include the following measures:

- Reducing lengths of advance in the transition areas of the geological layer sequences
- Reducing lengths of advance in gypsum keuper

4.2 Vortriebsmethoden-Auswahl

Aufgrund der spezifischen Projektanforderungen und den geologischen Verhältnissen wurden die möglichen Vortriebsmethoden aufgelistet und einer ersten qualitativen Bewertung unterzogen. Dabei gelangten gemäss den Erfahrungen mit Vortrieben in ähnlichen Gesteinsformationen auch Hilfsmittel wie z.B. die Empfehlungen des DAUB [2] zur Anwendung.

Aus dieser ersten Betrachtung haben sich 4 Vortriebsmethoden ergeben, die mittels der Risikoanalyse gegenübergestellt wurden:

Vortriebsmethode A

Sprengvortrieb ohne Massnahmen (SPV):

Sprengvortrieb Kalotte, Strosse und Sohle

Vortriebsmethode B

Sprengvortrieb/TSM mit Massnahmen (SPV/MUF):

Pilotstollen, „schonend“ Sprengen Kalotte u. Strosse, Sohle mit TSM

Vortriebsmethode C

Tunnelbohrmaschine ohne Massnahmen (TBM)

Vortriebsmethode D

Tunnelbohrmaschine mit Massnahmen (TBM)

Mit „Massnahmen“ werden jene methodenspezifischen, variablen Aktionen definiert, welche die Risiken beim Vortrieb und auf das Langzeitverhalten minimieren. Für die konventionelle Variante (B) sind dies u.a. folgende Massnahmen:

- Reduktion der Abschlagslängen in den Übergangsbereichen der geologischen Schichtfolgen
- Reduktion der Abschlagslängen im Gipskeuper
- Trockenbohrungen für Vorauserkundung und Ankerung in quellhaften Gesteinszonen
- Einhalten vorgegebener Ringschlusszeiten
- Systematische Vorauserkundungsmassnahmen über die gesamte Länge und zusätzlich in den prognostizierten Übergangs- und Störbereichen
- Drainagebohrungen
- Lokale Injektionen zur Verfestigung und Abdichtung
- Ausbruch des Sohlbereichs mit einer Teilschnittmaschine TSM (Abluft über vorgängig erstellten Pilotstollen)

Für die maschinelle Methode (D) sind u.a. folgende Massnahmen vorgesehen:

- Möglichkeit einer Vorauserkundung mittels Bohrungen über den Schild (verrohrt und unverrohrt) und durch den Bohrkopf (nur unverrohrt) – diese werden jeweils vor den vermuteten Übergangsbereichen ausgeführt und ermöglichen einen höheren Präzisionsgrad für die Festlegung weiterer Massnahmen
- Möglichkeit von Injektionen radial im rückwärtigen Bereich des Tübbingrings
- Möglichkeit von Injektionen über dem Schild und Bohrkopf sowie vorauseilend
- Möglichkeit von Injektionen durch den Bohrkopf
- Möglichkeit von GFK-Brustankerung durch den Bohrkopf
- Möglichkeit von Spiessen über dem Bohrkopf

- Dry drill holes for advance exploration and anchoring in swelling rock zones
- Adhering to predetermined ring closure times
- Systematic advance exploration measures over the entire length and additionally in the predicted transition and fault zones
- Drainage drill holes
- Local injections for consolidation and waterproofing purposes
- Excavating the invert area with a roadheader TSM (air expelled via previously produced pilot tunnel)

For the mechanised method (D) the following measures were foreseen among others:

- Possibility of advance exploration through drilling above the shield (lined and unlined) and through the cutterhead (only unlined) – these are undertaken in each case in front of the supposed transition areas and facilitate a higher degree of precision for establishing further measures
- Possibility of radial injections in the rear section of the segment ring
- Possibility of injections above the shield and cutterhead as well as in advance
- Possibility of injections through the cutterhead
- Possibility of GRP face anchoring through the cutterhead
- Possibility of lances over the cutterhead
- Possibility of drainage drill holes
- Possibility of circulating shield lubrication given incumbent rock
- Stop & go drive with part-excavations and immediate annular gap backfilling
- Securing immediate annular gap backfilling

4.3 Methodical Approach to Risk Analysis

The risk is defined mathematically as product of the probability of occurrence of damage and the extent of damage:

R = risk

P = probability that an incident (damage) occurs

K = cost estimate of an incident

A = number of incident possibilities relating to the STB

$$R = P \times (K \times A)$$

The product (K x A) is described in this connection as the extent of damage costs, i.e. which costs are to be expected for an incident when totalled up, that can be expected to occur on a number of occasions during the drive.

The possible risks are to be distinguished in 2 main groups particularly with respect to the STB:

- Risks, in the case of which the damage already occurs during construction (construction phase risks)
- Risks, in the case of which the damage first occurs a certain time after starting operation (long-term risks)

A quantitative assessment was only undertaken in conjunction with the construction phase risks. In contrast to other

3. Röhre Belchentunnel • Wahl der Vortriebsverfahren

- Möglichkeit von Entwässerungsbohrungen
- Möglichkeit von Schildschmierung umlaufend bei aufliegendem Gebirge
- Stop & Go-Vortrieb mit Teilhüben und sofortiger Ringspaltverfüllung
- Sicherstellung der sofortigen Ringspaltverfüllung

4.3 Methodik der Risikoanalyse

Das Risiko wird mathematisch als Produkt der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens und der Schadenshöhe definiert:

R = Risiko

P = Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis (Schaden) eintritt

K = Kostenabschätzung eines Ereignisses

A = Anzahl der Ereignismöglichkeiten in Bezug auf den STB

$$R = P \times (K \times A)$$

Das Produkt (K x A) wird dabei als Schadensausmasskosten bezeichnet, d.h. welche Kosten sind für ein Ereignis aufsummiert zu erwarten, das sich im Zuge des Vortriebes mehrfach ereignen kann.

Die möglichen Risiken sind speziell in Bezug auf den STB in 2 Hauptgruppen zu unterscheiden:

- Risiken, bei denen sich der Schaden bereits während des Baus einstellt (Bauphasenrisiken)
- Risiken, bei denen sich der Schaden erst nach einer gewissen Zeit nach der Inbetriebnahme einstellt (Langzeitriskiken)

Eine quantitative Bewertung erfolgte nur über die Bauphasenrisiken. Entgegen anderen Ansätzen (z.B. Risikoanalyse Adlertunnel [4]) wurden die Langzeitriskiken nur qualitativ beschrieben, da das Projekt, das bei allen Vortriebsmethoden als Basis gilt, diese Langzeitriskiken bereits aufnimmt. So erfolgte die Bemessung des Tunnelprofils auf den sich entwickelnden Quelldruck, und die Wahl einer Abdichtung sowie spezielle Betonrezepturen schützen das Gewölbe gegen Sulfat und Chloride im Bergwasser.

4.4 Szenarien

Zur Bestimmung des Projektrisikos wird auf die Ursache-Wirkungskette (Szenario) zurückgegriffen [7] (Bild 8).

Gemeinsam im Team von Ingenieuren und Geologen wurden mögliche Szenarien definiert und die Schadensausmasse ermittelt.

4.4.1 Szenario 1: Vortriebsstillstand infolge Problemzone

Das Szenario 1 basiert auf einem lokal begrenzten Versagen, wie Nachbrüchen aus dem First- und Ulmenbereich oder einem lokalen Versagen der Ortsbruststabilität. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde eine Grösse des Bereiches mit max. 25 m³ für alle Vortriebsmethoden angenommen (Bild 9).

approaches (e.g. Adler Tunnel risk analysis [4]), the long-term risks were only described qualitatively as the project, which applies as the basis for all driving methods, already includes these long-term risks. Thus dimensioning the tunnel cross-section was geared to the developing swelling pressure and the waterproofing as well as special concrete recipes for protecting the vault against sulphate and chlorides in underground water.

4.4 Szenarios

The cause-effect chain (scenario) is related to for defining the project risk [7] (Fig. 8).

Possible scenarios were jointly defined within the team of engineers and geologists and the extent of damage established.



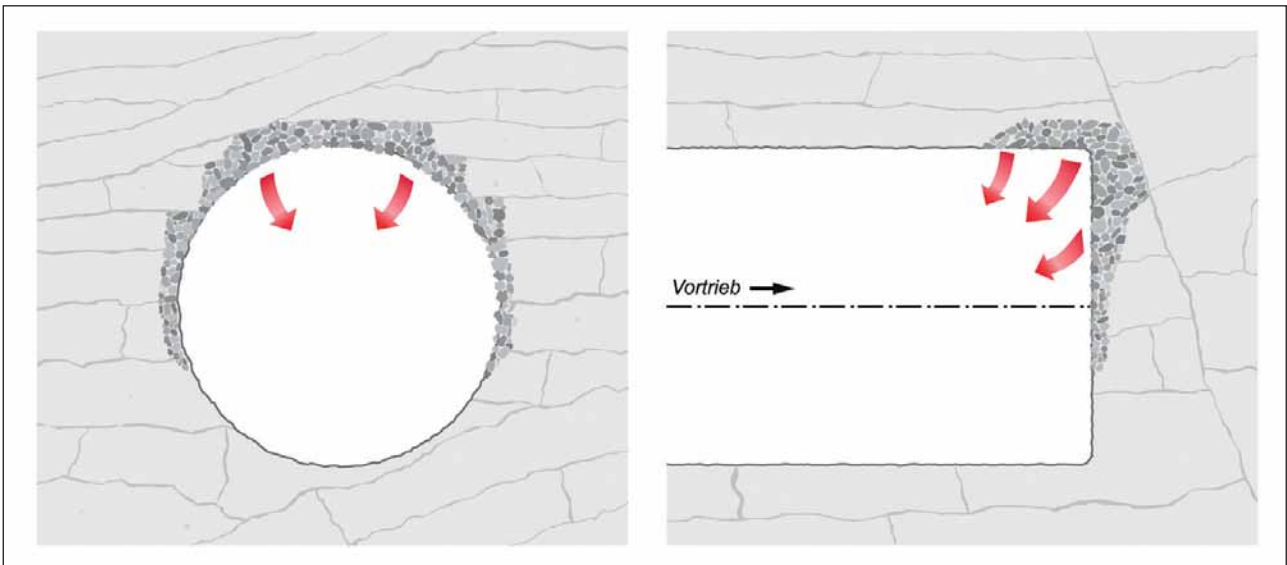
8 Ursache-Wirkungskette
Cause-effect chain

4.4.1 Szenario 1: Interruption in Driving owing to Problem Zone

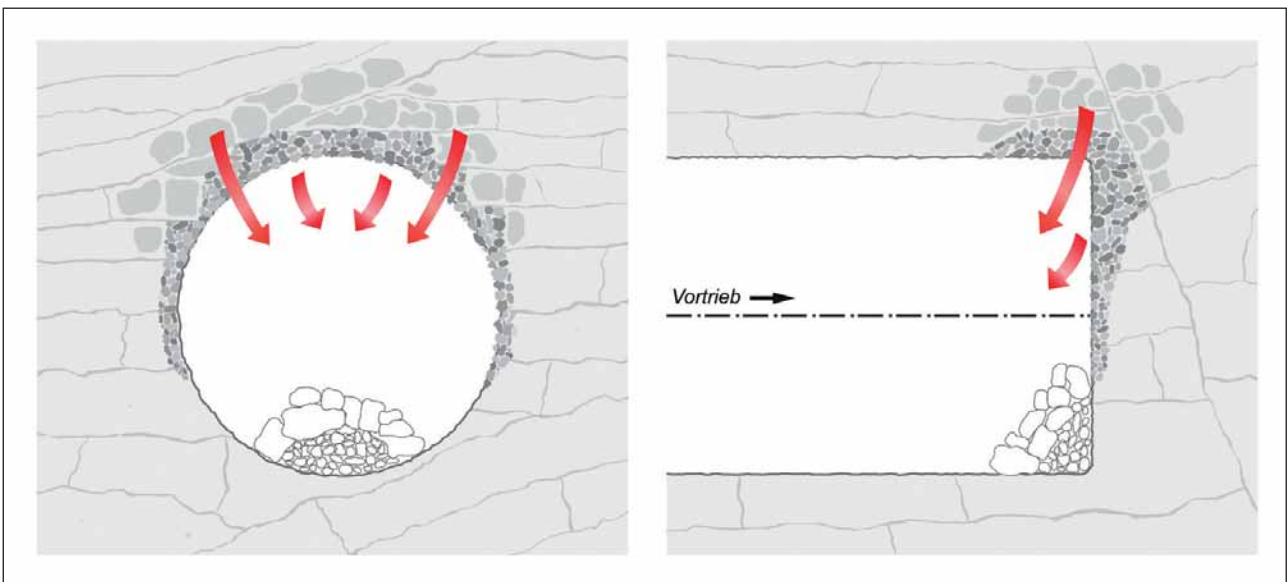
Scenario 1 is based on locally restricted failure such as caving from the roof and wall areas or local failure owing to face stability. For determining the resultant costs an area of max. 25 m³ was accepted for all driving methods (Fig. 9).

4.4.2 Szenario 2: Interruption in Driving owing to Problem Zone, which subsequently leads to a Collapse

Scenario 2 follows up on Scenario 1. It is not possible to overcome or redevelop all problem zones from Scenario 1 so that tunnelling can continue. After resorting to measures from Scenario 1 and resumption of the drive the system leads directly to a major hold-up in driving. Admittedly the incident is locally restricted although more extensive than in Case 1. The scenario can lead to a collapse.



9 Szenario 1: Vortriebsstillstand infolge Problemzone – lokal begrenzt
Scenario 1: interruption in driving as a result of problem zone – locally restricted



10 Szenario 2: Vortriebsstillstand infolge Problemzone mit anschliessendem Verbruch
Scenario 2: interruption in driving as a result of problem zone with resultant collapse

4.4.2 Szenario 2: Vortriebsstillstand infolge Problemzone, welche anschliessend zu einem Verbruch führt

Das Szenario 2 basiert als Folge auf Szenario 1. Nicht alle Problemzonen aus Szenario 1 können erfolgreich bewältigt bzw. saniert werden, so dass eine Weiterfahrt möglich ist. Nach Massnahmen aus Szenario 1 und Wiederaufnahme des Vortriebes führt das System direkt wieder zu einem Vortriebsstillstand mit grösserem Ausmass. Das Ereignis ist zwar lokal begrenzt, jedoch grossräumiger als im Fall 1. Das Szenario kann bis zum Verbruch führen.

Dies bedeutet ein grösseres Nachbrechen von Material aus dem First und Kämpferbereich bis ca. 250 m³ (Bild 10).

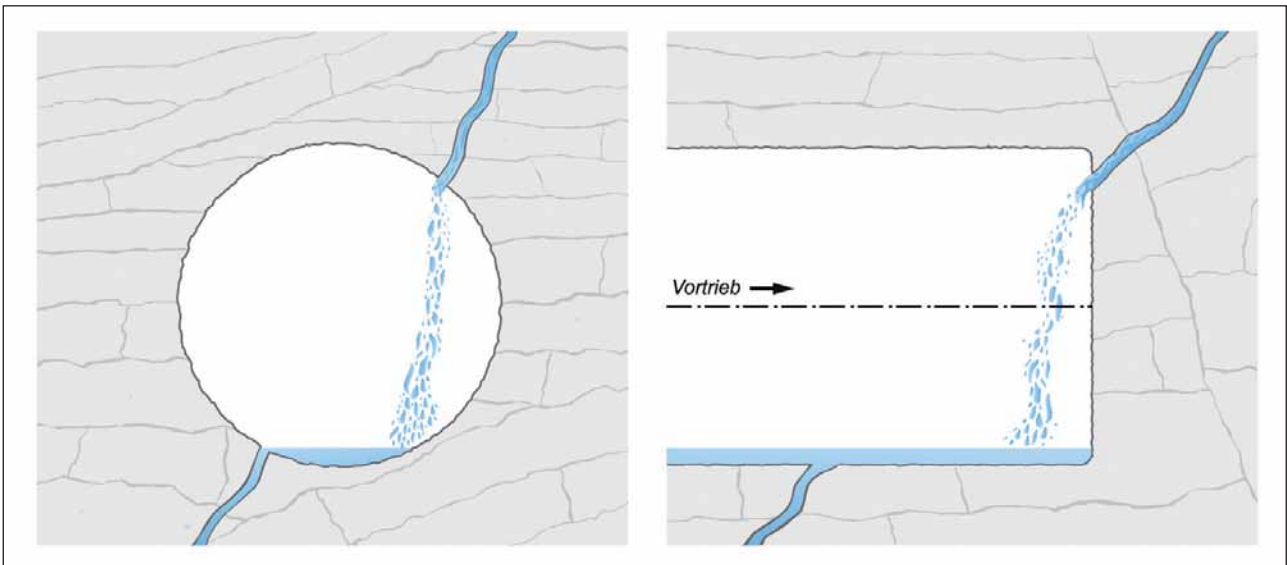
This signifies major amount of material caving in from the roof and wall areas of up to 250 m³ (Fig. 10).

4.4.3 Szenario 3: Interruption in Driving owing to ingressing Water

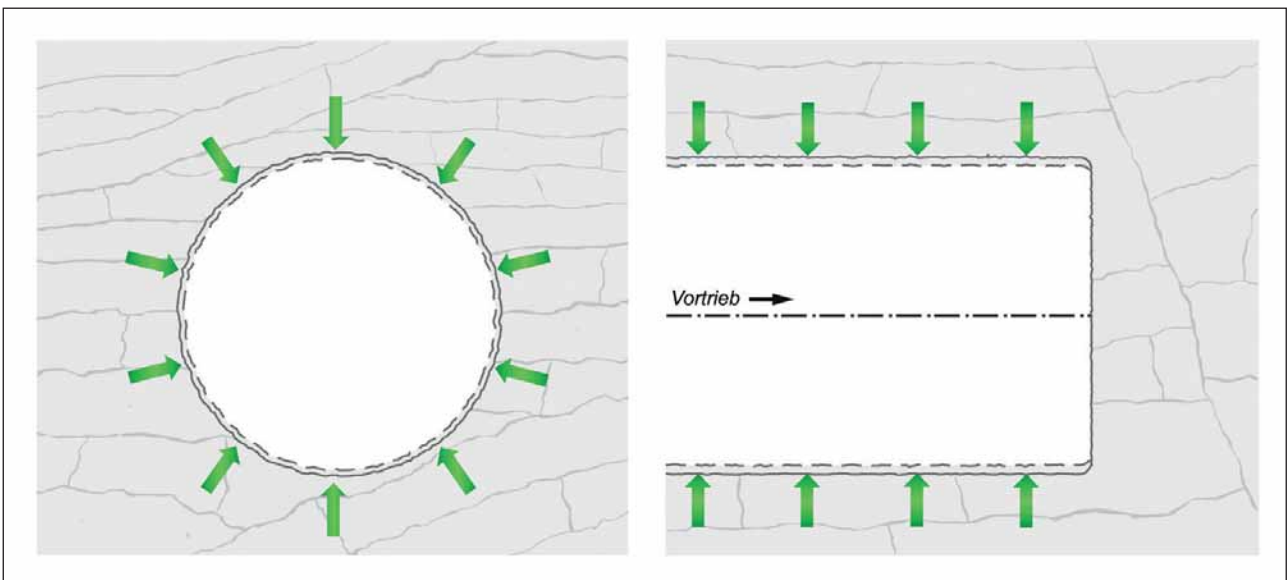
Scenario 3 is based on a locally situated incident, such as starkly ingressing water from an open fissure, encountering a water-bearing karst area, etc. An open fissure of up to 50 l/s for all driving methods was applied for establishing the resultant costs (Fig. 11).

4.4.4 Szenario 4: Interruption in Driving owing to rapid Swelling within 5 to 10 Days

Scenario 4 is based on a locally restricted section. For determining the subsequent costs, it was assumed that within 5



11 Szenario 3: Vortriebsstillstand infolge starkem Wasserzufluss aus offener Kluft
 Scenario 3: interruption in driving as a result of stark ingressing water from open fissure



12 Szenario 4: Vortriebsstillstand infolge raschem Quellen innert 5 bis 10 Tagen
 Scenario 4: interruption in driving as a result of rapid swelling within 5 to 10 days

4.4.3 Szenario 3: Vortriebsstillstand infolge Wasserzufluss

Das Szenario 3 basiert auf einem lokal situierten Ereignis, wie starkem Wasserzufluss aus einer offenen Kluft, Anfahren eines wasserführenden Karstbereichs etc. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde eine offene Kluft mit bis zu 50 l/s für alle Vortriebsmethoden angenommen (Bild 11).

4.4.4 Szenario 4: Vortriebsstillstand infolge raschem Quellen innert 5 bis 10 Tagen

Das Szenario 4 basiert auf einem lokal beschränkten Abschnitt. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde angenommen, dass innert 5 bis 10 Tagen ab Vortrieb eine starke Quellbeanspruchung auftritt und zu Schäden am Tragsystem auf 20 m Länge führt (Bild 12).

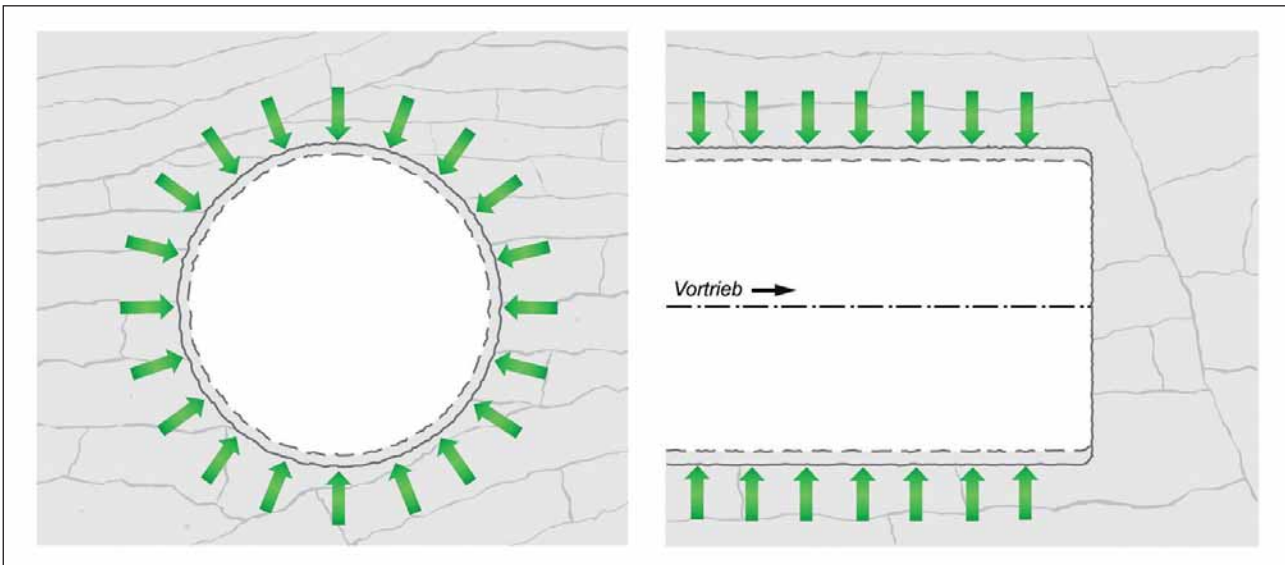
to 10 days after the drive, stark swelling ensues impacting on the bearing system over a length of 20 m (Fig. 12).

4.4.5 Scenario 5: Interruption in Driving owing to rapid Swelling within 20 to 30 Days

Scenario 5 is based on a locally restricted section. For determining the subsequent costs, it was assumed that within 20 to 30 days after the drive, stark swelling ensues impacting on the bearing system over a length of 20 m. This scenario signifies that the concreted base must be removed and the excavation support redeveloped for both driving methods (Fig. 13).

4.4.6 Scenario 6: Interruption to Driving owing to the Shield jamming on account of rapid Swelling

Scenario 6 is based on a locally restricted section given a



13 Szenario 5: Vortriebsstillstand infolge raschem Quellen innert 20 bis 30 Tagen
 Scenario 5: interruption in driving as a result of rapid swelling within 20 to 30 days

4.4.5 Szenario 5: Vortriebsstillstand infolge raschem Quellen innert 20 bis 30 Tagen

Das Szenario 5 basiert auf einem lokal beschränkten Abschnitt. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde angenommen, dass innert 20 bis 30 Tagen ab Vortrieb eine starke Quellbeanspruchung auftritt und zu Schäden am Tragsystem auf 20 m Länge führt. Dieses Szenario bedeutet, dass in beiden Vortriebsmethoden die betonierete Sohle abzurechen und die Ausbruchsicherung zu sanieren ist (Bild 13).

4.4.6 Szenario 6: Vortriebsstillstand infolge Verklemmen des Schildes bei raschem Quellen

Das Szenario 6 basiert auf einem längeren Stillstand der Vortriebsausrüstung (Schaden oder Szenario verbunden mit Stillstand) auf einem lokal beschränkten Abschnitt. Kritisch sind hier vor allem Übergänge in und aus dem Gipskeuper mit entsprechendem Wasserzutritt aus einer Kluft.

Anzumerken ist, dass im Projekt vorgesehen ist, Stillstände bedingt durch Weihnachtsabgänge ausserhalb der Gipskeuper-Abschnitte vorzugeben.

Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde angenommen, dass sich durch einen Stillstand innert kurzer Zeit ein rasches Quellen einstellt, welches zu einem Verklemmen des Schildes führt. Dieses Szenario bedeutet, dass in beiden Vortriebsmethoden mit TBM die betonierete Sohle abzurechen und die Ausbruchsicherung zu sanieren ist. Eine weitere Möglichkeit wäre die Überfirstung für eine Freilegung des Schildes (Bild 14).

4.4.7 Szenario 7: Vortriebsstillstand infolge Verbrauch im Karst Nord

Das Szenario 7 basiert auf einem weitreichenden Versagen im Karstabschnitt Nord, wie Verbrüche aus dem First- und

lengthy interruption of the driving installation (damage or scenario combined with interruption). Here transitions to and from the gypsum keuper are critical with corresponding ingressing water from a fissure.

It should be noted that it is intended to include in the project interruptions, which are caused by breaks for Xmas outside the gypsum keuper sections.

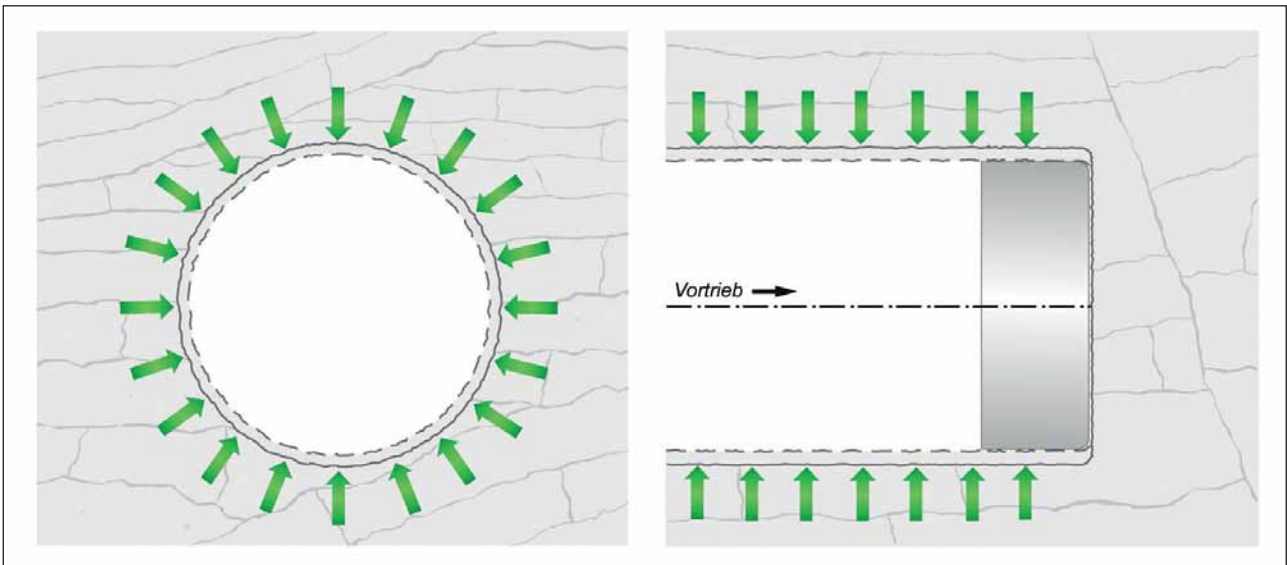
It was assumed for determining the subsequent costs that rapid swelling occurs within a short time as a result of an interruption, leading to the shield jamming. This scenario signifies that the concreted base has to be removed and the excavation support redeveloped for both TBM driving methods. A further possibility is a roof heading to free the shield (Fig. 14).

4.4.7 Scenario 7: Interruption in Driving owing to Caving at Karst North

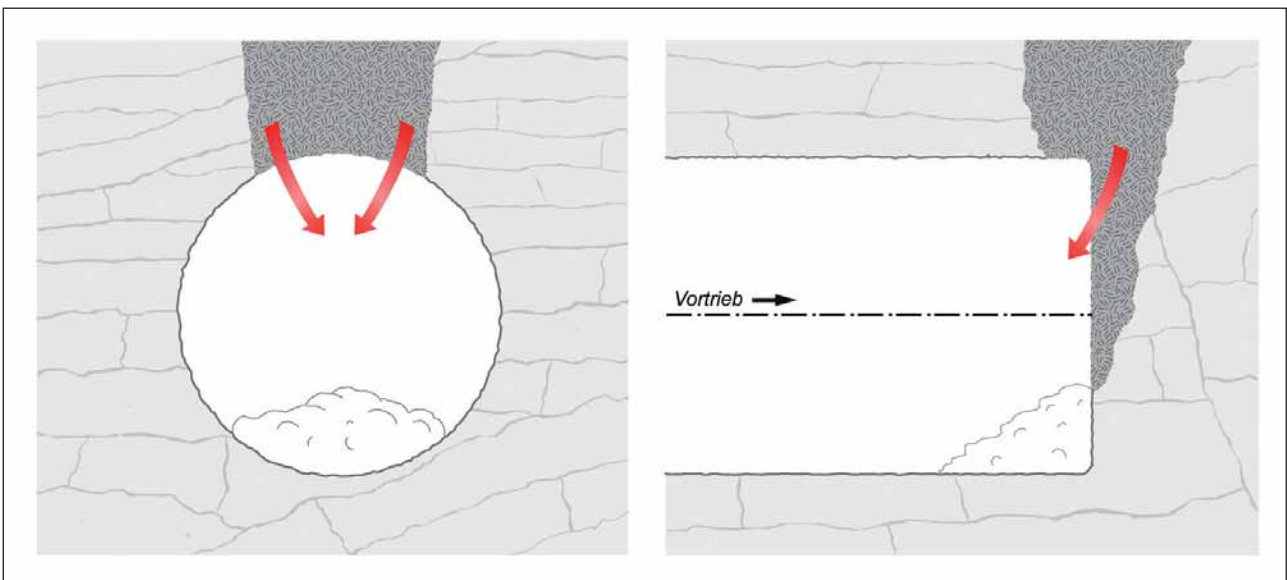
Scenario 7 is based on an extensive failure in the karst section north such as cave-ins from the roof and wall areas (amounting to roughly 500 m³) right up to caving to the surface or extensive failure of the face. For establishing the subsequent costs, a surface cave-in of 500 m³ with approx. 25 m of overburden was assumed for all driving methods. Fig. 15 depicts this scenario.

4.4.8 Scenario 8: Damage in existing Belchen Tunnel owing to Vibrations

Scenario 8 is based on a massive impairment of the existing tunnel bores resulting from negative environmental effects such as vibrations during the excavation process. For determining the subsequent costs, an interruption lasting up to one week as well as changing to gentle blasting was calculated (only relating to SPV without measures).



14 Szenario 6: Vortriebsstillstand infolge Verklemmen des Schildes bei raschem Quellen
 Scenario 6: interruption to driving as a result of the shield jamming given rapid swelling



15 Szenario 7: Vortriebsstillstand infolge Verbruch im Karst Nord
 Scenario 7: interruption in driving as a result of collapse in karst North

Umbereich (Größenordnung ca. 500 m³) bis hin zum Tagbruch, oder ein weitreichendes Versagen der Ortsbrust. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde ein Verbruch mit 500 m³ bei ca. 25 m Überlagerung für alle Vortriebsmethoden angenommen. Aus diesem Szenario ergibt sich Bild 15.

4.4.8 Szenario 8: Schäden im bestehenden Belchentunnel infolge Erschütterungen

Das Szenario 8 basiert auf einer massiven Beeinträchtigung der bestehenden Tunnelröhren durch negative Umweltauswirkung wie Erschütterungen im Abbauprozess. Für die Festlegung der Kostenfolgen wurde mit einer Unterbrechung der Vortriebsarbeiten bis 1 Woche und Umstellung auf schonendes Sprengen gerechnet (nur in Bezug auf SPV ohne Massnahmen).

4.5 Exemplary Risk Calculation for Scenario 2

Scenario 2, interruption in driving owing to problem zone, subsequently leading to a collapse, is presented as an example for calculating risks.

For the STB, problem zones with possible interruptions in driving were identified at 10 places based on the geological forecast (Scenario 1), with possible collapse predicted in 3 cases. The following extent of damage would result should this happen:

- Interruption of driving operations for a defined period with subsequent costs
- Redevelopment measures with subsequent costs
- Resumption of driving and a further, albeit larger collapse
- Further interruption of driving operations for a lengthy period with subsequent costs

4.5 Beispielhafte Risikoberechnung Szenario 2

Für die Risikoberechnung sei hier beispielhaft das Szenario 2, Vortriebsstillstand infolge Problemzone, welche anschliessend zu einem Verbruch führt, dargestellt.

Für den STB werden anhand der geologischen Prognose an 10 Stellen Problemzonen mit möglichem Vortriebsstillstand erkannt (Szenario 1), wobei sich daraus in 3 Fällen ein Verbruch entwickeln könnte. Im Eintretensfall ergibt sich das folgende Schadensausmass:

- Stillstand der Vortriebsarbeiten für einen definierten Zeitraum mit Kostenfolge
- Sanierungsmassnahmen mit Kostenfolge
- Wiederaufnahme Vortrieb und erneuter Verbruch
- Erneuter Stillstand der Vortriebsarbeiten für einen längeren Zeitraum mit Kostenfolge
- Sanierungsmassnahmen mit Kostenfolge
- Im TBM-Vortrieb:
 - Umgehungsstollen aus dem Nachläufer 1 bis in den Verbruchbereich bei zu grosser Überlagerung
 - Schachtbauwerk bei geringerer Überlagerung und Zugänglichkeit von Obertag mit vorausseilenden Sicherungsmassnahmen

4.5.1 Schadensausmass für SPV-Vortrieb ohne Massnahmen (Methode A)

Dauer (Stillstand Vortrieb)	5 Wochen
Anzahl Schichten	3
Anzahl MA je Schicht	15 Mann
Schichtzeit	9 h/d

Sicherung Ist-Zustand, Rohrschirm mit 10 bis 15 Rohren radial, Vortrieb mit verkürzten Abschlagslängen

4.5.2 Schadensausmass für SPV-Vortrieb mit Massnahmen (Methode B)

Dauer (Stillstand Vortrieb)	6 Wochen
Anzahl Schichten	3
Anzahl MA je Schicht	15 Mann
Schichtzeit	9 h/d

Sicherung Ist-Zustand, Rohrschirm mit 10 bis 15 Rohren radial, Vortrieb mit verkürzten Abschlagslängen (Tunnelbagger und TSM) und starker Sicherungseinbau

4.5.3 Schadensausmass für TBM-Vortrieb (Methoden C und D)

Dauer (Stillstand Vortrieb)	5 Monate
Anzahl Schichten	3
Anzahl MA je Schicht	15 Mann
Schichtzeit	9 h/d

Sicherung Ist-Zustand, Freilegen Bohrkopf von Hand, Injektionen als Vorausmassnahmen über Schildgassen, radiale Massnahmen zur Eindämmung, je nach Situation Einbau eines Rohrschirms im First mit 5 Etappen à 15 m, Vortrieb im Durchlaufbetrieb bis Zone durchörtert

- Redevelopment measures with subsequent costs
- In the TBM drive:
 - Bypass tunnel from back-up 1 to the collapsed area given excessive overburden
 - Shaft structure given shallow overburden and access from the surface with advance securing measures

4.5.1 Extent of Damage for SPV Drive without measures (Method A)

Duration (Drive interrupted)	5 weeks
Number of shifts	3
Number of workers per shift	15
Shift time	9 h/d

Actual state of support, pipe umbrella with 10 to 15 radial pipes, driving with curtailed lengths of advance

4.5.2 Extent of Damage for SPV Drive with Measures (Method B)

Duration (drive interrupted)	6 weeks
Number of shifts	3
Number of workers per shift	15
Shift time	9 h/d

Actual state of support, pipe umbrella with 10 to 15 radial pipes, driving with curtailed lengths of advance (tunnel excavator and TSM) and strong support installed

4.5.3 Extent of damage for TBM Drive (Methods C and D)

Duration (drive interrupted)	5 months
Number of shifts	3
Number of workers per shift	15
Shift time	9 h/d

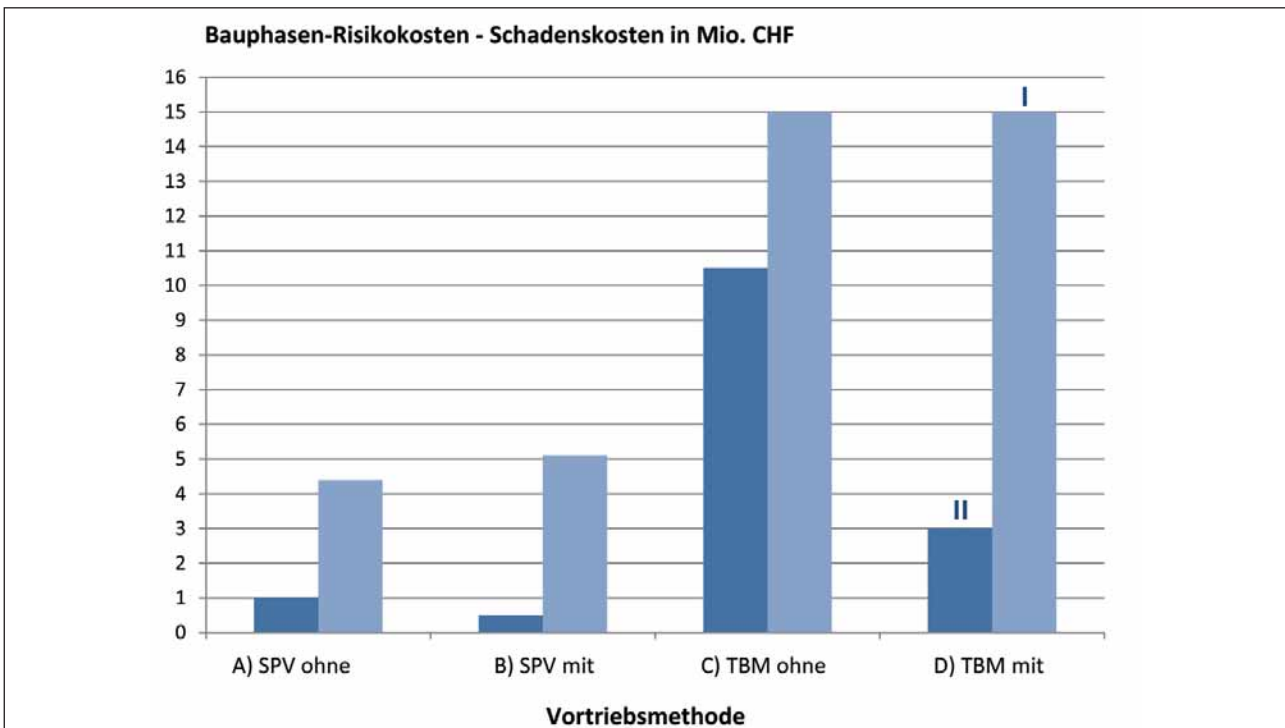
Actual state of support, freeing the cutterhead by hand, injections as advance measures via shield lanes, radial containment measures. Installation of a pipe umbrella in the roof with five 15 m stages depending on the situation, drive operated continuously until zone penetrated

The corresponding service items were defined and the costs calculated for the measures thus defined (Table 1).

	Methode / Method	Kostenabschätzung (K) [Mio. CHF] / Cost estimate (K) [millions of CHF]
A	SPV ohne Massnahmen / SPV without measures	ca. 1.5
B	SPV mit Massnahmen / SPV with measures	ca. 1.7
C	TBM ohne Massnahmen / TBM without measures	ca. 5.0
D	TBM mit Massnahmen / TBM with measures	ca. 5.0

Tabelle 1 Kostenabschätzung für die Methoden A bis D
Table 1 Cost Estimate for Methods A to D

3. Röhre Belchentunnel • Wahl der Vortriebsverfahren



16 Risikoausmasskosten für Szenario 2
Extent of risk costs for Scenario 2

Für die so definierten Massnahmen wurden die entsprechenden Leistungspositionen definiert und die Kosten berechnet (Tabelle 1).

Anhand einer gemeinsamen Beurteilung der geologischen Prognosen zwischen Ingenieur und Geologen wurde festgestellt, dass an 3 Stellen im Tunnel ein solches Szenario aufgrund der geologischen/geotechnischen Verhältnisse eintreten kann. Die Schadensausmasskosten für den ganzen Tunnel betragen somit:

Variante A	3 x 1.5 Mio. CHF =	4.5 Mio. CHF
Variante B	3 x 1.7 Mio. CHF =	5.1 Mio. CHF
Variante C	3 x 5.0 Mio. CHF =	15.0 Mio. CHF
Variante D	3 x 5.0 Mio. CHF =	15.0 Mio. CHF

Es ist zu bemerken, dass, wenn das Szenario eintritt, Schadenskosten bei den Varianten C und D (TBM-Vortrieb mit oder ohne Massnahmen) grundsätzlich gleich sind.

Den Vortriebsmethoden werden nun aber unterschiedliche Eintretenswahrscheinlichkeiten des Szenarios zugeordnet. Je unvorbereiteter der Vortrieb in eine Störungszone hinein führt, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Schadensszenario auch eintritt.

Die Wahrscheinlichkeiten wurden mit der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens (P) wie folgt definiert:

SPV ohne Massnahmen	20 % Wahrscheinlichkeit
SPV mit Massnahmen	10 % Wahrscheinlichkeit
TBM ohne Massnahmen	70 % Wahrscheinlichkeit
TBM mit Massnahmen	20 % Wahrscheinlichkeit

Through a joint assessment of the geological prognoses among the engineers and geologists, it was established that such a scenario can occur at 3 places in the tunnel on account of the geological/geotechnical conditions. Thus the costs for the extent of damage for the entire tunnel amount to:

Alternative A	3 x 1.5 million CHF =	4.5 million CHF
Alternative B	3 x 1.7 million CHF =	5.1 million CHF
Alternative C	3 x 5.0 million CHF =	15.0 million CHF
Alternative D	3 x 5.0 million CHF =	15.0 million CHF

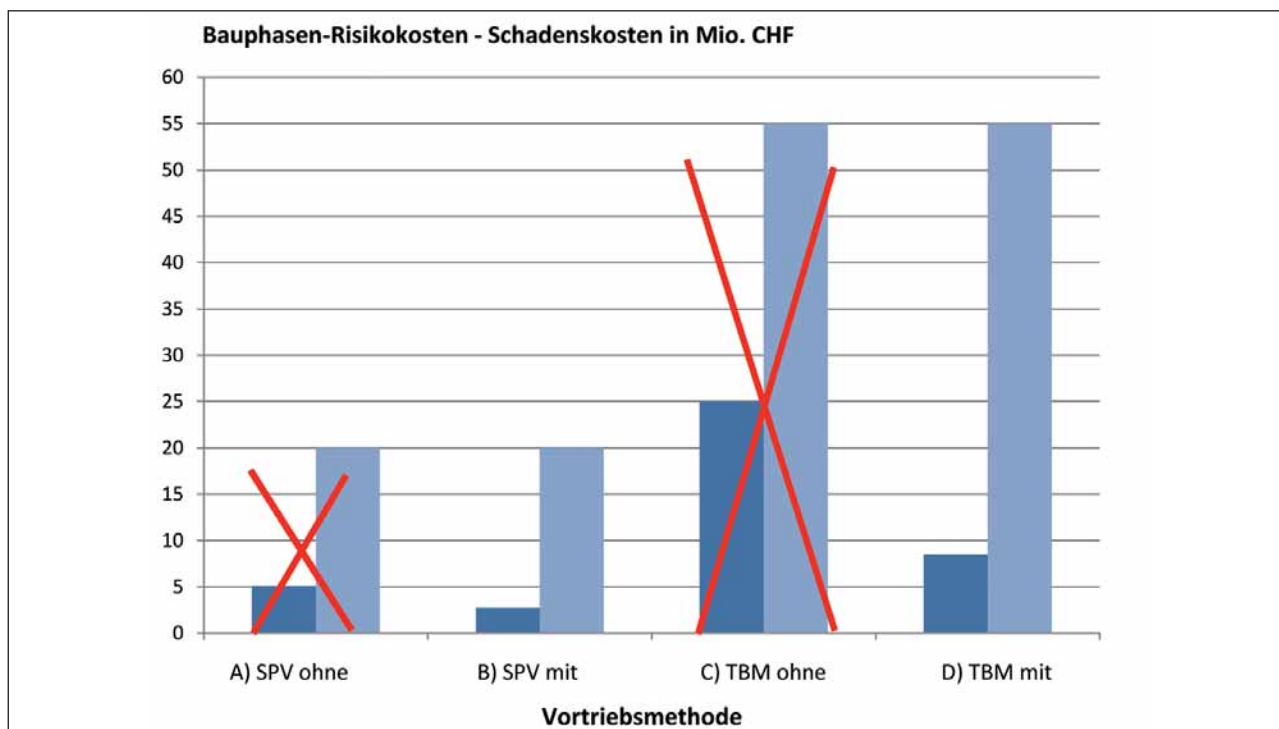
It should be added that if the scenario occurs, the costs of damage for alternatives C and D (TBM drive with or without measures) are essentially the same.

The driving methods are now, however, allocated to different probabilities for the occurrence of the scenario. The less well prepared a drive leading into a fault zone is, the greater is the probability of the damage scenario actually occurring.

The probabilities were defined as follows with the probability of occurrence of damage (P):

SPV without measures	20 % probability
SPV with measures	10 % probability
TBM without measures	70 % probability
TBM with measures	20 % probability

Those involved in the project are convinced that a TBM drive without the opportunity for advance exploratory and supporting measures will with high probability (70 %) lead to a local collapse at 3 places.



17 Bauphasen-Risikoausmasskosten aller Szenarien 1 bis 8 je Vortriebsmethode
Construction phase extent of risk costs of all scenarios 1 to 8 depending on driving method

Die Projektbeteiligten gehen damit davon aus, dass ein TBM-Vortrieb ohne die Möglichkeit von vorauserkundenden und voraussichernden Massnahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit (70 %) an 3 Stellen zu einem lokalen Verbruch führen wird.

4.6 Resultate und Folgerung

Für jedes Szenario wurden die Ausmasskosten je Ereignis ermittelt, und es wurde eine Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeit durchgeführt. Dies erfolgte im interdisziplinären Team unter Berücksichtigung der entsprechenden Erfahrungen.

Für das Szenario 2, hier wieder beispielhaft dargestellt, gab dies die in Bild 16 ermittelte Risikokostenübersicht.

Der Balken I mit den Schadensausmasskosten zeigt die Kosten auf, wenn das Szenario 2 an allen ausgewiesenen 3 Stellen auf der Tunnellänge zu 100 % eintritt. Je nach Vortriebsmethode ist aber die Eintretenswahrscheinlichkeit sehr unterschiedlich (Balken II). Sehr markant zeigt sich dies bei der Gegenüberstellung des TBM-Vortriebes mit und ohne Massnahmen.

Die Gesamtbetrachtung über alle Szenarien ergab die in Bild 17 dargestellte Summe aller Risikoausmasskosten.

Die Risikobetrachtung zeigt, dass ein TBM-Vortrieb ohne Massnahmen ein deutlich höheres Risiko als die anderen zur Auswahl stehenden Vortriebsmethoden aufweist. Er ist deshalb auszuschliessen.

4.6 Results and Conclusion

The estimated costs per incident were determined for each scenario and an assessment of the probability of occurrence undertaken. This took place within the interdisciplinary teams with corresponding experiences taken into consideration.

The risk cost overview shown in Fig. 16 resulted for Scenario 2, again taken here as an example.

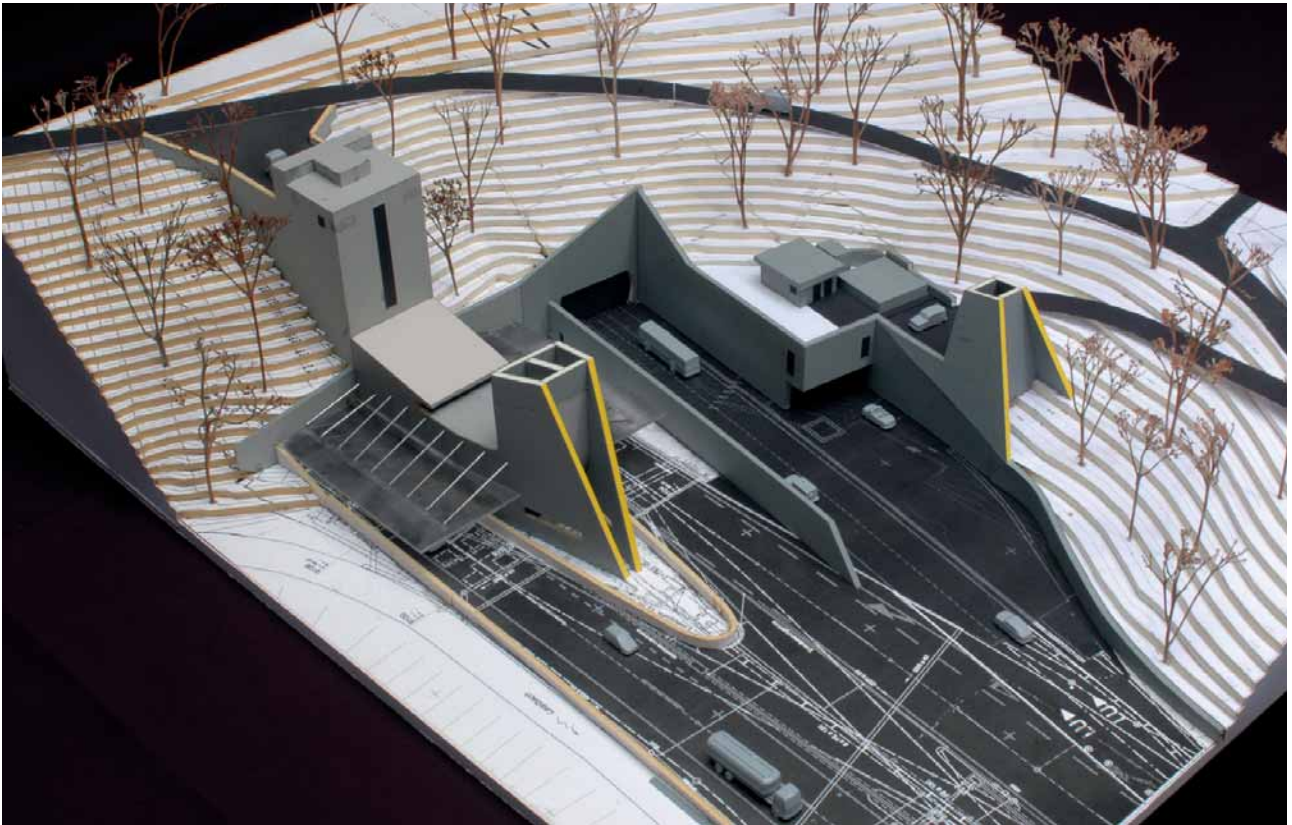
Bar I with the extent of damage costs shows the costs, which are incurred should Scenario 2 occur 100 % at all 3 places referred to along the tunnel. However, depending on the driving method, the probability of occurrence is extremely varied (Bar II). This is most strikingly displayed when the TBM drives with and without measures are compared.

The overall assessment of all scenarios resulted in the total of all extent of risk costs displayed in Fig. 17.

The risk analysis showed that a TBM drive without measures entails a considerably higher risk than the other alternative driving methods so that it should be precluded.

The SPV alternatives with and without measures only differ slightly regarding the qualified construction risks. The alternative without measures (A) does, however, possess decided disadvantages in assessing the long-term risk of "swelling". A drill & blast excavation without any restriction leads to major loosening in the rock surrounding the cavity, to better water paths and increased ingress to swelling rock and in turn, a higher probability that swelling will be activated.

3. Röhre Belchentunnel • Wahl der Vortriebsverfahren



18 Modell Portal Nord: bestehendes Tunnelsystem mit STB (rechte Tunnelröhre)
Model of the north portal: existing tunnel system with STB (right tunnel bore)



19 Modell Portal Süd: bestehendes Tunnelsystem mit STB (linke Tunnelröhre)
Model of the south portal: existing tunnel system with STB (left tunnel bore)

Die Varianten SPV mit und ohne Massnahmen unterscheiden sich nur gering bei den qualifizierten Baurisiken. Die Variante ohne Massnahmen (A) besitzt jedoch entscheidende Nachteile in der Beurteilung des Langzeitriskos „Quellen“. Ein Vortrieb im Sprengverfahren ohne jegliche Beschränkung führt zu grösseren Auflockerungen in dem den Hohlraum umgebenden Fels, zu besseren Wasserwegigkeiten und erhöhtem Zufluss zum quellhaften Gestein und damit zu einer hohen Wahrscheinlichkeit, dass das Quellen aktiviert wird.

Aufgrund der Resultate dieser Risikoanalyse wurde entschieden, die folgenden Vortriebsmethoden auszuschreiben:

- „Schonender“ Sprengvortrieb in Kalotte und Strosse und TSM in der Sohle mit vorgängigem Pilotstollen und mit Massnahmen zur Vorauserkundung (B)
- TBM-Vortrieb mit Massnahmen zur Vorauserkundung (D)

5 Ausblick

Das Bundesamt für Strassen ASTRA hat im Sommer 2012 entschieden, den Sanierungstunnel Belchen zu realisieren. Zurzeit werden die Unternehmersubmissionen für die Vor- und Tunnelhauptarbeiten vorbereitet. Gemäss aktuellem Terminprogramm werden die Auftragsvergaben für die verschiedenen Ausführungslose Ende 2014 erfolgen. Die Bauzeit beträgt ca. 7 Jahre, so dass im Jahre 2021 mit der Eröffnung des Sanierungstunnels Belchen gerechnet werden darf. Anschliessend werden die beiden bestehenden Tunnelröhren terminlich versetzt ausser Betrieb genommen und baulich sowie ausrüstungsmässig ertüchtigt.

On the basis of the results of this risk analysis it was decided to invite bids for the following driving methods:

- “gentle” drill & blast in the crown and bench and TSM in the floor with advance pilot tunnel and with advance exploration measures (B)
- TBM drive with advance exploration measures (D)

5 Outlook

The Federal Roads Office (FEDRO/ASTRA) decided in summer 2012 to tackle the Belchen Tunnel redevelopment scheme. At present, the contractors' submissions for the preliminary and main tunnelling work are being prepared. According to current scheduling the contracts for the various contract sections will be awarded in summer 2014. The construction period will last some 7 years so that the Belchen Tunnel redevelopment scheme will probably be operational in 2023. Then the 2 existing tunnel bores will be closed at different times and thoroughly upgraded.

Literatur/References

- [1] SIA 198: Untertagbau, 2004
- [2] DAUB: Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen, 2010
- [3] Ehrbar, H., Sala, A., Wick, R.: Wahl der Vortriebsmethode am Gotthard-Basistunnel
- [4] Chiaverio, F., Einstein, H., Köppel, U.: Risikoanalyse beim Adlertunnel, Schweizer Ingenieur und Architekt, 1995
- [5] Schillinger, G. (1970): Die Felsdrücke im Gipskeuper beim Bau des Belchentunnels, Strasse und Verkehr, Nr. 10
- [6] Chiaverio, F. (1999): Der Versuchsdrainagestollen im Belchentunnel, FGU 1999, Olten
- [7] Steiger, M.: IT-gestütztes Risikomanagementmodell für Tunnelbauprojekte mit Hilfe von Bayes'schen Netzen und Monte-Carlo-Simulationen, Zürich 2009

Projektbeteiligte / Project Participants

Bauherr / Client:

ASTRA, Filiale Zofingen

Gesamtleitung / Overall supervision:

Jauslin + Stebler Ingenieure AG, Muttenz

Projektverfasser und Bauleitung /

Project designer and construction management:

Ingenieurgemeinschaft IG STB

Emch + Berger AG, Bern

Aegerter & Bosshardt AG, Basel

ILF AG, Zürich

Geologe / Geology:

Geologengemeinschaft

Geotechnisches Institut AG, Basel

Pfirter + Nyfeler AG, Muttenz

Alex Schneider, Dr. sc. techn., Dipl. Bauing. ETHZ, IG VISPA, Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH
Simon Tanner, Dipl. Bauing. ETHZ, IG VISPA, Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Olten/CH

Eyholztunnel

Reduktion bautechnischer Risiken

Bauherren, projektierende Ingenieure und Bauunternehmer gehen mit der Realisierung von Tunnelbauprojekten mitunter erhebliche Risiken ein. Dies vor allem, weil Unsicherheiten des Baugrundes in hohem Masse die Projekt- und Bautätigkeit beeinflussen. Am Neubau des Tunnels Eyholz der A9 im Kanton Wallis wird beispielhaft gezeigt, wie durch einen systematischen Umgang mit Gefahren die bautechnischen Risiken aufgrund der Geologie auf ein überschaubares, akzeptierbares Minimum reduziert werden konnten.

Eyholz Tunnel

Reducing Engineering Risks

Clients, project engineers and contractors undergo substantial risks when tackling tunnelling projects. This can be mainly attributed to the fact that to a large extent uncertainties concerning the ground influence the project and construction activities. It is demonstrated taking the example of the new Eyholz Tunnel on the A9 in the Canton of Valais how the engineering risks could be reduced to an acceptable level thanks to the systematic handling of dangers posed by the geology.

1 Projektübersicht

Der Eyholztunnel ist Bestandteil der Nationalstrasse A9 im Raum Visp im Wallis. Die Ortschaft Visp wird von der Nationalstrasse im Süden auf einer Strecke von rund 8 km umfahren. Der Eyholztunnel ist einer von 2 Tunneln auf diesem Teilstück, 4,3 km lang und bestehend aus 2 Röhren à je 2 Fahrstreifen. Als Besonderheit wird auf der Westseite ein Halbanschluss der Nationalstrasse ans Vispental unterirdisch mit je einem Einfahrt- und einem Ausfahrtstunnel sowie 2 unterirdischen Verzweigungskavernen gebaut. Der Einfahrtstunnel ist 0,7 km lang, der Ausfahrtstunnel 0,6 km. Die Länge der Einfahrtkaverne (Kaverne Süd) beträgt aus Überlegungen zur Verkehrssicherheit rund 450 m, jene der Ausfahrtkaverne (Kaverne Nord) entsprechend lediglich 280 m (Bild 1).

2 Methodik

Mit den inhärenten Unsicherheiten ist im Untertagbau in vermehrtem Mass eine klare Methodik bei der Entscheidungsfindung während Projektierung der Ausführung wichtig. Diese schliesst die Schritte Erkennen und Bewerten von Gefährdungen sowie das Planen von Massnahmen zu deren Begegnung mit ein. Das systematische Durchdenken von unerwünschten Ereignissen gilt als wichtigstes Werkzeug der Gefahrenerkennung [3]. Alle möglichen kritischen Situationen für das Bauwerk und seine Umgebung (Personen,

1 Project Overview

The Eyholz Tunnel is part of the A9 national highway in the Visp area in the Valais. A roughly 8 km long section of the national highway passes around the town of Visp in the south. The Eyholz Tunnel is one of 2 on this part-section. It is 4.3 km long comprising 2 bores, each equipped with 2 lanes. A special feature is the underground junction of the national highway to the Vispental valley with access and exit tunnels as well as 2 underground branch caverns. The access tunnel is 0.7 km long, the exit tunnel 0.6 km. The access cavern (south cavern) is some 450 m long for safety reasons whilst the exit cavern (north cavern) is correspondingly only 280 m long (Fig. 1).

2 Methodical Approach

To an increasing extent, a clear methodical approach is essential for executing design in underground construction on account of the inherent uncertainties. This also involves the steps of identifying and assessing dangers as well as planning measures to counter them. Systematic consideration of undesired incidents represents an essential tool for identifying risks [3]. All possible critical situations pertaining to the structure and its environs (persons, objects and environment) during the construction and operational phases are presented in the form of danger scenarios [2]. Such an ap-

Tunnel d'Eyholz

Réduction des risques techniques de la construction

En réalisant des projets de construction de tunnels, les maîtres d'ouvrage, ingénieurs de projets et maîtres d'œuvre s'exposent à des risques considérables. Ceci en particulier parce que les incertitudes liées à la géologie du sous-sol influencent grandement les activités des projets et de la construction. À l'exemple de la construction du tunnel d'Eyholz sur l'A9, dans le canton du Valais, l'article montre comment on a pu réduire les risques techniques de construction liés à la géologie à un minimum acceptable et maîtrisable grâce à une gestion systématique des dangers.

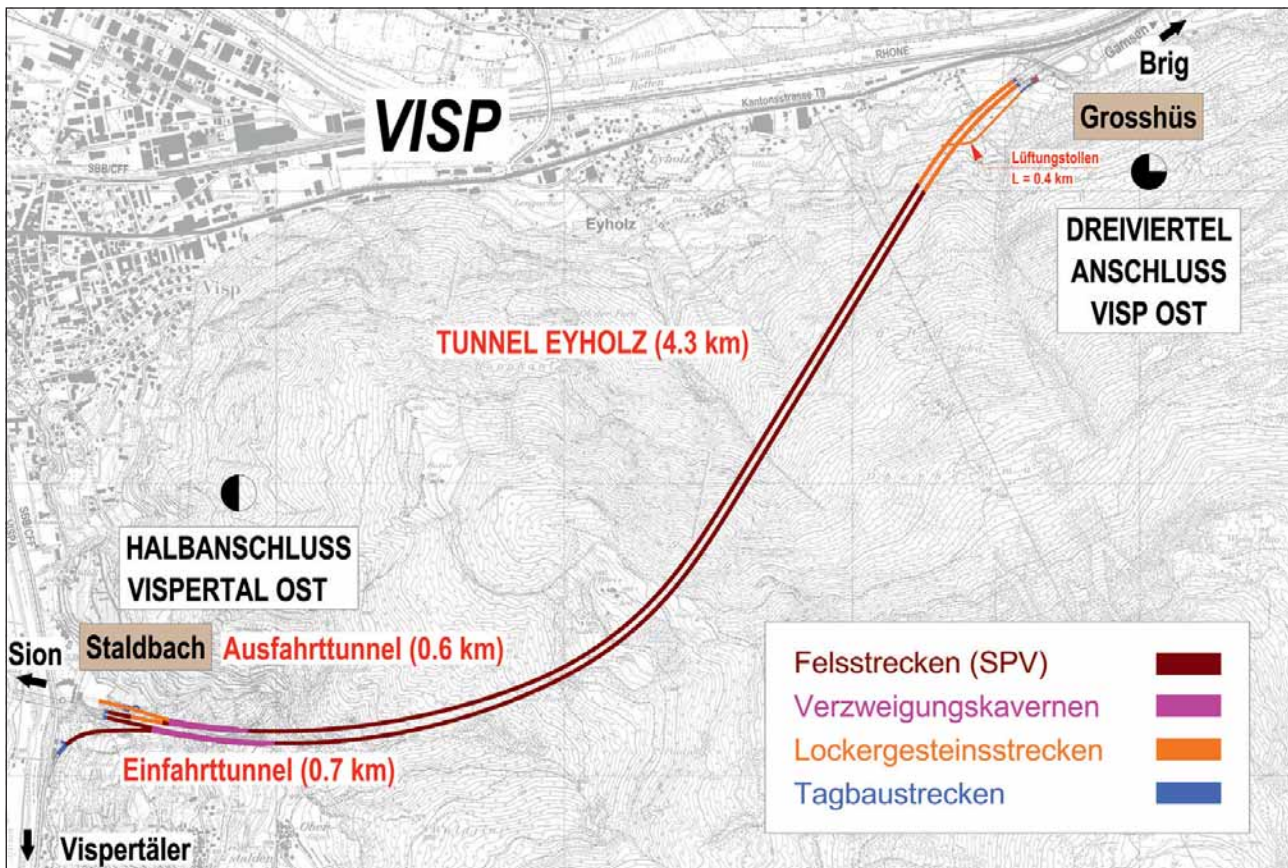
Galleria di Eyholz

Riduzione dei rischi tecnico-costruttivi

Committenti di costruzioni, ingegneri progettisti e imprenditori edili con la realizzazione dei progetti di costruzione di gallerie, vanno incontro a notevoli rischi. Questo avviene innanzitutto poiché l'insicurezza della geologia del sottosuolo influenza in larga misura la progettazione e l'attività edilizia. Ciò è evidente nella nuova costruzione della galleria di Eyholz, lungo la A9 nel cantone Vallese, dove i pericoli costruttivi causati dalla geologia possano venire ridotti a un minimo accettabile e calcolabile da una rigorosa analisi.

Sachen und Umwelt) in der Bau- und Nutzungsphase werden in der Form von Gefährdungsbildern dargestellt [2]. Ein solches Vorgehen basiert letztlich auf der Zuverlässigkeitsanalyse komplexer Systeme [1]: Mit einer Systemabgrenzung wird das Gesamtsystem (Tunnelanlage) in Teilsysteme wie z.B. Bauwerksteile, geologisch-geotechnische Homogenbereiche, Störzonen, Übergänge zwischen Homogenbereichen sowie Besonderheiten der Topographie oder der Um-

proach ultimately depends on the reliability analysis of complex systems [1]. By restricting the system, the overall system (the tunnel) is divided up into part-systems such as e.g. structural elements, geological-geotechnical homogeneous areas, fault zones, transitions between homogeneous areas as well as special features of topography or the environs. It is imperative to postulate the possible undesired incidents for each part-section. The establishment of the events, which in



1 Situation Eyholztunnel
Situation Eyholz Tunnel

gebung zerlegt. Für jedes Teilsystem gilt es, die möglichen unerwünschten Ereignisse zu postulieren. Die Ermittlung der Vorkommnisse, die jeweils ein solches Ereignis auslösen können („Auslöser“) setzt die Kenntnis der Mechanismen voraus. Eine Bewertung dieser Vorkommnisse bezüglich ihrer Erkennbarkeit während der Ausführung rundet die Überlegungen zur Gefahrenerkennung ab [4].

Es gilt, das Risiko auf ein überschaubar und akzeptierbares Mass zu verringern. Dazu stehen folgende prinzipielle Möglichkeiten offen:

- Durch konzeptionelle bzw. strategische Entscheide können Gefährdungen umgangen und damit der Schwierigkeit grundsätzlich ausgewichen werden.
- In der Regel wird das Ziel verfolgt, eine Gefährdung mittels Massnahmen ganz oder teilweise zu beherrschen. Die Massnahmen können darauf abzielen, die Eintretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen zu mindern oder das mögliche Schadensausmass zu verringern.
- Gefährdungen können auch bewusst akzeptiert werden. Diese sind als Restrisiken einzustufen und die Verantwortung dafür ist zu klären.

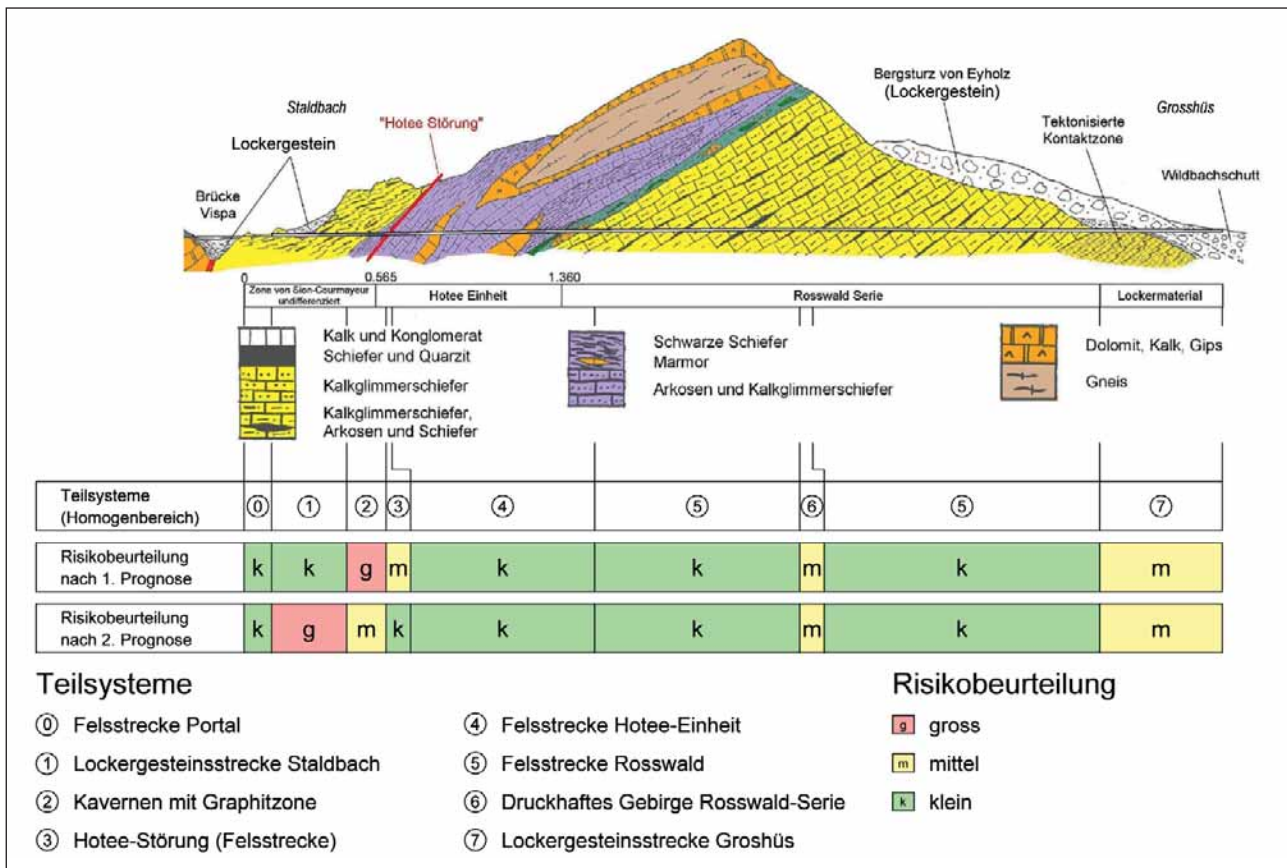
Eine umfassende Zusammenstellung der unerwünschten Ereignisse je Teilsystem, zusammen mit den Mechanismen und Auslösern (Vorkommnisse oder ungünstige Gebirgseigenschaften) sowie der Massnahmen, dient als Basis für den

each case can lead to such incidents (“initiators”), depends on knowledge of the mechanisms. An assessment of these events with respect to identifying them during execution rounds off the deliberations on recognising dangers [4].

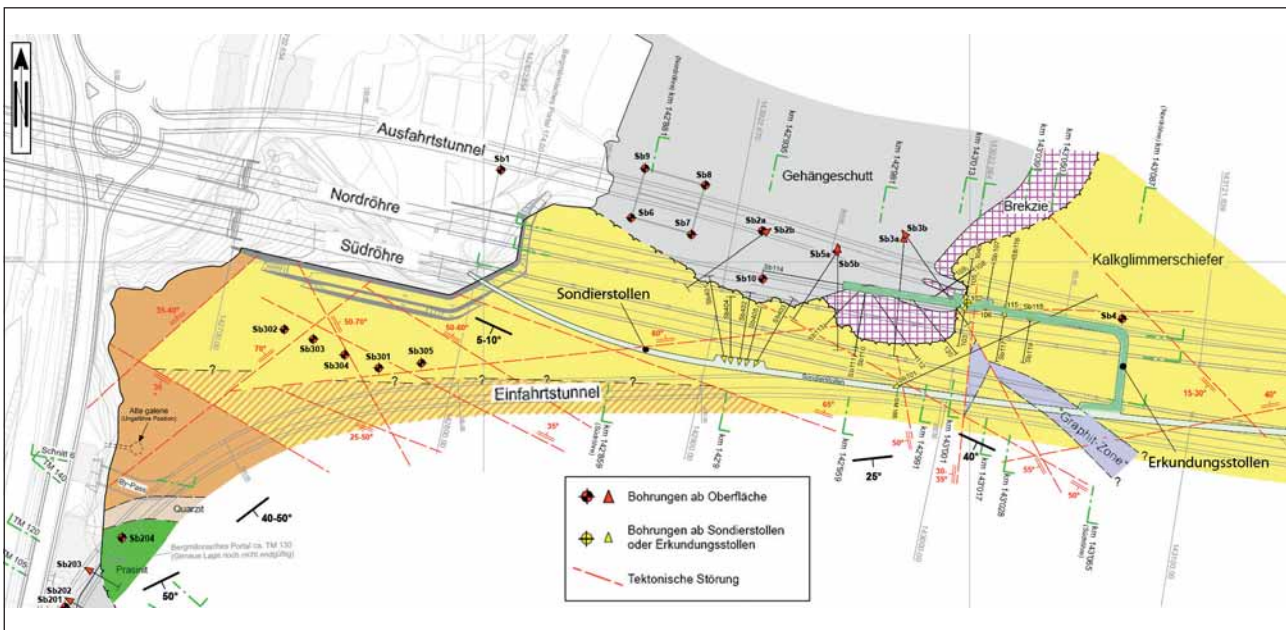
It is essential to reduce the risk to a reasonable and acceptable level. The following possibilities are fundamentally available to achieve this goal:

- Dangers can be avoided through conceptual or strategic decisions in order to steer clear of the difficulty.
- Generally the aim of completely or at least partially mastering a danger through a course of action is pursued. These measures can be geared to diminishing the probability of occurrence of incidents or reduce the possible extent of damage.
- Dangers can also deliberately be accepted. These must be classified as residual risks and responsibility for them clarified correspondingly.

A comprehensive compilation of the undesired incidents per part-system, in conjunction with the mechanisms and initiators (events or unfavourable rock properties) as well as the measures, serves as the basis for systematically dealing with risks and supports the decision-making process on the spot. The rock sections, the soft ground sections and the branch caverns as part-systems are subsequently examined on an individual basis.



2 Geologisches Längenprofil und Risiken
Geological longitudinal profile and risks



3 Situation der geologischen Verhältnisse beim Westportal (Staldbach)
 Situation of the geological conditions at the west portal (Staldbach)

systematischen Umgang mit den Risiken und unterstützt die Entscheidungsfindung vor Ort. Als Teilsysteme werden nachfolgend die Felsstrecken, die Lockergesteinsstrecken und die Verzweigungskavernen jeweils separat betrachtet.

3 Geologische Verhältnisse und Risiken

3.1 Geologische Verhältnisse

Das geologische Längenprofil des Tunnels Eyholz ist in Bild 2 zusammen mit den geologischen Risiken für die Teilsysteme (Homogenbereiche) entlang des Tunnels vereinfachend dargestellt. Für die Projektauflage hat der Bauherr mit einem durchgehenden Sondierstollen, der im Jahr 2002 durchgeschlagen wurde, die geologischen Verhältnisse im Tunnel aufschliessen lassen. Darauf basiert eine erste geologische Prognose (Bild 2).

3.1.1 Felsstrecken

Es wurde klar, dass hauptsächlich Kalkglimmerschiefer, eine Wechsellagerung von sandigen, glimmerführenden Kalken und Schiefen sowie Einlagerungen von schwarzen und graphitischen Schiefen, untergeordnet auch Arkosesandsteine, Prasinite und Dolomite angetroffen werden. Gut 30 % des Tunnels ab dem Westportal liegen aufgrund der Tektonik in stark gestörtem Gebirge mit komplexer Struktur (intensive Klüftung und gegeneinander versetzte, durch im Dezimeter-Bereich mächtige Kakirite getrennte Gesteinspakete, Störzone).

3.1.2 Lockergesteinsstrecken

In der Nähe des Westportals (Staldbach), wo die Kavernen und der Aus- und Einfahrtstunnel angeordnet sind (Bild 3), konnten die geologischen Verhältnisse mit dem Stollen nicht abschliessend erfasst werden.

3 Geological Conditions and Risks

3.1 Geological Conditions

The geological longitudinal profile of the Eyholz Tunnel is displayed in simplified form in Fig. 2 together with the geological risks for the part-system (homogeneous areas) along the tunnel. The client advocated a continuous reconnaissance tunnel for the project, which was driven in 2002 so that the geological conditions could be investigated. An initial geological prognosis is based on this (Fig. 2).

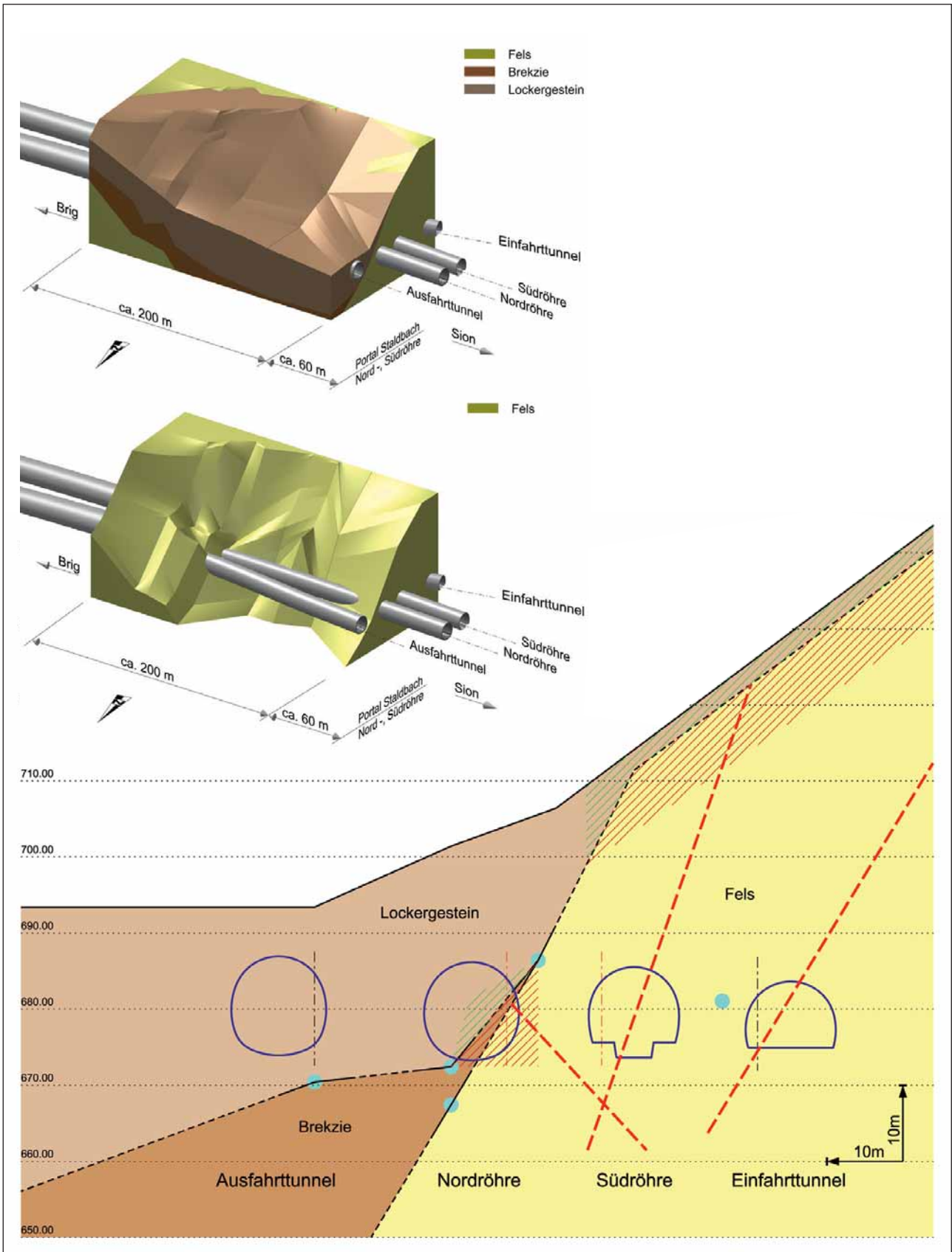
3.1.1 Rock Sections

It became clear that mainly limestone mica schists, intermittent bedding consisting of sandy, mica-bearing limestones and schists interspersed with black and graphitic schists as well as arkose sandstones, prasinites and dolomites on a smaller scale are encountered. On account of the tectonics, a good 30 % of the tunnel from the west portal is located in starkly disturbed rock with a complex structure (intensive fissuring and displaced bodies of rock separated by kakirites a few decimetres in size, fault zone).

3.1.2 Soft Ground Sections

In the vicinity of the west portal (Staldbach), where the caverns and the access and exit tunnels are set up (Fig. 3), the reconnaissance tunnel was unable to provide a conclusive picture of the geological conditions.

During the course of the detailed design, deliberations on possible undesired incidents led to the suspicion that the soft ground located on the northern slope (talus deposits) could be present down to tunnel level in an overdeepening not simply on the surface. This would have exerted a considerable influence on a drive, as up till then a continuous



4 Blockbilder der Festgesteinsoberfläche (Fels und Brekzie) und Querschnitt im Bereich der maximalen Lockergesteinsübertiefung beim Westportal (Staldbach)
 Block diagrams of the solid rock surface (rock and breccia) and cross-section at the maximal soft ground overdeepening at the west portal (Staldbach)

Überlegungen zu möglichen unerwünschten Ereignissen führten im Rahmen der Detailprojektierung zum Verdacht, dass das am nördlichen Abhang anstehende Lockergestein (Gehängeschutt) nicht nur oberflächlich, sondern in einer Übertiefung bis auf Tunnelniveau vorhanden sein könnte. Dies hätte erhebliche Konsequenzen für einen Vortrieb gehabt, da bis dato eine durchgehende Felsstrecke an dieser Stelle erwartet worden war. Aufgrund dessen wurde im Jahr 2006 mit mehreren Sondierbohrungen von insgesamt über 1000 m Länge sowie einem zusätzlichen Erkundungsstollen, der vom bestehenden Sondierstollen aus in Richtung der nördlichen Kaverne und des Ausfahrtstunnels vorgetrieben wurde, im Detail erkundet. Dies führte zur zweiten Prognose, in welcher die tatsächlich vorhandene Übertiefung in ihrer Ausprägung lokalisiert werden konnte (Bild 4). Für einen Teil der Nordröhre sowie den Ausfahrtstunnel waren neu Lockergesteinsvortriebe erforderlich. Auch die nördliche Kaverne tangierte in ihrer Lage gemäss damaligem Projekt im Bereich des maximalen Querschnitts die Lockergesteinsübertiefung.

Der Gehängeschutt bestand gemäss Prognose aus Kiesen, Steinen und Blöcken (bis einige Kubikmeter groß) mit einer sandig-siltigen Matrix und lokal zementierten Ablagerungen.

Auf der Ostseite (Grosshüs) wird ab dem Portal zunächst ein Wildbachschuttkegel durchquert, der aus einer Anhäufung von Hochwasserablagerungen – verschiedenste Korngrößen inkl. Murgängen – besteht und eine tonige Matrix aufweist. Ebenfalls darin enthalten sind Blöcke und verkittete Kiesbänke oder -linsen. Auch im anschliessenden Bergsturz von Eyholz waren sehr grosse Blöcke zu erwarten und das Material sollte eine ähnlich tonig-siltige Matrix aufweisen, die vom Geologen als „kompakt und kohäsiv“ bezeichnet wurde. Erst rund 500 m ab dem Portal und einem schleifenden Übergang vom Lockergestein liegen die beiden Tunnelröhren vollständig im Fels. Der Grundwasserspiegel im Gebirge liegt bei beiden Lockergesteinsstecken unterhalb der Sohle.

3.1.3 Verzweigungskavernen

Im Bereich der Kavernen wurden im Sondierstollen mehrere Störzonen angetroffen, eine davon schiefwinklig und über längere Distanz schleifend mit einer Mächtigkeit von rund 7 m und bestehend aus sehr weichem, tektonisch gestörtem graphitischem Material. Mit der Erkundung 2006 und der daraus folgenden zweiten Prognose wurden einerseits die Ausdehnung und die Eigenschaften dieser sog. Graphitzone aufgeschlossen und andererseits festgestellt, dass das Lockergestein bis in die nördliche Kaverne reicht.

3.2 Risiken aufgrund der geologischen Verhältnisse

In Bild 2 ist die Risikobeurteilung nach der ersten (Stand Projektauflage) und nach der zweiten Prognose (nach zusätzlicher Erkundung 2006) zusammengefasst. Vereinfachend werden für diese Darstellung die Risiken als „klein“, „mittel“ und „gross“ beurteilt, wobei mit zunehmendem Risiko das potentielle Schadenausmass sowohl bezüglich Kosten als auch Termine überproportional zunimmt.

rock section was expected at this point. As a consequence, detailed investigations were carried out by means of several exploratory drill-holes totalling more than 1,000 m in length as well as an additional exploratory heading, which was driven from the existing reconnaissance tunnel towards the northern cavern and the exit tunnel. This led to the second prognosis, in which the extent of the overdeepening, which was present, was established (Fig. 4). New soft ground drives became necessary for part of the northern bore and the exit tunnel. The position of the north cavern was also tangent to the soft ground overdeepening at its maximum cross-section according to the project at the time.

According to the prognosis, the talus material consisted of gravels, stones and boulders (up to several cubic metres in size) with a sandy-silty matrix and locally cemented deposits.

At the eastern side (Grosshüs) starting from the portal, firstly a torrent debris cone had to be penetrated, consisting of an accumulation of flood deposits – various grain sizes including mudslides – possessing a clayey matrix. It also contains boulders and cemented gravel banks and levels. Extremely large boulders were also anticipated in the Eyholz rockslide that followed and the material was supposed to possess a similar clayey-silty matrix, described as “compact and cohesive” by the geologist. The 2 tunnel bores first find themselves completely in rock some 500 m from the portal after a gradual transition from the soft ground. The groundwater level in the rock is located beneath floor for both soft ground sections.

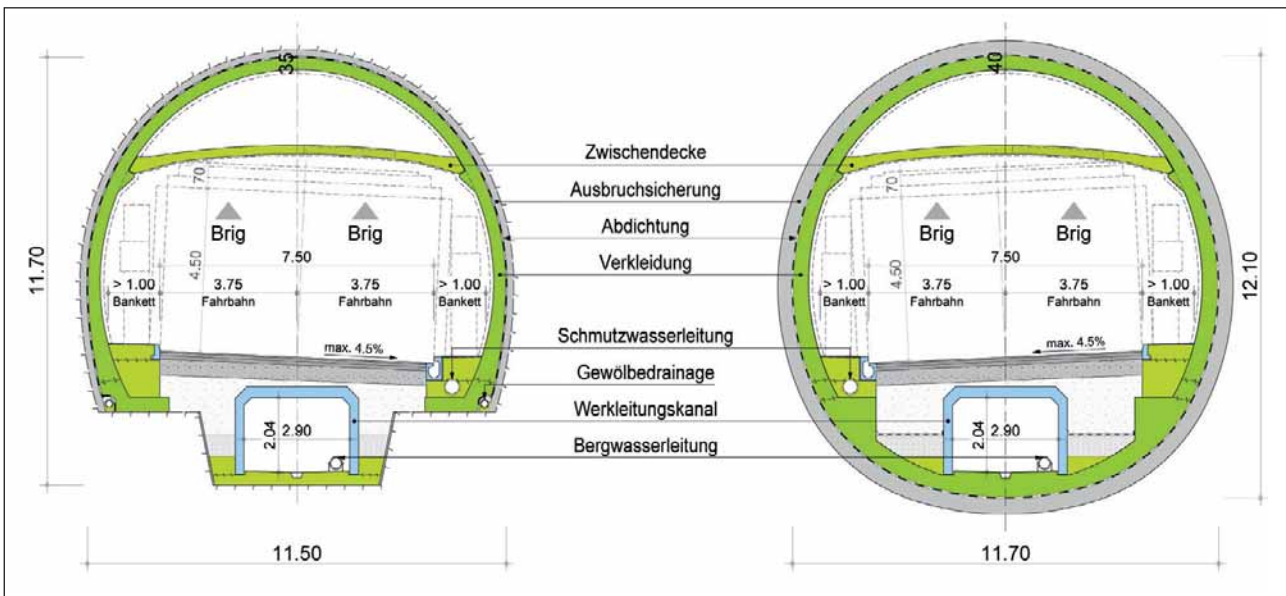
3.1.3 Branch Caverns

A number of fault zones were encountered in the reconnaissance tunnel near the caverns, one of them at an oblique angle and running over a prolonged distance with a thickness of 7 m, comprising extremely soft, tectonically disturbed graphitic material. With the exploration programme in 2006 and the resultant second prognosis, firstly the extent and properties of this so-called graphite zone were investigated and on the other hand, it was established that the soft ground extended into the north cavern.

3.2 Risks due to the geological Conditions

Fig. 2 shows the risk evaluation following the first prognosis (in compliance with the project conditions) and after the second (following the additional survey in 2006). The risks are presented as “slight”, “average” and “high” in simplified form for this diagram, whereby the potential extent of damage increases over-proportionally relating to both costs and deadlines as the risk increases.

- The risk is classified as slight if it can be safety surmounted with the conventional supporting measures applied in tunnelling (e.g. anchors, shotcrete shell, arches) and without any lasting uncertainties and difficulties.
- An average risk on the other hand, involves larger undesired incidents during tunnelling, which for example, in a soft ground drive, call for systematic ancillary measures (caving owing to face instability, collapse, impermis-



5 Normalprofile Felsstrecke ohne und mit Ringschluss
Standard profile of rock section with and without ring closure

- Als klein ist das Risiko eingestuft, wenn es mit im Tunnelbau üblichen Sicherungsmassnahmen (z.B. Anker, Spritzbetonschale, Bogen) sicher und ohne grössere verbleibenden Unsicherheiten und Schwierigkeiten bewältigt werden kann.
- Dagegen betrifft ein mittleres Risiko grössere unerwünschte Ereignisse beim Tunnelbau, die beispielsweise bei einem Lockergesteinsvortrieb systematische Bauhilfsmassnahmen (Verbruch infolge Instabilität der Ortsbrust, Tagbruch, unzulässige Setzungen, o.ä.) oder in einem Felsvortrieb umfangreichere Zusatzmassnahmen (druckhaftes Gebirge mit unzulässigen Konvergenzen oder Versagen des Tunnelausbaus, etc.) erfordern.
- Schliesslich betreffen grosse Risiken unerwünschte Ereignisse aussergewöhnlichen Ausmasses, entweder aufgrund von besonderen Verhältnissen (z.B. aufgrund der Geologie, der Topographie, etc.) oder aufgrund eines Bauvorhabens, das ausserhalb der bisherigen Erfahrungsbasis im Tunnelbau liegt.

Die Überlegungen zu den Risiken in den einzelnen Teilsystemen Felsstrecken, Lockergesteinsstrecken und Verzweigungskavernen sind in den nachfolgenden Kapiteln einzeln erläutert.

4 Felsstrecken

4.1 Unerwünschte Ereignisse und Baukonzepte

Die Felsstrecke umfasst die Homogenbereiche 3 bis 6. In diesen wurde der Fels hauptsächlich als z.T. stark geklüftet und von einzelnen Störungen durchzogen erwartet. Mit den wichtigsten Gefährdungen in Form von Ablösungen von Felspaketen und zerbrochenem Felsmaterial aus der ungesicherten Felslaibung und der Ortsbrust geht daraus ein kleines Risiko im Sinne von Kapitel 3.2 hervor. Im Ho-

sible settlements, etc.) or extensive additional measures (squeezing rock with impermissible convergences or failure of the tunnel support, etc.) when excavating rock.

- Finally, major risks relate to undesired incidents of enormous dimensions either on account of special conditions (e.g. the geology, topography, etc.) or a construction project, lying outside the existing bounds of experience in tunnelling.

The deliberations relating to the risks in the individual part-sections rock sections, soft ground sections and branch caverns are explained separately in the following chapters.

4 Rock Sections

4.1 Undesired Incidents and Construction Concepts

The rock section embraces the homogeneous areas 3 to 6. In these areas, the rock was mainly expected to be in part starkly fissured and affected by individual faults. The most important sources of danger in the form of displaced rock strata and broken rock material from the unsecured rock soffit and the face relate to a slight risk as defined in Chapter 3.2. In homogeneous area 3 (Hotee Fault) and in 6 in particular, major cavity deformations occur so that squeezing rock with 20 to 40 cm convergences was expected in the tunnel cross-section. Estimating the convergences is accompanied by uncertainties on account of the heterogeneous rock conditions and distribution along the tunnel could not be exactly determined in spite of the reconnaissance tunnel. The risks for these 2 sections were classified as average.

The definitive support for the tunnel outside the squeezing rock consists of an open profile, with ring closure in the squeezing sections (Fig. 5). In accordance with the project, the excavation support is undertaken using anchors and a

mogenbereich 3 (Hotee-Störung) und insbesondere 6 sind bereits im Sondierstollen grössere Hohlraumverformungen aufgetreten, sodass im Tunnelquerschnitt druckhaftes Gebirge mit Konvergenzen in der Grössenordnung von 20 und 40 cm erwartet wurden. Die Einschätzung der Konvergenzen ist aufgrund der heterogenen Gebirgsverhältnisse mit Unsicherheiten behaftet und auch die Verteilung entlang des Tunnels konnte trotz Sondierstollen nicht exakt festgelegt werden. Für diese beiden Abschnitte wurden die Risiken als mittel eingestuft.

Der definitive Ausbau des Tunnels in Strecken ausserhalb des druckhaften Gebirges besteht aus einem offenen Profil, in den druckhaften Abschnitten mit Ringschluss (Bild 5). Die Ausbruchsicherung wird gemäss Projekt mit Anker und einer bewehrten Spritzbetonschale, teilweise – bei sehr stark zerbrochenem Fels – mit Bogen erfolgen. Mit Spiessen und teilweise einer Brustsicherung werden Ablösungen im Vortriebsbereich mit Blick auf die Arbeitssicherheit entgegnet. Im druckhaften Gebirge besteht das Konzept aus 2 Profiltypen, jeweils mit einem Mehrausbruch und dem kontrollierten Zulassen von Verformungen mittels verschieblicher Bogen (TH-Träger). Der leichtere Profiltyp entspricht dabei einem Ausbau für den erwarteten Fall mit 20 cm Mehrausbruch. Zur Abdeckung von Unsicherheiten ist im Projekt ein schwererer Profiltyp mit einem grösseren Mehrausbruch und entsprechend tiefer Eintretenswahrscheinlichkeit vorgesehen.

4.2 Bauausführung und Überwachung

Der Vortrieb in den Homogenbereichen 4 und 5 erfolgte ohne grössere Schwierigkeiten. Auch die Hotee-Störung (Homogenbereich 3) konnte mit den getroffenen Massnahmen ohne Schwierigkeiten passiert werden. Im druckhaften Gebirge (Kapitel 5) zeigte sich das rechtzeitige Erkennen der kurzen, von Gebirgsverformung geprägten Abschnitte trotz Sondierstollen als schwierig, weshalb ein Nachnehmen und der nachträgliche Einbau des Ringschlusses erforderlich wurde. Die maximalen gemessenen Konvergenzen lagen in der Grössenordnung von 20 bis 25 cm.

5 Lockergesteinsstrecken

5.1 Unerwünschte Ereignisse und Baukonzepte

Bereits mit der ersten Prognose zeichnete sich die rund 500 m lange Lockergesteinsstrecke auf der Westseite ab und wurde insgesamt als mittleres Risiko eingestuft. Auf der Ostseite dagegen war nach der 1. Prognose die Lockergesteinsübertiefung noch nicht erkannt (Einstufung als Felsvortrieb: kleines Risiko). Mit der Erkundungskampagne 2006 und der daraus folgenden zweiten Prognose ergab sich eine Neubeurteilung der Risiken im westlichen Teil des Tunnels: Mit der Lockergesteinsübertiefung liegt die Nordröhre über eine Strecke von 120 m mit gemischter Ortsbrust im Lockergestein, nachdem sie unmittelbar beim Portal über 50 m im Fels liegt. Der Ausfahrtstunnel liegt bereits kurz nach der Kaverne vollständig im Lockergestein. Die Risiken in diesem Abschnitt wurden deshalb als hoch eingestuft.

reinforced shotcrete shell, partially – given extremely highly fractured rock – with arches. Spalling in the driving zone is countered by means of lances and in part a face support with a view to occupational safety. In squeezing rock, the concept comprises 2 types of profile, each with overbreak and controlled toleration of deformations using displaceable arches (TH girders). Here, the lighter type of profile relates to a support for the expected case with 20 cm overbreak. A heavier type of profile with a larger overbreak and correspondingly lower probability of occurrence is foreseen in the project to cover uncertainties.

4.2 Execution of Construction and Monitoring

Excavating the 2 homogeneous areas 4 and 5 was undertaken without major difficulties. The Hotee Fault (homogeneous area 3) was also penetrated without any problem thanks to the actions taken. In the squeezing rock (Chapter 5), it turned out to be hard to identify the short sections affected by rock deformation in time in spite of the reconnaissance tunnel so that subsequently cutting again and installing the ring closure were necessary. The maximal convergences measured amounted to 20 to 25 cm.

5 Soft Ground Sections

5.1 Undesired Incidents and Construction Concepts

The roughly 500 m long soft ground section on the west side was revealed by the first prognosis and was generally classified as an average risk. However on the east side, the soft ground overdeepening had still not been identified after the 1st prognosis (classified as rock drive: slight risk). Thanks to the exploratory campaign in 2006 and the resultant 2nd prognosis, the risks in the western part of the tunnel were reassessed: owing to the soft ground overdeepening the north bore is located above a 120 m long section with mixed face in soft ground after lying 50 m deep in rock directly after the portal. The exit tunnel is already located entirely in soft ground shortly after the cavern. As a result, the risks in this area were classified as high.

Considerations on cavity instability (undesired incidents such as face instability or the vault soffit in the driving zone) represent an initial aspect for devising the excavation and securing the soft ground sections. The tunnel bores thus both pass through slopes in the soft ground at the west as well as the east side, which are prone to collapse as a result of several tunnel bores being excavated at the bottom of the slope (west side) or owing to the geological history and the bedding (east side). As a consequence it was also contemplated producing a sufficient number of slight deformations in the surrounding soil when driving to secure slope stability. This is arrived at by means of 2 essential conceptual elements:

- Firstly it concerns a full-face excavation with ring closure of the excavation support at a distance of 50 % of the excavated diameter behind the face.
- Secondly ancillary measures of construction in the form of

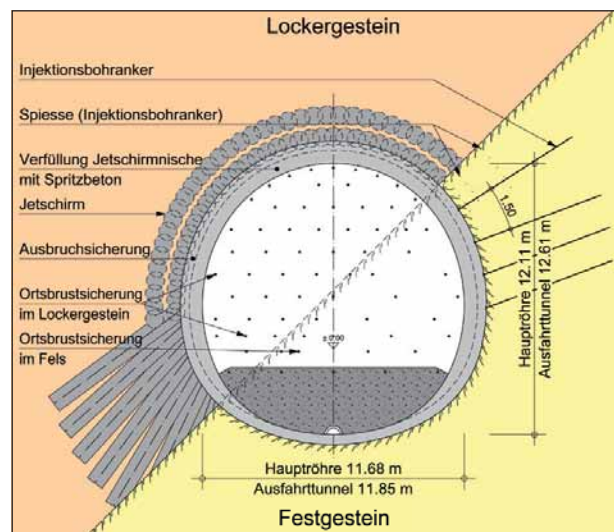
Die Überlegungen zur Hohlraumstabilität (unerwünschte Ereignisse wie Instabilität der Ortsbrust oder der Gewölbelaibung im Vortriebsbereich) sind ein erster Aspekt für die Konzeption von Ausbruch und Sicherung in den Lockergesteinsstrecken. Sowohl auf der West- als auch auf der Ostseite queren damit die Tunnelröhren im Lockergestein jeweils Hänge, die mit dem Ausbruch mehrerer Tunnelröhren im Hangfuss (Westseite) oder wegen der Entstehungsgeschichte und der Schichtung (Ostseite) rutschgefährdet sind. Für die Sicherstellung der Hangstabilität wurde deshalb zusätzlich postuliert, mit dem Vortrieb ausreichend geringe Verformungen im umliegenden Boden zu erzeugen. Das wird mit 2 grundlegenden Konzeptelementen erreicht:

- Zum Einen ist dies der Vortrieb im Vollausbuch mit Ringschluss der Ausbruchsicherung in einem Abstand von 50 % des Ausbruchdurchmessers hinter der Ortsbrust.
- Zum Anderen sind es die Bauhilfsmassnahmen in Form von Rohrschirm oder Jet Grouting und Ortsbrustsicherung, mit denen nicht nur die Stabilität der Gewölbelaibung und der Brust, sondern auch vorausseilend die Verfestigung bzw. Reduktion der Verformbarkeit des umliegenden Gebirges erreicht wird.

Das Konzept des Vollausbuchs im Schutze von Bauhilfsmassnahmen beinhaltet den Ausbruch in Etappen à 1 m im Gewölbe und den Ringschluss in der Sohle in Etappen von 2 bis 4 m Länge. Die Ortsbrust wurde leicht schief und zum Teil auch abgetreppt ausgebildet [7]. Die Ausbruchsicherung besteht jeweils aus einer Spritzbetonschale mit 35 bis 40 cm Dicke, mit Netzen zweilagig bewehrt, wobei alle 1 m ein Gitterträger gestellt wird. Das Normalprofil entspricht prinzipiell jenem gemäss Bild 5 rechts.

5.1.1 Vortriebe auf der Westseite

Für die Vortriebe im Hang auf der Seite Staldbach (Nordröhre, Ausfahrttunnel) wurde der Einfluss von Jet-Groutingschirmen auf Verschiebungen im Hang infolge des Vortriebes untersucht und dabei festgestellt, dass mit einem „doppelten Jetting“, d.h. mit übereinander angeordneten Jettingschirmen à 13 m Länge und 6 m Längsüberlappung (Bild 6), der rechnerisch ermittelte Sicherheitsfaktor gegenüber Instabilität des Hanges mit dem Tunnelausbruch nicht verringert wird. Gegenüber einem einfachen Jetting-Schirm (z.B. mit Etappenlängen von 12 m) errechnen sich die Verschiebungen im Hang mit dem doppelten Jetting als um 1/3 geringer. Dies auch deshalb, weil die Jetsäulen am Ende einer Etappe um jeweils den halben Ausbruchdurchmesser überlappt sind und so das Gebirge vor der Brust stützen. Als besondere Herausforderung ergab sich, dass die Felsoberfläche bzw. die Grenze Fels – Lockergestein über eine Länge von 120 m entsprechend der Übertiefungsmulde variiert. Mit dem Ziel, den Jet-Groutingschirm dem Verlauf der Felsoberfläche anzupassen, war jeweils für jede Etappe bereits im Voraus, mittels Erkundung (Bohrungen des vorangehenden Schirms), die Anordnung der Säulen im Querschnitt festzulegen. Die Brustsicherung konnte nicht alleine mit Jetsäulen ausgeführt werden, da sie bei der Verschneidung mit der Felsoberfläche vor der Brust kaum



6a Querschnitt mit doppeltem Jet-Grouting-Schirm sowie Verfestigung des Sohlbereichs mit Jet-Grouting
Cross-section with double jet grouting canopy as well as consolidating the invert area with jet grouting

a pipe umbrella or jet grouting and securing the face, by means of which stability of the vault soffit and the face is attained alongside advance consolidation or reduction of the deformability of the surrounding rock.

The full-face excavation concept protected by ancillary measures entails excavating in 1 m stages in the vault and closing the ring invert in 2 to 4 m long stages. The face was formed with a slight incline and also partially stepped [7]. The excavation support in each case constitutes a shotcrete shell some 35 to 40 cm thick with lattice girders set up at 1 m gaps and reinforced with 2 layers of netting. The standard profile basically corresponds to the one shown on the right in Fig. 5.

5.1.1 Drives on the West Side

The influence of jet grouting canopies on displacements in the slope caused by driving was examined in conjunction with the drives on the slope at the Staldbach side (north bore, exit tunnel). It was then established that the calculated safety factor is not reduced pertaining to slope instability through excavating the tunnel by “double jetting”, i.e. with 13 m long jetting canopies arranged above one another with a 6 m long longitudinal overlap (Fig. 6). As opposed to a simple jetting canopy (e.g. with 12 m long stage lengths), the displacements in the slope are shown to be 1/3rd less with double jetting. This is also because the jet columns at the end of a stage overlap by half of the excavation diameter thus supporting the rock in front of the face. A special challenge resulted from the fact that the rock surface or rather the rock – soft ground boundary varied over a length of 120 m in keeping with the overdeepening basin. The arrangement of the columns had to be determined in advance by means of exploration (drilling the advance canopy) with the objective of adapting the jet grouting canopy to the course of the rock surface. The face could not be secured by jet columns alone as there was scarcely any indication of bonding



6b Bauausführung Bauhilfsmassnahmen an der Ortsbrust
Execution of ancillary measures of construction at the face

einen Verbund aufweisen und ein Abgleiten von mit Jetting gesicherten Lockergesteinspaketen auf der Felsoberfläche möglich wird. Für diesen Fall sind deshalb konzeptionell die Brustsäulen mit GEWI-Stäben, nachträglich in die Säulen und den Fels gebohrt und vermörtelt, verstärkt worden [6].

5.1.2 Vortriebe auf der Ostseite

Im weniger dicht gelagerten, teilweise rolligen Wildbachschutt auf der Seite Grosshüs sowie im Übergang zum Bergsturz beinhaltet das Konzept den Vortrieb im Schutze von Rohrschirmen. Im tiefer liegenden Bergsturz, wo insgesamt auch ein höherer Anteil an feinkörnigem Material prognostiziert war, wurde dagegen die Sicherung der Laibung mittels Spiessen als ausreichend beurteilt, um ein Durchrieseln von Material bzw. die Instabilität des Bodens zu verhindern (z.B. „Sanduhreffekt“). Angesichts der hohen Ortsbrust von rund 13 m ist die Ortsbrustsicherung des Vollausruchs das zentrale Element des Konzeptes. Diese wurden in der Regel mit 20 m langen Dreilamellenankern aus GFK ausgeführt. Zudem wurde mit Blick auf die Arbeitssicherheit eine Versiegelung der Brust mit Stahlfaserspritzbeton nach jeder Ausbruchetappe ausgeführt.

5.2 Bauausführung und Überwachung

Die Bauausführung der Lockergesteinsstrecke Ost konnte gemäss dem Projekt erfolgreich und ohne Schwierigkeiten ausgeführt werden. Die prognostizierte Grenze zwischen Fest- und Lockergestein wurde meterscharf vorgefunden. Die systematische Hangüberwachung zeigte weder an der Oberfläche noch in den Bohrlochmessgeräten im Hang nennenswerte Verschiebungen.

Mit dem Ziel, die Bauzeitrisiken möglichst zu reduzieren, wurden die beiden jeweils rund 500 m langen Lockergesteinsvortriebe auf der Ostseite (Grosshüs) in Vorlosen von den Hauptarbeiten im Eyholztunnel entkoppelt. Mit einem Zwischenangriff aus dem vorgängig erstellten Lüftungsstollen in einer Distanz von rund 300 m ab dem Portal konnten

where it intersected the rock surface in front of the face and sliding of soft ground masses on the rock surface is possible. As a result, conceptionally, the face columns are reinforced by GEWI rods, subsequently drilled and mortared into the columns and the rock [6].

5.1.2 Drives on the East Side

The driving concept for the less densely layered, partially non-cohesive torrent debris at the Grosshüs side as well as in the transition to the rockslide involves pipe umbrellas. In the more deeply located rockslide, where overall a higher proportion of fine-grained material had been forecast, it was believed that lances would be adequate for supporting the soft soil (e.g. “sandglass effect”). In view of the roughly 13 m high face, the concept’s central element entails securing the face of the full-face excavation. This was generally achieved by using 20 m long GFK (glass-fibre reinforced) lamella anchors. In addition, the face was sealed by steel fibre shotcrete after every length of advance in the interests of industrial safety.

5.2 Execution of Construction and Monitoring

Executing construction in the east soft ground section was carried out successfully according to the project without any difficulties. The predicted boundary between the solid rock and the soft ground was encountered accurately to the metre. Systematic slope monitoring revealed no appreciable displacements either on the surface or in the drill programme measuring units in the slope.

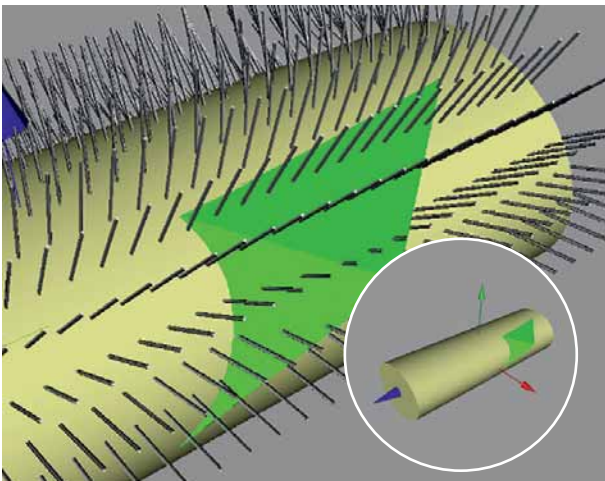
The 2 soft ground drives on the east side (Grosshüs), each roughly 500 m long, were uncoupled from the main driving activities in the Eyholz Tunnel and tackled as advance lots. Up to 4 drives at 6 points of attack were tackled simultaneously with an intermediate attack from the previously created ventilation heading at a distance of some 300 m from the portal.

Stability of the cavity was assured in each case thanks to the selected measures. Extensometers, set in the face in advance, as well as inclinometers in the pipe umbrella pipes in each case, provided reliable indicators on how to progress with the support. The drive in the torrent debris tended towards lower deformations given the same overburden compared to the one in the rockslide material. Generally a roughly 2 to 5 cm apex settlement was not exceeded with a ring closure distance of 6 m. Sealing of the face, its inclined position and stepped form were shown to be invaluable for assuring occupational safety during the full-face excavation.

6 Branch Caverns

6.1 Undesired Incidents and Construction Concepts

Thanks to the initial forecast, the graphite zone was identified in the reconnaissance tunnel as a roughly 7 m thick zone with extremely soft rock in the vicinity of the branch caverns. As it was tangent to the caverns given a span width of excavation > 18 m, the risks were assessed as high and the follow-up ex-



7a Bruchkörpermodell zur Beurteilung potentieller Bruchkörper (unerwünschte Ereignisse) und Systemankerung
 Unstable block model to evaluate potential unstable blocks (undesired incidents) and systematic anchoring

gleichzeitig bis zu 4 Vortriebe in 6 Angriffspunkten ausgeführt werden.

Die Hohlraumstabilität war mit den gewählten Massnahmen jeweils gut gewährleistet. Extensometer, vorausseilend in der Ortsbrust versetzt, sowie Inklinometer in Rohrschirmrohren gaben jeweils zuverlässige Hinweise über die Deformationen der Brust und können als wertvoller Indikator für die jeweils weitere Auslegung der Sicherung gewertet werden. Der Vortrieb im Wildbachschutt führte im Vergleich zu jenem im Bergsturz tendenziell zu geringeren Verformungen bei gleicher Überdeckung. In der Regel wurden mit der Ringschlussdistanz von 6 m rund 2 bis 5 cm Scheitelsetzung nicht überschritten. Die Versiegelung der Brust, deren Schiefstellung und Abtrepung zeigten sich als wertvolle Beiträge zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit während des Vollausbruchs.

6 Verzweigungskavernen

6.1 Unerwünschte Ereignisse und Baukonzepte

Mit der ersten Prognose war im Sondierstollen die Graphitzone als rund 7 m mächtige Zone mit sehr weichem Gestein im Bereich der Verzweigungskavernen erkannt. Da sie die Kavernen bei einer Spannweite des Ausbruchs > 18 m tangierte, wurden die Risiken als gross eingestuft und die weitere Sondierkampagne mit einem Erkundungsstollen aus dem bestehenden Sondierstollen heraus ausgeführt (zweite Prognose).

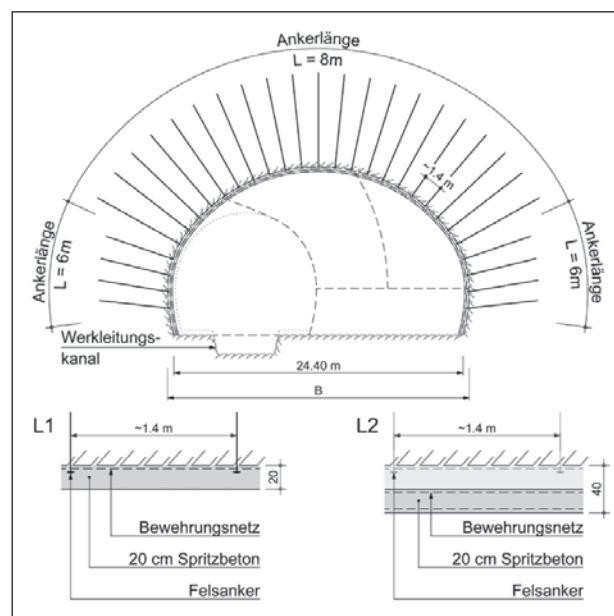
Mit dem Verschieben der nördlichen Verzweigungskaverne ostwärts konnte einem zusätzlichen Risiko ausgewichen werden. Auf der Basis der Erkundungsbohrungen wurde die Graphitzone in ihrer Ausdehnung eingegrenzt und es konnte mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass die Nordkaverne nicht davon betroffen ist. Zudem zeigten der Erkundungsstollen und die Bohrungen, dass die Graphitzone wegen wechselndem Graphitgehalt stark unterschiedliche Festigkeits- und Verformungseigenschaften aufweist.

ploratory campaign carried out with an exploration heading from the existing exploratory tunnel (second prognosis).

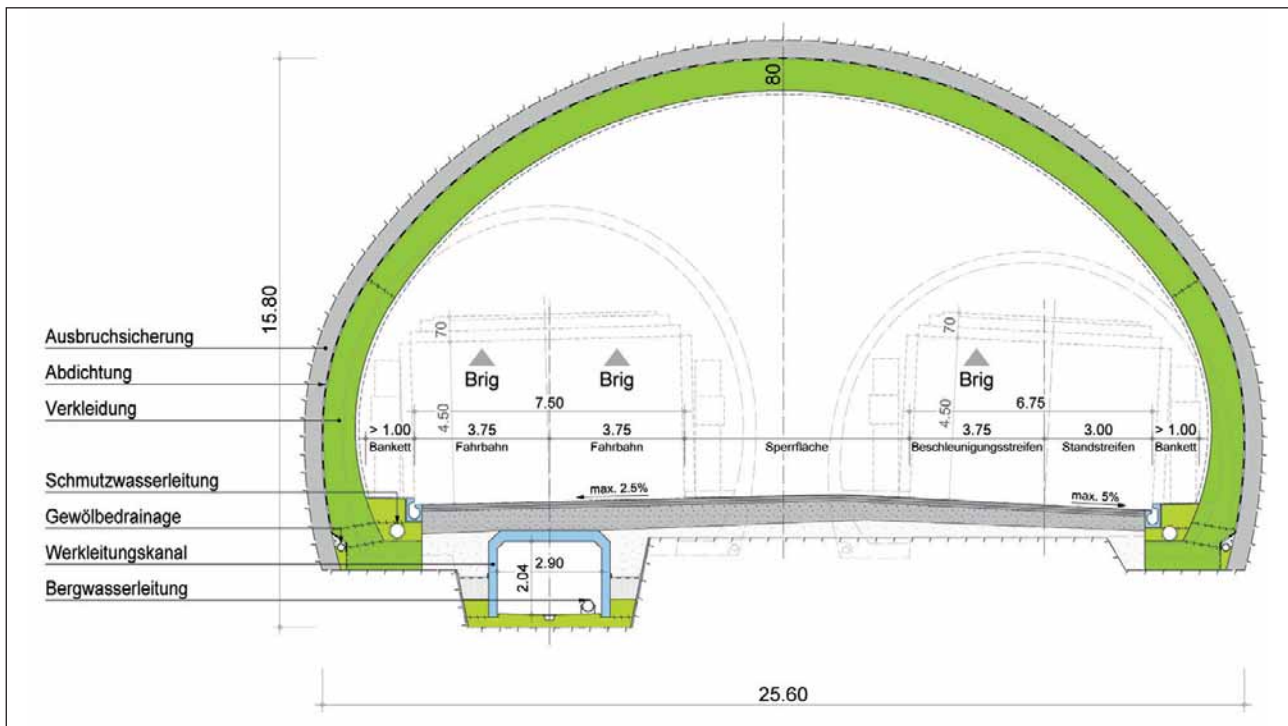
An additional risk was avoided by relocating the northern branch cavern to the east. By dint of the exploratory drilling the extent of the graphite zone was defined and it could be assumed with great probability that the northern cavern remains unaffected. Furthermore the exploration heading and the drillhole series revealed that the graphite zone possesses highly fluctuating strength and deformation properties owing to its changing graphite content. As a result, the rock classification for producing the cavern was retained at high.

Through repositioning, the 2 caverns are located entirely in rock and the undesired incidents can be summarised as follows:

- Given a span width extending up to 26 m, the loosening or slipping of rock masses from the apex or wall was regarded as the most important undesired incident affecting safety within the cavity. Thanks to a numerical unstable block analysis based on vector geometry, the dimensions of the potential unstable block was established as a result of the position and extent of the existing division planes in the rock and systematic anchoring with 6 to 8 m long anchors depending on the span width defined as the sole suitable measure (Fig. 7a). A 40 cm thick, net-reinforced shotcrete shell was installed to secure against spalling between the anchors depending on the excavated span width (Fig. 7b).
- To counter loosening at the face and the unsecured excavated soffit face anchors, sealing of the face and lances were foreseen. The latter are steeply inclined and planned to be set up in advance around the cavity to reinforce the rock zone to compensate for the abutment normally consisting of arches on the inside of the cross-section.



7b Ausbruchkonzept und Sicherung
 Excavation concept and support



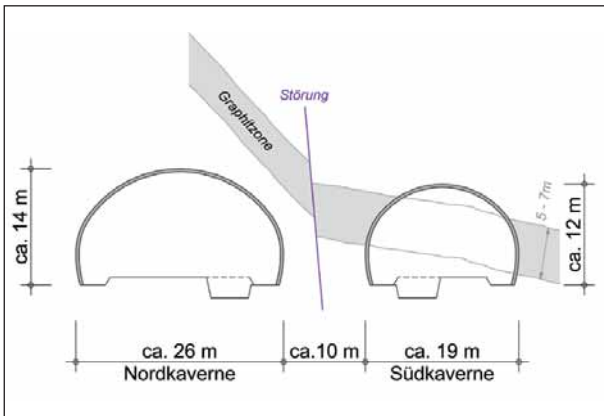
8 Ausbau der Kaverne (Querschnitt bei maximaler Spannweite)
 Developing the cavern (cross-section given maximal span width)

Aufgrund dessen wurde die Risikoeinstufung für den Kavernebau auf hoch belassen.

Mit der neuen Lage liegen beide Kavernen vollumfänglich im Fels und die unerwünschten Ereignisse fassen sich wie folgt zusammen:

- Bei der bis auf 26 m anwachsenden Spannweite wurde das Ablösen bzw. Abgleiten von Felspaketen aus dem Scheitel bzw. dem Parament als wichtigstes unerwünschtes Ereignis zur Beeinträchtigung der Sicherheit im Hohlraum beurteilt. Mit einer numerischen Bruchkörperanalyse auf der Basis von Vektorgeometrie wurde die Ausdehnung solcher potentieller Bruchkörper aufgrund der Raumstellung und Erstreckung der vorhandenen Trennflächen im Gebirge ermittelt und als einzig geeignete Massnahme die systematische Ankerung mit je nach Spannweite 6 bis 8 m langen Ankern definiert (Bild 7a). Zur Sicherung der Ablösungen zwischen den Ankern wurde eine 40 cm dicke und netzbewehrte Spritzbetonschale aufgebracht, unabhängig von der Spannweite des Ausbruchs (Bild 7b).
- Zur Begegnung von Ablösungen an der Brust und der ungesicherten Ausbruchlaibung wurden Brustanker, eine Versiegelung der Brust und Spiesse vorgesehen. Letztere sind mangels des auf der Profilinnenseite normalerweise mit Bogen ausgeführten Auflagers steilstehend und im Sinne einer Bewehrung des Gebirgsbereiches voraussehlend rund um den Hohlraum geplant.
- Der für solche Kavernen meist kritische Felspfeiler zwischen den beiden Tunnelröhren bei der Brillenwand wurde aufgrund der vorhandenen unsicheren Felsverhältnisse generell mit Beton ersetzt und konnte damit auf ein

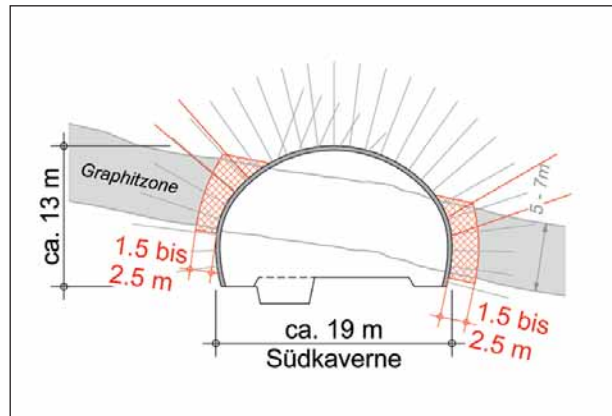
- The rock pillars between the 2 tunnel bores, usually critical for such caverns at the gland, were generally replaced with concrete on account of the prevailing insecure rock conditions so that they could be reduced to a minimum 1 m gap between the 2 tunnel bores.
- The narrow rock pillars up to 10 m thick between the 2 caverns were left without measures being undertaken by dint of calculations aimed at determining the rock stability (stress analysis in plate model). Only the 14 m long cross-passage set up in this area was to be carried out by ring closure for the initial support and the lining.
- The “piece of resistance” subsequently entailed penetrating the “graphite zone”. Thanks to the explorations in the drillholes, in the heading and from test samples it was evident that the roughly 7 m thick zone is extremely variable regarding strength and deformability. The material in the drilling pattern was completely broken; it could be partially removed with the fingers at the edge of the heading and test samples were taken of better areas and tri-axial pressure tests carried out. Whereas it was practically impossible to decipher where solid and less solid material was distributed within the zone, thanks to the drilling pattern, it was possible to predict the geometric cut emphatically and establish that only the south cavern was at a tangent over a length of 80 to 100 m owing to the oblique-angled cut given a span width of some 19 m. The zone was not predicted to be present in the north cavern. Thus the main uncertainty remained the zone’s deformation behaviour when excavating the cavern. In the worst case, compression of the soft fault zone material in the wall and in turn, roof settlements several decimetres thick were anticipat-



9a Verzweigungskavernen mit Lage der Graphitzone im Querschnitt
Branch caverns with position of graphite zone in the cross-section

Minimum von 1 m Abstand zwischen den beiden Tunnelröhren reduziert werden.

- Der mit einer Mächtigkeit von bis zu 10 m schmale Felspfeiler zwischen den beiden Kavernen konnte aufgrund von felsstatischen Berechnungen (Spannungsanalyse im Scheibenmodell) ohne Massnahmen belassen werden. Lediglich die in diesem Bereich angeordnete 14 m lange Querverbindung sollte im Ringschluss von Ausbruchsicherung und Ausbau ausgeführt werden.
- Das „piece des resistance“ bildete schliesslich die Durchörterung der „Graphitzone“. Aufgrund der Aufschlüsse in Bohrungen, im Stollen sowie aus Prüfkörpern war klar, dass die rund 7 m mächtige Zone in hohem Masse variable Festigkeit und Verformbarkeit aufweist. In Bohrkisten lag das Material komplett zerbrochen vor, am Stollenrand konnte es teilweise mit den Fingern abgebaut werden und von besseren Bereichen wurden Prüfkörper genommen und triaxiale Druckversuche ausgeführt. Während die Verteilung von festerem und weniger festem Material innerhalb der Zone kaum zu eruieren war, konnte aufgrund der Bohrungen das geometrische Verschneiden gut prognostiziert und festgestellt werden, dass lediglich die südliche Kaverne bei Spannweite von rund 19 m aufgrund des schiefwinkligen Verschneidens auf einer Länge von 80 bis 100 m tangiert war. In der Nordkaverne sollte die Zone nicht auftreten. Damit verblieb die grosse Unsicherheit bzgl. des Verformungsverhaltens der Zone beim Ausbruch der Kaverne. Im ungünstigsten Fall war ein Zusammendrücken des weichen Störzonenmaterials im Parament zu erwarten und daraus folgend Firstsetzungen von mehreren Dezimetern. Um einen Ringschluss der Kaverne zu vermeiden (Ausbaukonzept, Bild 8) wurde beschlossen, im Parament- und Sohlbereich gezielt Materialersatz des weichen Graphitmaterials auszuführen. Dies in Nischen, die zusammen mit dem Ausbruch der Kaverne direkt an der Brust ausgeführt und aufgrund der vorhandenen Kenntnisse der Lage der Zone im Voraus exakt zu positionieren waren. Der Materialersatz mit Beton wurde in Etappen von 3 m



9b Verzweigungskavernen mit Materialersatz im Parament (Südkaverne)
Branch caverns with material replaced in the wall (south cavern)

ed. To avoid a ring closure for the cavern (support concept, Fig. 8), it was decided to replace the soft graphite material in the wall and floor areas in a targeted fashion. This was done in niches, which were produced directly at the face together with excavating the cavern and were exactly positioned in advance thanks to the existing knowledge of the zone's location. The material was replaced by concrete in 3 m stages, which are some 2 m deep and enabled the deformations in the surrounding rock to be reduced to a minimum (Fig. 9). If the graphite zone had been present in the apex, then systematic anchoring was to be extended and face anchors as well as lances installed.

6.2 Execution of Construction and Monitoring

The cavern was excavated by dividing up the cross-section into 1 to 3 steps depending on the span width and subsequent removal of the floor area that was left on account of the maximal extraction height of the equipment. Systematic securing of the excavation with anchors and the shotcrete shell proved itself in the process. In some cases, anchoring was undertaken in 2 steps: friction anchors (up to 6 m in



10 Kavernenausbruch
Cavern excavation

eingbracht, weist eine Tiefe von rund 2 m auf und führt dazu, dass die Verformungen des umliegenden Gebirges auf ein Minimum reduziert werden können (Bild 9). Für den Fall, dass die Graphitzone im Scheitel vorhanden war, sollten die Systemanker verlängert und Brustanker sowie Spiesse ausgeführt werden.

6.2 Bauausführung und Überwachung

Der Ausbruch der Kaverne erfolgte unter Etappierung des Querschnittes je nach Spannweite in 1 bis 3 Schritten und einem nachträglichen Abbau des aufgrund der maximalen Abbauhöhe der Geräte stehen gebliebenen Sohlbereiches. Die systematische Ausbruchsicherung mit Ankern und der Spritzbetonschale hat sich dabei bewährt. Teilweise wurde die Ankerung in 2 Schritten eingebracht: Zur Sicherstellung der sofortigen Tragfähigkeit im Zuge des Vortriebes wurden sofort Reibrohranker (bis zu einer Länge von 6 m) aufgebracht und unmittelbar anschliessend die langen Mörtelanker ergänzt.

Der Sicherung der Teilausbrüche kam im vorhandenen sehr wechselhaften Gebirge eine grosse Bedeutung zu und sie musste systematisch und prinzipiell analog zur Sicherung im Querschnitt ausgeführt werden. Die Wechselhaftigkeit des Gebirges stellte auch mit Bezug auf den Abbauvorgang grosse Anforderungen an den Unternehmer. So mussten die Spiesse und Brustanker im Querschnitt immer wieder anders angeordnet und teilweise der Ausbruch der Teilquerschnitte in Etappen ausgeführt werden (Bild 10).

Mit dem zuvor genannten Konzept des Materialersatzes und der Verstärkung der Ankerung konnte die Graphitzone ohne nennenswerte Schwierigkeiten durchörtert werden. Der Materialersatz wurde jeweils auf einer Etappenlänge ausgeführt und dazwischen eine Lücke gleicher Länge belassen. Damit hätte die Möglichkeit bestanden, im Falle von ungünstiger als angenommenen Gebirgsverhältnissen und damit von nicht abklingenden Verformungen des Ausbruchquerschnittes zusätzliche und auch tiefere Nischen auszubrechen und mit Beton zu verfüllen. Aufgrund der gemessenen Verformungen am Ausbruchrand war diese Zusatzmassnahme aber nicht erforderlich.

Der Vortrieb der beiden Kavernen konnte erfolgreich in einem Zeitraum von 13 Monaten ausgeführt werden.

7 Fazit

Nach dem Abschluss der Vortriebe im Jahr 2012 kann eine erste Beurteilung der eingetretenen Risiken vorgenommen werden. Dabei darf zunächst festgehalten werden, dass mit einer systematischen Analyse der unerwünschten Ereignisse und der vertieften geologischen Erkundung 2006 die Projektkonzepte derart weitgehend ausgearbeitet werden konnten, dass in der Bauausführung geologische Überraschungen ausgeblieben sind. Die Bauausführung bestätigte die Einschätzung der Risiken gemäss der zweiten Prognose.

length) were installed to assure immediate bearing capacity during the drive and then long mortar anchors were added directly afterwards.

Securing the part-excavation was of great significance in the extremely varied rock that was encountered and had to be undertaken systematically along the lines of supporting the cross-section. The rock's variability also posed a major challenge to the contractor for the excavation process. Thus for instance, the lances and face anchors in the cross-section had constantly to be repositioned and in some cases, the part cross-sections had to be executed in stages (Fig. 10).

It was possible to penetrate the graphite zone without appreciable difficulties using the previously cited concept of replacing the material and reinforcing the anchors. The material in a single stage was replaced and then a gap of the same length was left in between. This meant that it was possible to produce additional and deeper niches and to backfill them with concrete should rock conditions that were more unfavourable than predicted be encountered resulting in unabated deformations. However, this additional measure was not required after measuring the deformations occurring at the edge of the excavation.

The 2 caverns were successfully driven over a period of 13 months.

7 Summary

When the drive concluded in 2012, it was possible to make an initial assessment of the risks that occurred. In this connection, it must be asserted that the project concepts were developed to such a degree thanks to a systematic analysis of the undesired incidents and the in-depth geological investigation that ensued in 2006 so that geological surprises did not crop up during construction. The execution of construction confirmed the estimation of the risks in keeping with the second prognosis.

Fig. 11 shows in retrospect the risks classified in accordance with Chapter 3.2, which would have occurred without the measures undertaken to counteract them. The level of knowledge following the first and second prognosis as well as the remaining uncertainties for executing construction is also provided. The risk or uncertainties for executing construction diminished as the level of knowledge grew:

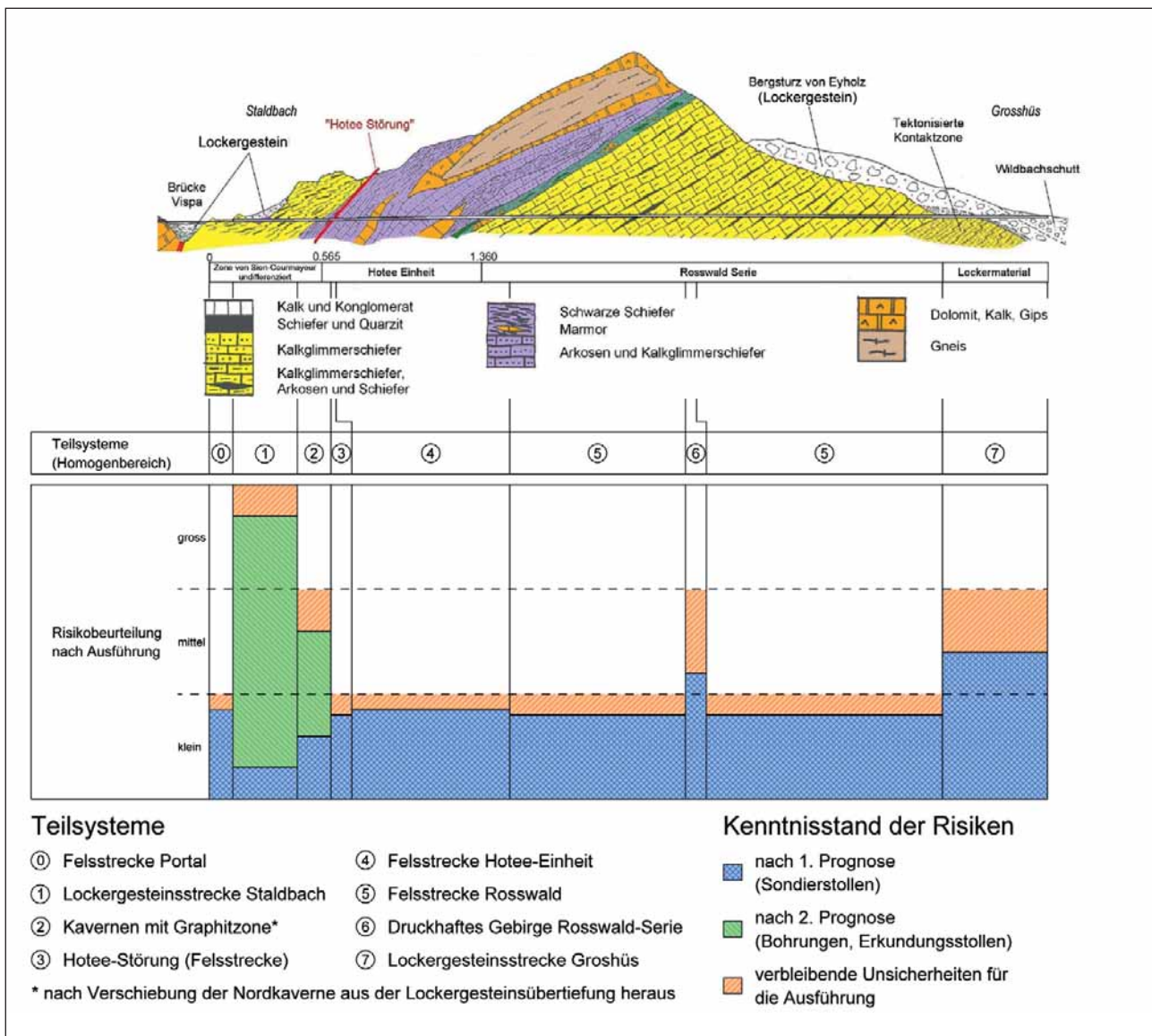
- For the rock sections (homogeneous areas 3 to 6), the first prognosis based on the reconnaissance tunnel and the resultant project concepts led to extremely low uncertainties during execution and in turn to acceptable engineering risks.
- The known risks in homogeneous area 7 on the east side were also well mastered by the measures foreseen in the driving concept. The relatively high construction time risks

Bild 11 zeigt rückblickend die Risiken mit der Einstufung gemäss Kapitel 3.2, die ohne die ausgeführten Massnahmen zu deren Begegnung eingetroffen wären. Aufgetragen sind zudem der Kenntnisstand nach der ersten und der zweiten Prognose sowie die verbleibenden Unsicherheiten für die Bauausführung. Mit zunehmendem Kenntnisstand verringern sich das Risiko bzw. die Unsicherheiten für die Bauausführung:

- Für die Felsstrecken (Homogenbereiche 3 bis 6) haben die auf dem Sondierstollen basierende erste Prognose und die daraus abgeleiteten Projektkonzepte zu geringen Unsicherheiten bei der Ausführung und damit akzeptierbaren bautechnischen Risiken geführt.
- Auch im Lockergesteinsvortrieb auf der Ostseite (Homogenbereich 7) wurden die bekannten Risiken mit den im Vortriebskonzept vorgesehenen Massnahmen gut beherrscht. Die auch aufgrund der grossen Tunnellänge verhältnismässig hohen Bauzeitrisiken wurden mit der

due to the great length of the tunnel were avoided by decoupling the drives from the critical path for the overall structure and the intermediate points of attack.

- On the west side, a rock drive would have been replaced by soft ground at the foot of the slope without extensive exploration. This would have exerted a considerable effect on the construction site (safety, slope stability, etc.) and on costs and deadlines. Instead, thanks to the drilling programme undertaken during the project design phase, the level of knowledge of the risks in the homogeneous area 1 (dimensions of the soft ground drives) was consolidated to such an extent that the soft ground drives could be planned and executed with tailor-made ancillary measures without difficulties.
- The relocation of the north branch cavern towards the east completely in rock as a result of the outcome of the 2nd prognosis signified that the risks for homogeneous area 2 (branch caverns) were largely avoided. The residual risks



11 Entwicklung des Kenntnisstandes über die Risiken und verbleibende Unsicherheiten für die Ausführung
Development of level of knowledge on the risks and remaining uncertainties for execution

Entkoppelung der Vortriebe vom kritischen Weg für die Gesamtanlage und die Zwischenangriffe umgangen.

- Auf der Westseite wäre ohne die umfassende geologische Erkundung und die zweite geologische Prognose ein Felsvortrieb unerwartet im Hangfuss ins Lockergestein geraten. Dies mit erheblichen Konsequenzen für die Baustelle (Sicherheit, Hangstabilität, etc.) und auch für Kosten und Termine. Stattdessen wurde mit den Bohrungen während der Projektierungsphase der Kenntnisstand über die Risiken im Homogenbereich 1 (Ausdehnung der Lockergesteinsübertiefung) derart umfassend vertieft, dass die Lockergesteinsvortriebe mit massgeschneiderten Bauhilfsmassnahmen geplant und ohne Schwierigkeiten ausgeführt werden konnten.
- Die Verschiebung der nördlichen Verzweigungskaverne aufgrund der Erkenntnisse der 2. Prognose ostwärts und komplett in den Fels hat für den Homogenbereich 2 (Verzweigungskavernen) eine entscheidende Umgehung von Risiken gebracht. Die verbleibenden Risiken (unzulässige Verformung der Kaverne in der Graphitzone) konnten mit dem systematischen Materialersatz verhältnismässig einfach beherrscht werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass mit dem systematischen Analysieren von unerwünschten Ereignissen im Tunnelbau die wichtigsten bautechnischen Risiken erkannt und mit teilweise einfachen Massnahmen auch unter anspruchsvollen Verhältnissen auf ein überschaubares Mass verringert werden können. Verbleibenden Unsicherheiten kann entweder mit systematischen Massnahmen oder mit Zusatzmassnahmen begegnet werden.

Klar wird auch, dass in frühen Projektphasen die besten Möglichkeiten bestehen, die Risiken zu umgehen, z.B. durch die Wahl der Linienführung. Leider ist häufig die Realität so, dass übergeordnete Aspekte verkehrlicher oder politischer Art bzw. die Bewilligungsfähigkeit höher gewichtet werden müssen als die bautechnischen Risiken. Andererseits fehlt früh im Projekt oftmals das vertiefte Verständnis über die geologischen Verhältnisse und deren Unsicherheiten und damit das tatsächliche Ausmass der Risiken. Es lohnt sich, bereits früh die geologische Erkundung derart weit voran zu treiben, dass die strategischen Projektentscheide unter Berücksichtigung der teilweise nicht unerheblichen Kosten- und Terminrisiken vollzogen werden können.

(impermissible deformation of the cavern in the graphite zone) were mastered with relative ease thanks to systematically replacing material.

In summing up, it can be asserted that the most important engineering risks can be identified through the systematic analysis of undesired incidents in tunnelling and reduced to an acceptable degree thanks to in some cases simple measures even given challenging circumstances. Any remaining uncertainties can be countered either through systematic measures or additional activities.

It is also evident that the best possibilities for avoiding risks, e.g. through the choice of route alignment, exist during the early project phases. Unfortunately, it is often the case that superordinated aspects of a transport-oriented or political nature or approvability have to be accorded more consideration than the engineering risks. On the other hand, early in the project there is often a lack of extensive knowledge about the geological conditions and their uncertainties and in turn, the actual degree of the risks. It is well worthwhile pursuing geological exploration to such a degree that the strategic project decisions can be made while taking into account the not inconsiderable cost and scheduling risks.

Literatur/References

- [1] Kovári, K. und J. Weber (1991). Risikoverminderung bei der Spritzbetonbauweise im U-Bahnbau München. Sicherheit und Risiken im Untertagebau, ETH Symposium, Zürich
- [2] Amstad, C. (1998). Empfehlung SIA 199 (1998): Beurteilung des Gebirges. Erfassen des Gebirges im Untertagebau – Einführungstagung zur Empfehlung SIA 199 (1998), Fribourg
- [3] Kovári, K. (2001). Systemsicherheit beim Vortrieb des Zimmerbergtunnels. Tagungsberichte SIA-Tagung vom 15. März 2001 «Risiko-Management im Untertagebau – Tunnelvortriebe im Raum Zürich», Zürich
- [4] Schneider, A. (2001). Sicherheit gegen Niederbruch im Untertagebau. Dissertation an der ETH Zürich
- [5] Schneider, A., Tanner, S. (2008). A9 Umfahrung Visp – Anspruchsvolle Tunnelvortriebe in Lockergestein und Fels. Swiss Tunnel Congress 2008, Luzern
- [6] Tanner, S., Schneider, A. (2010). Bauhilfsmassnahme Jet-Grouting im Vortrieb mit gemischter Ortsbrust. Kolloquium „Bauhilfsmassnahmen im Tunnelbau“, ETHZ, 9. Dezember 2010
- [7] Schneider, A., Tanner, S. (2012). Der Tunnel Eyholz der Südumfahrung Visp. Geomechanics and Tunnelling 5, No. 2

Francesco Rossi, Dipl. Bauing. REG-A/SIA/M. ASCE, Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, c/o G. Dazio & Associati SA, Cadenazzo/CH
Raffaele Filippini, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, c/o Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca/CH
Kalman Kovári, Prof. Dr., Beratender Ingenieur, Zürich/CH

Ceneri-Basistunnel

Kaverne unter einem Autobahndamm

Mit dem Bau der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) entsteht am Gotthard eine schnelle und leistungsfähige Bahnverbindung. Herzstück sind die beiden Basistunnel an Gotthard und Ceneri. Beim Nordportal des Ceneri-Basistunnels führten komplexe verkehrstechnische Bedingungen zur Schaffung einer Kaverne mit grossen Abmessungen, welche einen Autobahndamm bei geringer Distanz zur Fahrbahn durchqueren musste. Die Ausführung dieser Arbeiten durfte den Betrieb der Autobahn praktisch nicht einschränken und angesichts der Bedeutung dieses Verkehrsträgers musste gleichzeitig höchste Sicherheit gewährleistet werden. Der Dammkörper lehnt sich an eine Felsböschung und ruht auf einer Zwischenschicht von Lockergesteinen von einigen Metern Dicke, auf die dann wieder Felsmaterial folgt. Der schiefe Schnitt zwischen der Kavernen- und Autobahn-Achse sowie die Felsbegrenzung schufen ein ausgesprochen dreidimensionales Tragwerk.

Ceneri Base Tunnel

Cavern beneath a Motorway Embankment

With construction of the New Rail Link through the Alps (NRLA) a fast and powerful rail junction is arising at the Gotthard. Centerpieces are the both Base Tunnels at the Gotthard and the Ceneri. At the north portal of the Ceneri Base Tunnel complex technical conditions governing traffic necessitated the creation of a cavern with large dimensions, which had to pass through a motorway embankment only a short distance away from the carriageway. These activities had to be carried out without perceptibly restricting the operating motorway and at the same time maximum safety had to be assured on account of the importance of this transport artery. The embankment is located up against a rocky slope and lies on an intermediate soft ground layer that is several metres thick, with rock material located on top. The acute angle between the axis of the cavern and the motorway and the rock boundary called for a definitely three-dimensional structure.

1 Einleitung

Die Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) schafft neue Perspektiven für den Bahnverkehr durch die Alpen. Die NEAT-Achse am Gotthard umfasst den 57 km langen Basistunnel am Gotthard und den 15,4 km langen Ceneri-Basistunnel. Dessen Nordportal bildet einen Teil des Eisenbahnknotenpunktes Camorino (Bild 1), wo aus verkehrstechnischen Gründen der Eingangsbereich des Tunnels als eine Kaverne mit grossen Abmessungen ausgebildet ist, welche die hier als fünfspurig geführte Nationalstrasse A2 schiefwinklig (ca. 30°) unterfährt [1]. Das geforderte Normalprofil mit der Innenschale ist in Bild 2 dargestellt. Es weist eine Schirmabdichtung auf. Aus logistischen Gesichtspunkten heraus war das Profil im Zustand der Ausbruchsicherung

1 Introduction

The New Rail Link through the Alps (NRLA) opens new perspectives for the railway traffic crossing the Alps. The NRLA axis at the Gotthard comprises the 57 km long Gotthard Base Tunnel and the 15.4 km long Ceneri Base Tunnel. Its north portal is part of the Camorino rail junction (Fig. 1), where the tunnel entrance zone is formed as a cavern with large dimensions for engineering reasons, underpassing the 5-lane A2 national highway at an acute angle (around 30°) at this point [1]. The required standard cross-section with the final liner is presented in Fig. 2. It possesses an umbrella sealing system. For logistical reasons the profile had to be kept exposed after securing the excavation. The intermediate wall has been installed years after the excavation with the construction of

Tunnel de base du Ceneri

Une caverne sous la chaussée d'une autoroute

La nouvelle transversale alpine des Chemins de fer (NEAT) ouvre de nouvelles perspectives pour le trafic ferroviaire à travers les Alpes. L'axe du Gothard NEAT comprend le tunnel de base du Gothard (57 km) et le tunnel de base du Ceneri (15,4 km). Au niveau du portail nord de ce dernier, des conditions techniques complexes de circulation ont amené à créer une caverne de grandes dimensions qui devait traverser la plate-forme d'une autoroute à peu de distance de la chaussée. Il ne fallait pas que la réalisation de ces travaux limite l'exploitation de l'autoroute et, en même temps, compte tenu de l'importance de cette voie de circulation, on devait assurer un maximum de sécurité. La plate-forme est adossée à un talus rocheux et repose sur une couche intermédiaire de sols meubles de quelques mètres d'épaisseur, suivie de nouveau par de la roche. La coupe oblique entre l'axe de la caverne et l'axe de l'autoroute, ainsi que la délimitation rocheuse, ont généré une structure portante à trois dimensions.

Galleria di base del Ceneri

Caverna sotto un rilevato autostradale

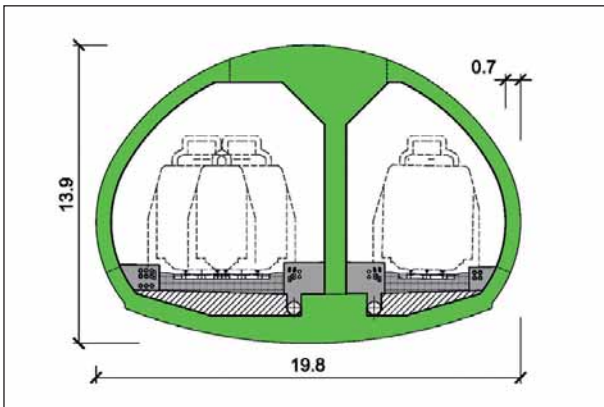
La nuova trasversale ferroviaria alpina (NEAT) apre nuove prospettive per il traffico ferroviario attraverso le Alpi. L'asse della NEAT al Gottardo comprende la galleria di Base del S. Gottardo (57 km) e la galleria di base del Ceneri (15,4 km). In corrispondenza del portale settentrionale del Ceneri le complesse condizioni tecniche e del traffico hanno comportato la creazione di una caverna di grandi dimensioni, che ha dovuto attraversare un rilevato autostradale a poca distanza dalla carreggiata. L'esecuzione di questi lavori non doveva limitare il traffico autostradale garantendone al contempo la massima sicurezza data l'importanza di questa arteria. Il corpo del rilevato si appoggia ad una scarpata in roccia e posa su uno strato intermedio di terreno sciolto di alcuni metri di spessore, seguito a sua volta nuovamente da roccia. Il taglio obliquo tra l'asse della caverna e l'asse autostradale, nonché la delimitazione della roccia, hanno creato una struttura portante tridimensionale.

frei zu halten. Die Zwischenwand wurde erst Jahre nach dem Ausbruch zusammen mit der Innenschale eingebracht. Parallel zur Kaverne wird in deren Nähe auch der eingleisige Bahntunnel Bretella Lugano-Bellinzona erstellt. Bild 3 zeigt die beiden Baugruben, aus denen die Tunnel-

the final liner. The single-track Bretella Lugano-Bellinzona rail tunnel is also being produced in the vicinity parallel to the cavern. Fig. 3 shows the 2 construction sites, from which the tunnels were started. The following report is restricted to explaining the design and construction of the cavern with a



1 Fotomontage „Knoten Camorino“ – Sicht nach Süd-Westen (Quelle: ATG)
Photo montage “Camorino junction” – looking south-west (Source ATG)



2 Normalprofil der Kaverne mit Schirmabdichtung
Standard cross-section of the cavern with umbrella seal

anschlüsse erfolgten. Die folgende Darstellung beschränkt sich auf die Erläuterung des Entwurfs und der Konstruktion der Kaverne mit einer maximalen Spannweite des Ausbruchprofils von 24 m und einer Höhe von 17 m. Ausserdem werden die anspruchsvollen Probleme bei der Bauausführung sowie die Kontrollmessungen und das Risikomanagement erläutert. Die Überlagerung bis zur Fahrbahn beträgt nur rund 10 m. Wie aus Bild 4 hervorgeht, durchörtert die Kaverne in ihrem oberen Profilbereich den Dammkörper aus aufgeschüttetem Lockergestein und in ihrem Sohlbereich die Zwischenschicht einer kohäsionslosen Seeablagerung sowie eine Moräne. Weiter zum Inneren des Berges hin durchörtert sie den anstehenden Felsen. In seinem oberflächennahen Bereich ist der Fels verwittert, sodass der Tunnelscheitel erst unter der bergseitigen Fahrspur gänzlich in den gesunden Fels zu liegen kommt.

maximum span width of 24 m and a height of 17 m. In addition the complex problems in executing construction as well as the controlling measurements and the risk management are dealt with. The overburden extending to the carriageway amounted to only 10 m. As shown in Fig. 4 the upper profile section of the cavern penetrates the railway embankment while the lower section passes through the intermediate layer of a non-cohesive lake deposit as well as moraine. Further into the mountainside it passes through the prevailing rocks. Close to the surface the rock is weathered so that the tunnel apex is first located entirely in healthy rock only beneath the driving lane towards the mountainside.

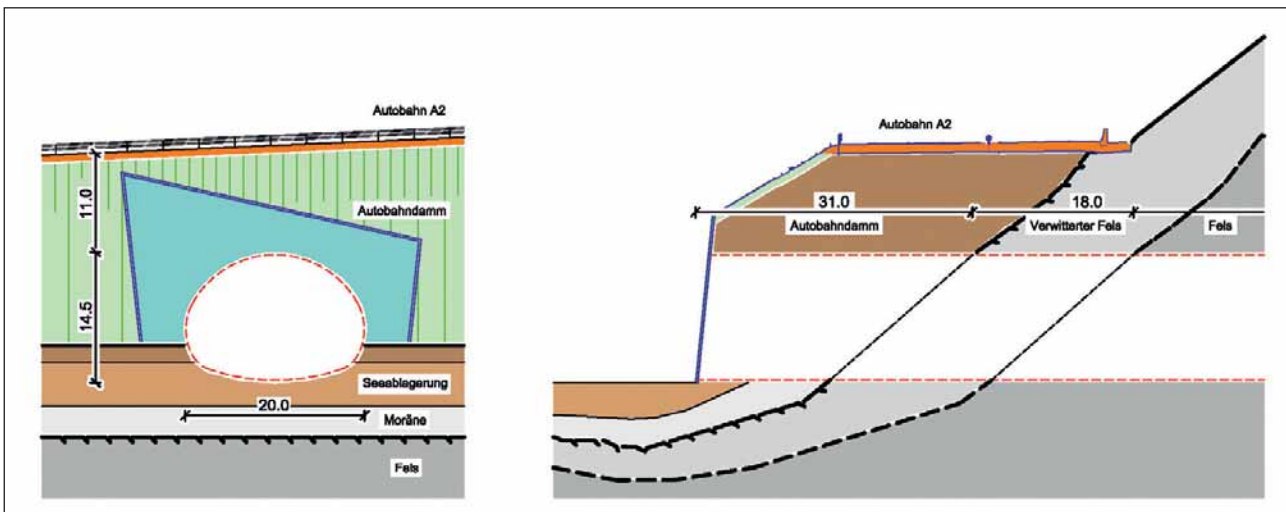
The special feature in planning and executing this structure was to ensure no disruption of the overlying motorway at all times without major restrictions while assuring adequate safety in spite of the unfavorable geotechnical conditions, the shallow cover and the cavern's large dimensions. On the one hand it was essential to limit the settlements on the carriageway to an allowed degree and on the other to assure the stability of the large excavation in the motorway embankment.

2 Design Concept

Extensive studies have been carried out before a design concept was worked out, which in Fig. 5 is shown step by step schematically. Basically it is a classical crown drive with concrete abutments constructed in advance for securing the cavity, comprising a shotcrete shell and a jet grouting canopy installed step-by-step to form a double row of single fluid jet grouting columns.



3 Baugruben zum Tunnelansatz für eingleisigen Eisenbahntunnel und Kaverne unter der Autobahn (Quelle: ATG)
Construction pits for starting the single-track rail tunnel and cavern beneath the motorway (Source ATG)



4 Geotechnische Situation an der Kaverne: Begrenzung des Profils durch die Innenkante der Tunnelinnenschale (links) und geologisches Längenprofil (rechts)
 Geotechnical situation at the cavern: limiting of the profile through the inner edge of the tunnel inner shell and geological longitudinal section (right)

Die Besonderheit bei Planung und Ausführung dieses Bauwerkes bestand darin, trotz der ungünstigen geotechnischen Verhältnisse, der geringen Überlagerung und der grossen Abmessungen der Kaverne den Verkehr auf der Autobahn ohne erhebliche Einschränkungen jederzeit zu gewährleisten und eine angemessene Sicherheit zu garantieren. Es galt somit zum Einen, die Setzungen an der Fahrbahn auf ein erlaubtes Mass zu beschränken und zum Anderen, die Stabilität des Hohlraumes und der Dammschüttung als Ganzes zu gewährleisten.

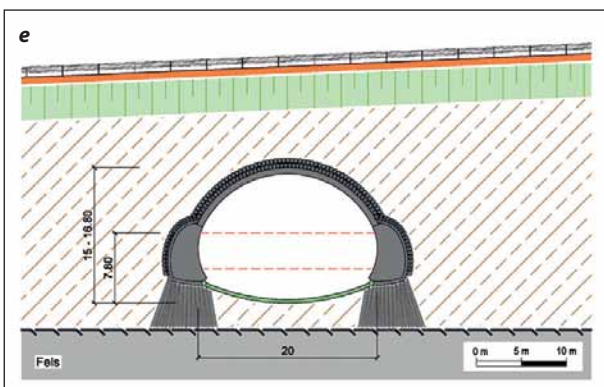
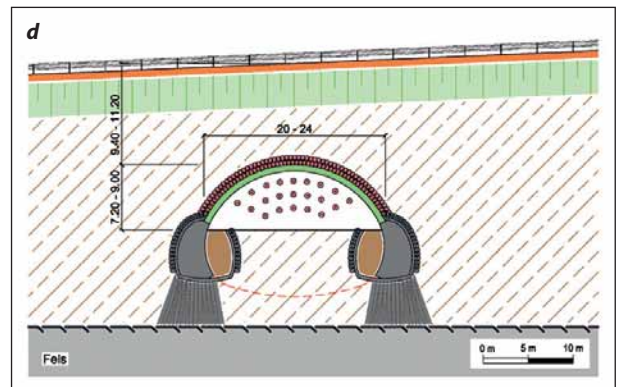
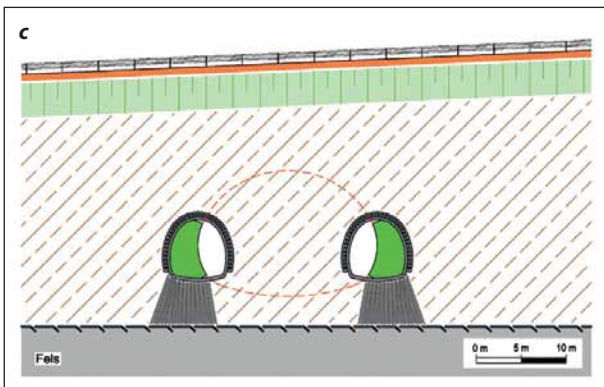
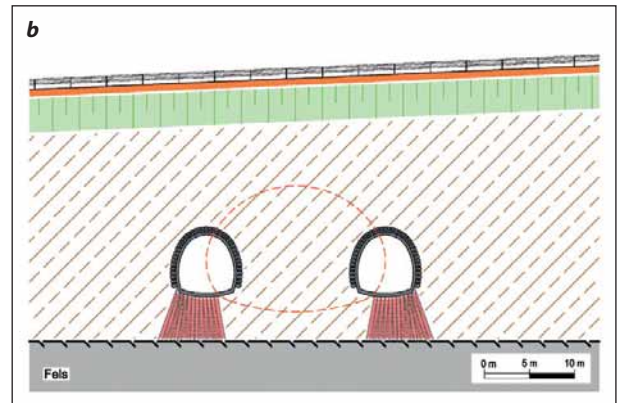
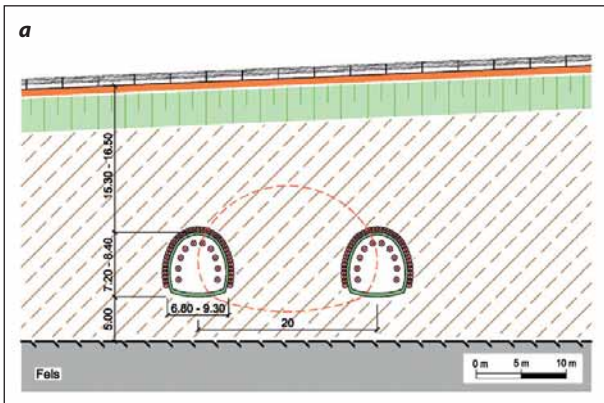
2 Entwurfskonzept

Nach eingehendem Variantenstudium wurde ein Entwurfskonzept erarbeitet, das in Bild 5 in den einzelnen Schritten der Konstruktion schematisch dargestellt ist. Im Wesentlichen handelt es sich um einen klassischen Kalottenvortrieb mit im Voraus erstellten Betonwiderlagern für die Ausbruchsicherung der Kalotte, bestehend aus einer Spritzbetonschale und einem schrittweise eingebrachten Gewölbe aus doppelten HDI-Säulen. Wie zuvor erwähnt, steht im Eingangsbereich der Kaverne unter der Sohle Lockergestein an (Bild 4), weshalb dort die Betonwiderlager der Kalotte auf einen aus HDI-Säulen hergestellten Fundationskörper gestellt wurden. Auf diese Weise wird in diesem Tunnelbereich die Belastung des Kalottengewölbes über die Auflagerkräfte in die Betonwiderlager geleitet und durch die HDI-Fundationskörper weiter direkt in den festen Felsuntergrund geführt. Ein wesentliches Element des Konzeptes bildet die Stabilisierung der Ortsbrust der Kalotte bzw. deren Versteifung. Es sei hier angemerkt, dass unter diesen Bedingungen dem provisorischen Sohlgewölbe praktisch keine statische Funktion zukommt. Da das Verhältnis von Spannweite zu Überlagerung > 1 ist, wurde als Belastung die volle Auflast auf das Kalottengewölbe angesetzt. Für diese Annahme spricht zudem der Umstand, dass bei der

As previously mentioned natural ground is present beneath the invert arch at the entrance area to the cavern (Fig. 4), which is why the concrete abutments for the crown have been founded on a body of vertical jet grouting columns in order to provide the needed support. In this way the load of the crown vault is diverted into the concrete abutments in this tunnel section via the supporting forces and transferred further directly into the solid rock subsurface through the jet grout foundation body. Stabilizing the large crown excavation face and its strengthening represents an integral element of this concept. It is important to remark that at this point the temporary invert exerts practically no structural function under these circumstances. As the ratio of span width to overburden > 1 , the complete superimposed load was applied on the crown vault as load. Furthermore the fact that such a load parameter proved to be realistic speaks for this assumption in view of the high stiffness given for the construction. After the acceptance of this structurally fluid and clearly comprehensible design concept, in the case of which the bearing structure complies with all requirements in every construction phase in conjunction with its cross section as well as in a longitudinal direction regarding deformations, attention was turned to the structural design and evolving the construction details.

3 Tunnel Structural Design

It wasn't possible to relate to reference projects because of many unusual features of this construction project, i.e. based on findings obtained from building under comparable conditions. As a result the analyses of the various construction states for the tunnel structural design were of major significance. These were executed in conjunction with Dr. M. Vogelhuber (RSE GmbH). In particular the following elements of the bearing structure had to be created and dimensioned according to construction terms:



5 Bauetappen im Profil:

- a) Auffahren der Widerlagerstollen (Ausbruchfläche 40 bis 60 m²)
- b) Erstellen der Fundamentskörper durch HDI-Säulen
- c) Einbringen der Betonwiderlager
- d) Kalottenvortrieb in Etappen mit HDI-Gewölbe und Spritzbetonschale (Ausbruchfläche 110 bis 160 m²)
- e) Stossen- und Sohlausbruch (Ausbruchfläche 140 m²)

Construction stages in the cross-section:

- a) Drilling of the side tunnels (excavated area up to 60 m²)
- b) Vertical single fluid jet grouting columns for abutment supports
- c) Construction of the concrete abutments within the side tunnels
- d) Crown drive in stages with jet grout canopy and shotcrete shell (excavated area up to 160 m²)
- e) Bench and invert excavation (excavated area 140 m²)

angestrebten hohen Steifigkeit der Konstruktion eine solche Lastgrösse sich als wirklichkeitsnahe erweisen könnte. Nach der Annahme dieses statisch anschaulich und klar nachvollziehbaren Entwurfskonzepts, bei dem das Tragwerk in jeder Bauphase sowohl im Profil als auch in Längsrichtung vom Standpunkt der Verformungen als auch der Stabilität allen Ansprüchen genügt, ging man an die Statik und die konstruktive Detailbearbeitung.

3 Tunnelstatik

Infolge der in vielerlei Hinsicht ungewöhnlichen Merkmale dieses Bauvorhabens konnte man nicht auf Referenzobjekte, d.h. auf Bauverfahren unter vergleichbaren Bedingungen, zurückgreifen. Aus diesem Grund kam den tunnelstatischen Analysen der unterschiedlichen Bauzustände eine grosse Bedeutung zu. Diese wurden in enger Zusammenarbeit mit Dr.

- jet grout foundation body
- both concrete abutments
- jet grout canopy in the crown
- shotcrete vault in the crown
- face support

Starting from the construction nailed wall the jet grout canopy was produced in 3 stages (9, 12 and 9 m) until the rock was reached. The critical cross section for analytical model was selected in the centre of the second stage.

3.1 Shotcrete Vault in the Crown, Surface Settlements

Although the structure is markedly 3-dimensional taking into account the acute angle of the cavern axis to the motorway embankment and to the rock slope, only plane computational models were used and worked out perpendicular to the cavern axis. A model based on the elastic continuous

M. Vogelhuber (RSE GmbH) durchgeführt. Es galt insbesondere die folgenden Elemente des Tragwerks konstruktiv zu gestalten und zu bemessen:

- HDI-Fundationskörper
- beide Betonwiderlager
- HDI-Gewölbe in der Kalotte
- Spritzbetongewölbe in der Kalotte
- Ortsbrustsicherung

Die HDI-Gewölbe wurden von der Baugrubenwand ausgehend in 3 Etappen (9, 12 und 9 m) bis in den Fels ausgeführt. Der massgebende Schnitt für die ebenen Berechnungsmodelle wurde in der Mitte der zweiten Etappe gewählt.

3.1 Spritzbetongewölbe in der Kalotte, Oberflächensetzungen

Obwohl die Anlage infolge des schiefen Winkels der Kavernenachse zum Dammkörper und zur Felsböschung ausgesprochen dreidimensional geprägt ist, wurden nur ebene Berechnungsmodelle senkrecht zur Kavernenachse entworfen und durchgerechnet. Ein Modell im Sinne einer elastischen Bettung der Aussenschalen diente der Bemessung der Spritzbetonschale in der Kalotte und der Ermittlung seiner Verformungen – insbesondere der Firstsenkung. Hierfür wurde eine gleichförmig verteilte vertikale Belastung des Gewölbes in einem Sektor mit einem Öffnungswinkel von 120° angesetzt. Der restliche Bogenbereich erfuhr eine Bettung entsprechend dem angenommenen E-Modul des Materials der Dammschüttung. Dieser hatte grossen Einfluss auf die Biegemomente und damit auch auf die erforderliche Bewehrung der Spritzbetonschale. Zur Kontrolle wurden in gleicher Weise asymmetrische Lastverteilungen untersucht. Das andere Berechnungsmodell basierte auf einem geschlossenen Kontinuum (Dammkörper, Lockergestein und Fels) im ebenen Verformungszustand mit eingebrachter Spritzbetonschale und HDI-Gewölbe. Bei diesem Ansatz kamen der Seitendruckbeiwert und die elastisch-plastischen Materialeigenschaften der Dammschüttung ins Spiel. Der Vortrieb wurde hier wie üblich mit der schrittweisen Reduktion der Knotenkräfte am Ausbruchrand simuliert. Auf diese Weise erhielt man auch die Oberflächensetzungen an der Fahrbahn. Das Berechnungsmodell mit der vollen Auflast lieferte die massgebenden Schnittkräfte zur Bemessung der Spritzbetonschale, deren Dicke mit 0,70 m gewählt wurde. Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten umfangreichen parametrischen Studien sind in Bild 6 zusammengefasst. Es handelt sich hier einerseits um den geometrischen Bewehrungsgehalt der Spritzbetonschale der Kalotte und andererseits um die Oberflächensetzung in Funktion der diversen konstruktiven Massnahmen.

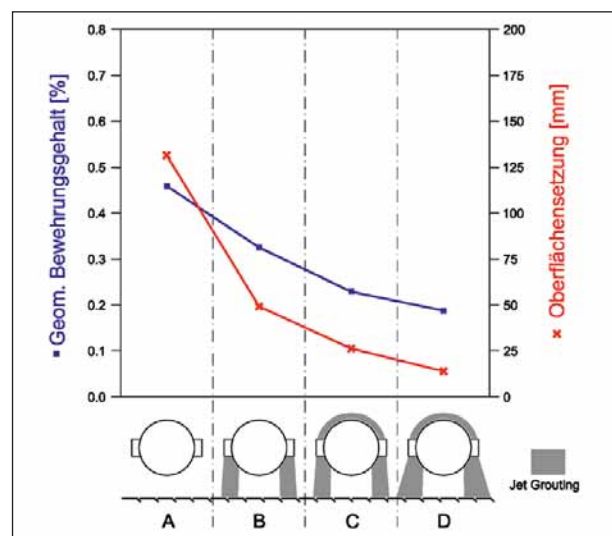
Dies sind

- Fall A: Nur Betonwiderlager und Spritzbetonschale
- Fall B: Betonwiderlager mit „schmalen“ Fundationskörpern
- Fall C: Zusätzlich zum Fall B doppeltes HDI-Gewölbe in der Kalotte
- Fall D: Wie Fall C, jedoch breitere HDI-Fundationskörper

support of the outer shells served to dimension the shotcrete shell in the crown and to establish its deformations – especially the roof settlement. To achieve this, a uniform distributed vertical load was applied to the vault for a sector with an angle of 120°. The remaining arch portion has been modeled as a continuous non-linear support with the stiffness corresponding to the assumed E-module of the embankment fill material. This has been proved to give a great influence on the bending moments and therefore also on the reinforcement needed for the shotcrete liner. Asymmetric load distributions were examined in the same way for control purposes. The other analytical model was based on a closed continuum (motorway embankment, soft ground and rock) in plane deformation state with placed shotcrete shell and jet grout canopy. Given this situation the lateral pressure coefficient and the elastic-plastic material properties of the embankment fill come to play a sensitive role. As is usual the drive here was simulated by gradually reducing the nodal forces at the edge of the excavation. In this way the surface settlements on the carriageway are also obtained. The computational model with the complete superimposed load provided the maximum internal forces used to determine the dimensioning of the shotcrete liner, which was selected with a thickness of 0.70 m. The most important results of the extensive parametric studies which were undertaken are summarized in Fig. 6. On the one hand this relates to the geometric reinforcement content of the shotcrete liner for the crown and on the other to the surface settlement as a function of the various construction measures.

These are

- Case A: Only concrete abutment and shotcrete liner
- Case B: Concrete abutment with “narrow” foundation body
- Case C: Double row of jet grout canopy in the crown in addition to Case B
- Case D: As in Case C, but with a wider jet grouting



6 Kaverne Ost: Einfluss diverser Massnahmen auf Bewehrungsgehalt (Bruchkörpermodell) und Oberflächensetzungen (Kontinuumsmodell) Cavern east: influence of various measures on the reinforcement content (design block model) and surface settlements (continuum model)

Wie das Diagramm in Bild 6 zeigt, war die Anordnung des Fundaments bestehend aus HDI-Säulen (Fall B) für die Verringerung der Oberflächensetzung von ausschlaggebender Bedeutung. Das HDI-Gewölbe aus einer doppelten Säulenreihe konnte die Oberflächensetzung nur in bescheidenem Masse reduzieren, da das Verhältnis der Steifigkeit des Spritzbetons gegenüber dem gejetzten Lockergestein etwa rund 10:1 beträgt.

Zur Reduktion des Bewehrungsgehaltes der Spritzbetonschale trugen alle 3 Massnahmen (Fälle B bis D) etwa in gleichem Masse bei. Unter Berücksichtigung auch wirtschaftlicher Aspekte gelang die Lösung gemäss Fall C zur Ausführung.

Bezüglich der statischen Wirkungsweise der Innenschale der Kaverne seien 2 Besonderheiten erwähnt. Zum Einen erhielt das Profil – wie zuvor erwähnt – eine mittlere Trennwand (Bild 2) und zum Anderen verloren die beiden Widerlagerstollen der Kalottenaussenschale sowie die darunter liegenden Fundamentkörper aus HDI-Säulen ihre statische Funktion. Die Innenschale weist ein bewehrtes Sohlgewölbe auf, das die Gewölbekonstruktion auf das anstehende Lockergestein übertrug.

3.2 Untersuchung der Ortsbruststabilität

Die Gewährleistung der Stabilität der Ortsbrust im Lockergestein der Dammschüttung stellte eine der wichtigsten Forderungen an das Tragwerk während der Bauausführung dar. Man hat zwar mit der Bogenwirkung des HDI-Gewölbes gerechnet, wollte sich jedoch auch auf eine gewisse Längstragwirkung der einzelnen Säulen verlassen. Die Ortsbrustankerung erfolgte durch bewehrte HDI-Säulen. Hierdurch bewirken die axial angeordneten Stahllanker eine verlässliche Stützung in Tunnellängsrichtung und die HDI-Körper einen Scherwiderstand in den Gleitflächen potenzieller Bruchkörper (Bild 7). Die Stabilitätsberechnungen wurden nach dem

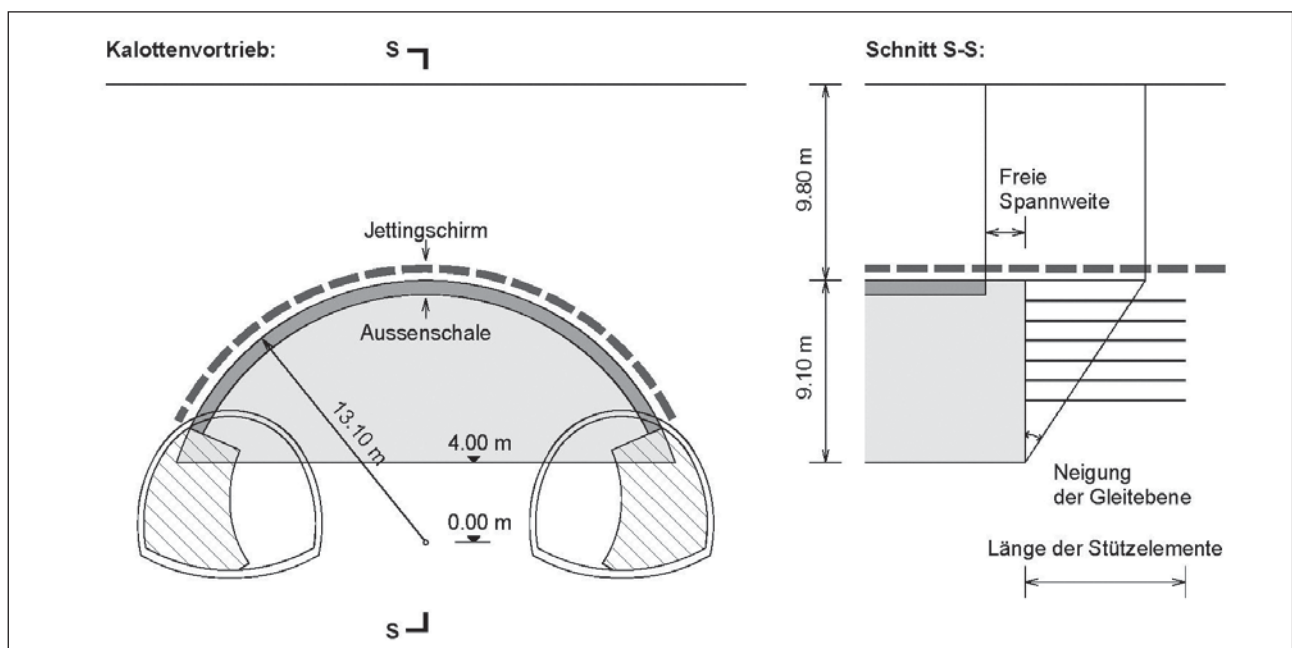
The diagram in Fig. 6 shows the possible arrangement of the foundation body made of vertical jet grouting columns (Case B) that was of decisive importance in reducing the surface settlements. The jet grouting canopy composed by a double row of column was capable of reducing the surface settlements only to a limited extent as the ratio of the shotcretes's liner stiffness to the jet grouted soft ground was roughly 10:1.

All 3 measures (Cases B to D) contributed more or less equally to reducing the reinforcement content of the shotcrete liner. Taking into account economic aspects as well as a proportionally assessment it has been applied the solution Case C.

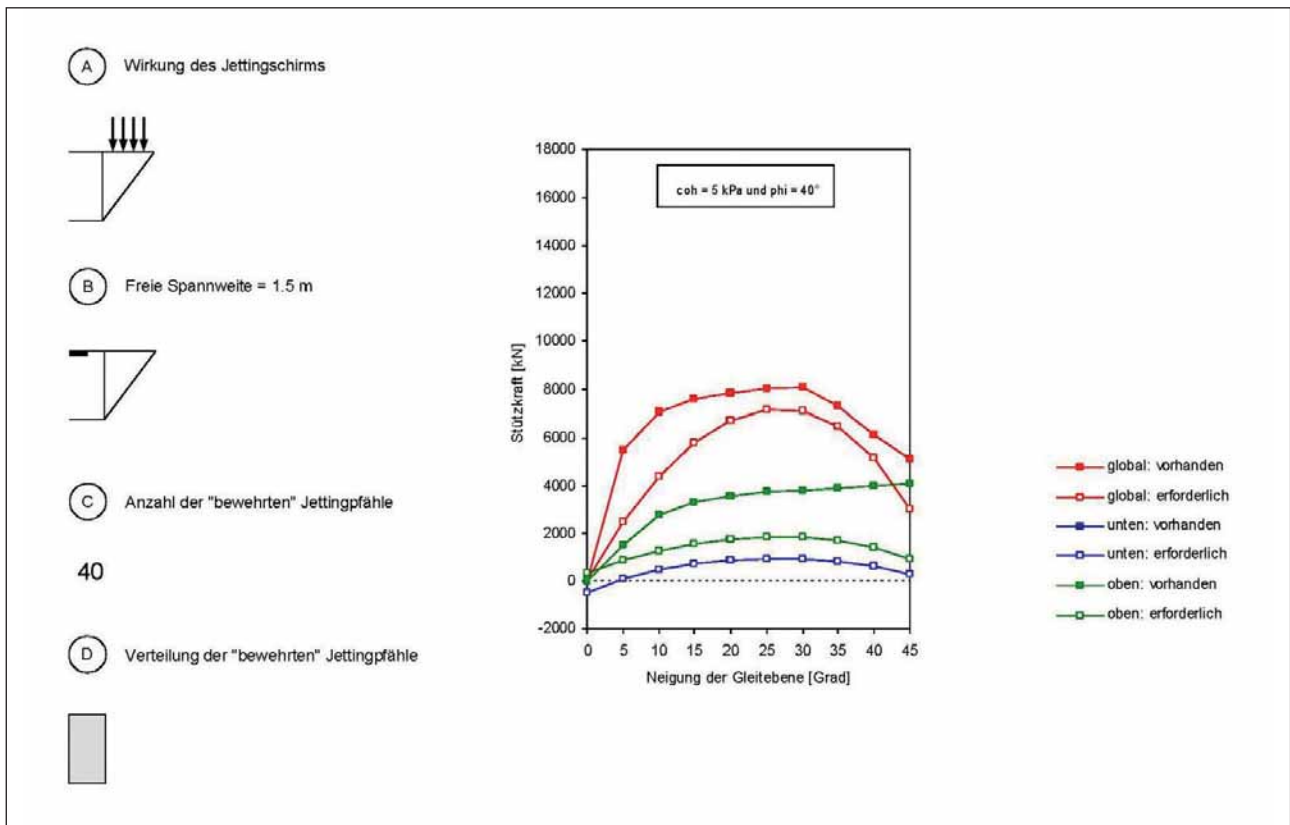
With regard to the structural system of the cavern's final liner, 2 particular features are worth to be mentioned. Firstly the cross-section – as previously mentioned – was provided with a central partition wall (Fig. 2) and secondly the 2 abutment headings for the crown outer shell as well as the foundation body consisting of jet grout columns located underneath are assumed to have lost their static function. The final liner possesses a reinforced slab invert that transfers the vault load to the surrounding soft ground.

3.2 Investigating Face Stability

Assuring the stability of the face in the soft ground of the embankment fill represented one of the most important demands on the bearing structure during the construction phase. Admittedly the arch effect of the jet grout canopy had been taken into consideration, however a certain longitudinal bearing effect of the individual columns was also relied on. The face support was provided by means of jet grouting columns reinforced with steel bars. As a result the axially arranged steel anchors provide reliable support in the tunnel's



7 Stabilität der Ortsbrust: Geometrie Kalottenausbruch und Bruchkörpermodell
Face stability: geometry of crown excavation and and design block model



8 Stabilität der Ortsbrust: Berechnungsergebnisse für $c = 5 \text{ kPa}$ und $\Phi = 40^\circ$
 Face stability: analysis results for $c = 5 \text{ kPa}$ and $\Phi = 40^\circ$

Verfahren von Anagnostou und Serafeimidis [2] durchgeführt. Es beruht darauf, die Bedingungen des Grenzgleichgewichtes gleitgefährdeter Keile aus der Ortsbrust zu formulieren. So wurden solche Keile mit unterschiedlicher Höhe und potenziellem Gleitwinkel untersucht und für eine gegebene Anordnung der Ortsbrustankerung die kritischen Fälle ermittelt (Bild 8). Es wurde ein Sicherheitsfaktor von $> 2,5$ eingehalten. Von besonderer Bedeutung war die angenommene Scherfestigkeit zwischen HDI-Säule und dem umgebenden Lockergestein. Da die Baugrube ausschliesslich durch passive Stahlanker (40 mm Durchmesser) mit 18 m Länge in einem Raster von $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ gesichert war, dienten diese zugleich auch als Ortsbrustsicherung der ersten Jettingetappe. In der 2. Jettingetappe wurden zusätzlich 32 zentrisch bewehrte HDI-Säulen eingebracht. Eine hohe Dichte der Sicherungselemente war schon aus dem Grunde anzustreben, weil man das zumindest lokale Vorkommen von gänzlich kohäsionslosem Material nicht ausschliessen konnte. Das „Ausfliessen“ von Material in praktisch relevantem Umfang zwischen den Ortsbrustsäulen musste aus Gründen der Sicherheit ausgeschlossen werden.

4 Bauausführung

Der fachgerechten Ausführung der Arbeiten gemäss den Vorgaben des Projektes wurde angesichts der strengen Kriterien bezüglich Oberflächensetzungen und Sicherheit grosse Aufmerksamkeit geschenkt.

longitudinal direction and the jet grout bodies a shear resistance in the sliding surfaces of potential unstable blocks (Fig. 7). The stability calculations were undertaken in accordance with the method from Anagnostou and Serafeimidis [2]. It is based on formulating the conditions of limit equilibriums of slip-endangered wedges from the face. Consequently such wedges with varying height and potential slip angle were investigated and the critical cases established for a given arrangement of the face anchorage (Fig. 8). A safety factor of > 2.5 was assured. The assumed shear strength between the jet grout column and the surrounding soft ground was of particular significance. As the construction pit was only secured by passive steel anchors (40 mm diameter) 18 m in length in a $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ grid, these at the same time served to secure the face of the first jetting stage. In the 2nd jetting stage an additional 32 centrally reinforced jet grout columns were installed. For this reason alone a high concentration of the support elements was desirable because the presence of completely non-cohesive material could not entirely be precluded at least locally. The “flowing out” of material in the practically relevant area between the face columns had to be prevented for safety reasons.

4 Executing Construction

Great attention was accorded the proper execution of the work in keeping with the project specifications in view of the demanding criteria relating to surface settlements and safety.

4.1 Ausbruch und Ausbruchsicherung

Nach dem Aushub der 2 Baugruben wurde als erstes der eingleisige Bahntunnel Bretella Lugano-Bellinzona (Bild 3) im Vollausbau und unter Schutz eines vorauseilenden HDI-Gewölbes aufgeföhren. Die Konstruktion der Kaverne wurde mit dem Aufföhren der beiden Widerlagerstollen (Bild 9a) in



9 Ausbruch Paramentstollen mit Jettingarbeiten im linken Stollen (Bild a), Kalottenausbruch in der 1. Etappe (Bild b) und Strossen- und Sohlausbruch (Bild c)
Excavation of wall heading with jetting operations in the left tunnel (Fig. a), crown excavation in the 1st stage (Fig. b) and bench/invert excavation (Fig. c)

4.1 Excavation and Supporting the Excavation

After completion of the 2 excavation pits first of all the single-track Bretella Lugano-Bellinzona rail tunnel was driven (Fig. 3) full-face protected by an advance jet grout canopy. Construction of the cavern was carried out by driving the 2 abutment headings (Fig. 9a) in the same way as the single-track rail tunnel. The foundation body was created up to the bedrock by jet grout columns. After installing the concrete abutments the crown drive as such was embarked on by producing the first stage of the crown vault with double jet grout columns (Fig. 10).

The crown (Fig. 9b) was driven in steps of 1.0m in length. In view of the exceptionally large thickness of the shotcrete vault of 0.7 m the reinforcement was delivered in the form of prefabricated 4-bar lattice girder, which were assembled on site from 3 segments resistant to bending. In the transition zone, where the crown vault encountered the weathered rock at an acute angle, parts of the jet grout canopy were replaced by a steel pipe umbrella. A similar procedure was adopted for securing the face, by using passive steel anchors instead of jet grout columns there for stabilization purposes. As soon as the cross-section was located entirely in the rock, all ancillary measures were abandoned during construction.

The bench/invert excavation (Fig. 9c) that followed represented a straightforward material dig without any influence on dynamics and deformations, as the loads above the concrete abutments and their foundation bodies were diverted directly into the surrounding rocks without significant participation of the base invert.

4.2 Executing the Jet Grouting

Ground consolidation by means of jet grout columns was of great importance seen from the viewpoint of restricting the surface settlements and assuring safety against caving in or instability of the rail embankment. The production of the advance crown vault consisting of 2 rows of columns in order to prevent impermissible lifts or settlements on the carriageway surface was especially challenging. High demands were placed on the column diameter (diameter > 600 mm), the minimum strength of the columns ($\sigma_c \geq 5$ Mpa) and the directional accuracy of drilling ($\pm 0.5\%$). On account of the findings made during the excavation of the 2 side tunnels for the cavern, it was decided to bring on the site a jet grouting expert (R.D. Essler/UK) for the subsequent work in the crown. Regarding the sequence for executing the individual columns, which were arranged 45 cm apart, the following was observed:

- Completion of the outer series of columns prior to beginning to jet the inner series.
- Starting to jet a new column in the vicinity of a recently completed column depended on chronological and spatial circumstances. As a result a minimum 3-hour period and a minimum gap of 1.35 m had to be observed. Thus 2 holes were omitted in the drilling pattern in each case.
- A column directly alongside an existing one could only be commenced 24 h after completion of the first column.

der gleichen Weise wie der eingleisige Bahntunnel in Angriff genommen. In diesen Stollen erfolgte die Ausführung der Fundamentskörper mittels HDI-Säulen bis zum gewachsenen Fels. Nach dem Einbringen der Betonwiderlager konnte der eigentliche Kalottenvortrieb mit der Herstellung der ersten Etappe des Kalottengewölbes aus doppelten HDI-Säulen begonnen werden (Bild 10).

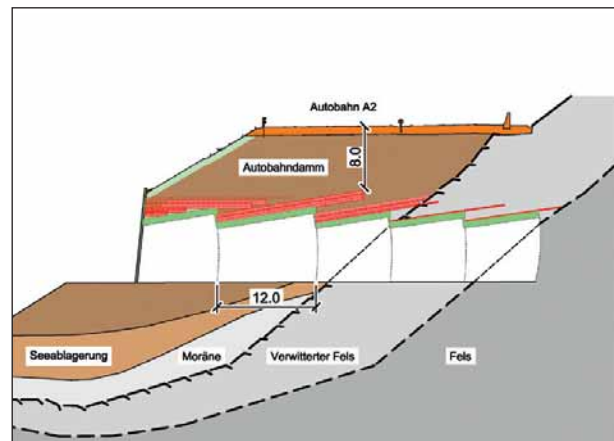
Der Ausbruch der Kalotte (Bild 9b) wurde mit Abschlaglängen von je 1,0 m durchgeführt. Angesichts der ungewöhnlich grossen Dicke des Spritzbetongewölbes von 0,7 m wurde die Bewehrung in Form von vorgefertigten 4-Gurt-Gitterträgern angeliefert, welche aus 3 Segmenten biegesteif vor Ort zusammengesetzt wurden. Im Übergangsbereich, wo das Kalottengewölbe in schieferm Winkel auf den verwitterten Fels traf, wurden Teile des HDI-Gewölbes durch einen Rohrschirm abgelöst. Ähnlich verfuhr man mit der Sicherung der Ortsbrust, indem dort zur Stabilisierung statt HDI-Säulen passive Stahlanker zum Einsatz kamen. Sobald das Profil gänzlich im Fels zu liegen kam, konnte auf alle Bauhilfsmassnahmen verzichtet werden.

Beim nun folgenden Strossen-/Sohlausbruch (Bild 9c) handelte es sich um einen reinen Materialaushub ohne Einfluss auf Kräftespiel und Deformationen, da die Lasten über den Betonwiderlagern und ihren Fundamentskörpern ohne Beteiligung des Sohlgewölbes direkt in den anstehenden Felsen geleitet wurden.

4.2 Ausführung der HDI-Arbeiten

Vom Standpunkt der Begrenzung der Oberflächensetzungen und der Gewährleistung der Sicherheit gegen Verbruch oder Instabilität der Dammböschung her kam der Bodenverfestigung mittels HDI-Säulen grosse Bedeutung zu. Besondere Ansprüche stellte die Erstellung des vorausseilenden Kalottengewölbes bestehend aus 2 Säulenreihen, um unzulässige Hebungen oder Setzungen an der Fahrbahnoberfläche zu verhindern. Es waren hohe Anforderungen an den Säulendurchmesser (Durchmesser ≥ 600 mm), an die Mindestfestigkeit der Säulen ($\sigma_c \geq 5$ MPa) und an die Richtungsgenauigkeit der Bohrungen ($\pm 0,5$ %) gestellt. Aufgrund der Erfahrungen beim Auffahren der beiden Widerlagerstollen der Kaverne hat man beschlossen, für die nachfolgenden Arbeiten in der Kalotte einen Experten für Jet-Grouting (R.D. Essler/UK) heranzuziehen. Bezüglich der Reihenfolge der Ausführung der einzelnen Kolonnen, die mit einem Abstand von 45 cm angeordnet waren, war Folgendes zu beachten:

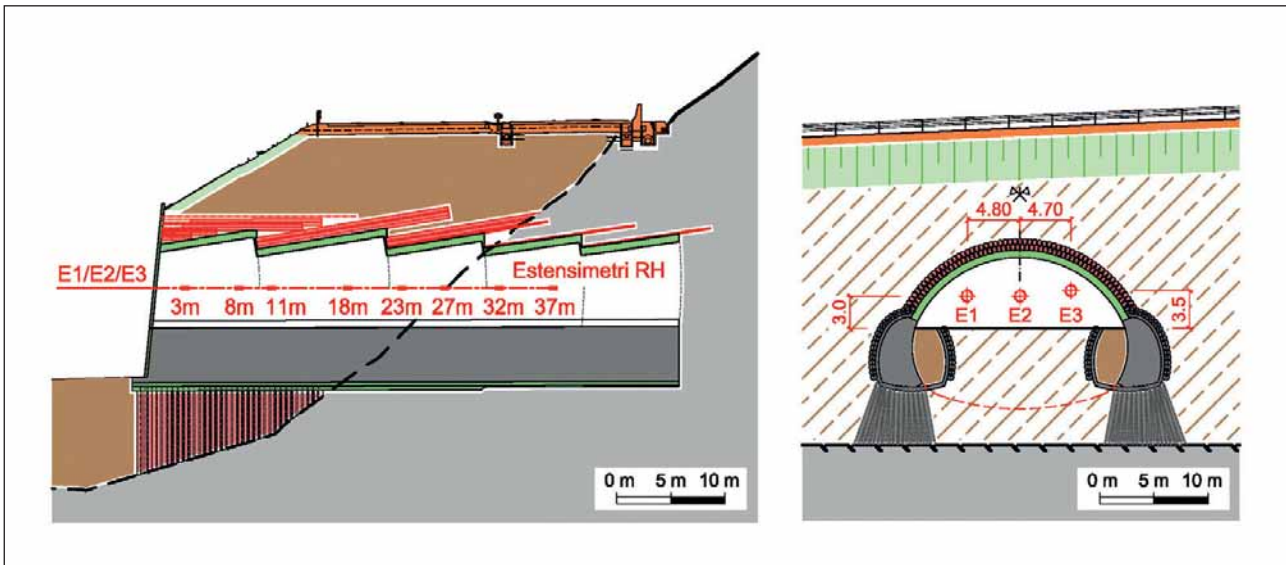
- Die Fertigstellung der äusseren Kolonnenreihe bevor das Jetting der inneren Reihe begonnen wurde.
- Der Beginn des Jettings einer neuen Kolonne in der Umgebung einer kürzlich fertig gestellten Kolonne war an zeitliche und räumliche Bedingungen geknüpft. So musste eine Mindestzeit von 3 Stunden und ein Mindestabstand von 1,35 m eingehalten werden. Es wurden somit im Bohrschema jeweils 2 Lücken belassen.
- Eine an eine bestehende Kolonne unmittelbar anliegende Säule durfte erst nach 24 Stunden der Fertigstellung der Ersteren begonnen werden.



10 Ausbruchetappen in Längsrichtung
Crown cavern excavation stages in the longitudinal direction

The grouting method was single fluid using 3 mm nozzle diameter and the injection pressure at the pump selected at 400 bar. A water-cement factor of 1:1 resulted in an average cement quantity of 225 kg/m. 3.7 s emerged as the most favorable grouting time on a step of 40 mm. The installation angle of the drillholes to the horizontal was selected variable up to 9 degrees. The methodically undertaken quality check came up with uni-axial compressive strengths ranging from 5 to 14.4 MPa with an average of 8.4 MPa, which exceeded the project specifications.

The contractor was of course responsible for choosing the jetting parameters and the approach to the jetting operations. The consultations taking place on a daily basis involving representatives of the contractor, the site management and the design engineer served to evaluate the findings obtained from the work accomplished the previous day and for possible procedural adjustments. The significance of choosing the transition from the drilling phase to the jet grouting phase must be pointed out among the numerous factors, which contributed to successfully completing these extensive activities. About this topic care had to be observed to avoid the soil being washed out particularly at the beginning of jetting. It was equally important to avoid premature withdrawal of the rod and inadequate closing of the drillholes so that partial emptying of the hole was prevented. Thanks to carefully checking the return flow, heaves in the motorway embankment and on the carriageway were completely avoided in spite of the intensive jetting operations and the shallow overburden. The resulting measured surface settlements underline the great success of optimizing the jet grouting work in the crown, made possible thanks to the findings obtained from the excavation of the side tunnels. Driving the side tunnels with relatively small excavated areas (up to 60 m²) given greater overburden (roughly 16 m) resulted in a maximum settlement of 60 mm at the outer edge of the embankment. The crown excavation (280 m² on average given 12 m overburden) only resulted in a 30 mm settlement. As expected the invert/bench excavation led to small settlements (5 mm). The length and gradient of the trough always remained within reasonable limits.



11 RH-Extensometer: Anordnung in der Ortsbrust
RH Extensometer: arrangement at the face

Das Injektionssystem war einphasig mit 2 Ventilen à 3 mm und der Injektionsdruck an der Pumpe mit 400 bar gewählt. Mit einem Wasser-Zementfaktor von 1:1 ergab sich eine durchschnittliche Zementmenge von 225 kg/m. Als günstigster Wert der Injektionszeit ergab sich 3,7 s mit einem anschließenden Rückzug von 40 mm. Die Neigung der Bohrungen zum Horizontalen war im Bereich 0 bis 9 Grad gewählt. Die methodisch durchgeführte Qualitätskontrolle zeigte einachsige Druckfestigkeiten im Bereich zwischen 5 und 14,4 MPa mit einem Mittelwert von 8,4 MPa, was die Projektvorgaben übertraf.

Die Verantwortung für die Wahl der Jettingparameter und die Vorgehensweise bei der Ausführung der Jettingarbeiten lag selbstredend bei der Unternehmung. Die täglich stattfindenden Besprechungen unter Beteiligung der Vertreter der Unternehmung, der Bauleitung und des Projektverfassers dienten zur Auswertung der Erfahrung der am Vortag geleisteten Arbeiten und zu allfälligen Anpassungen an der Vorgehensweise. Von den zahlreichen Faktoren, die zu einer erfolgreichen Abwicklung dieser umfangreichen Arbeiten beitragen, sei hier die Bedeutung der Wahl des Überganges von der Bohrphase zur Phase der Düsenstrahlbehandlung erwähnt. Hierbei war insbesondere beim Beginn des Jettings eine Auswaschung des Bodens zu vermeiden. Ebenso war es wichtig, einen frühzeitigen Rückzug des Gestänges und eine ungenügende Schliessung der Bohrungen zu vermeiden, damit eine teilweise Entleerung der Bohrung verhindert wurde. Dank der strengen Kontrolle des Rückflusses konnten Hebungen im Dammkörper und auf der Fahrbahn trotz der intensiven Jettingarbeit und der geringen Überlagerung gänzlich vermieden werden. Den grossen Erfolg der Optimierung der HDI-Arbeiten in der Kalotte, die aufgrund der Erfahrung beim eingleisigen Tunnelrohr gemacht werden konnte, belegen die Werte der Oberflächensetzungen. Das Auffahren der Widerlagerstollen mit verhältnismässig

As far as progress is concerned, the time required for the 3 decisive activities in the 18 m long 2nd jetting stage are mentioned:

- 19 working days for a total of 2,650 m of column length for installing around 30 reinforced columns in the face and the roughly 110 columns for the double jet grout canopy. Two jet grouting units were available for carrying out the work.
- 1 working day for excavating a length of advance step (1 m) followed by the reinforced shotcrete liner.

5 Risk Management, Deformation Measurements

In view of the major international and regional significance on ensuring an unimpeded flow of traffic on the motorway affected by construction activities, risk management ruled the roost. It was based on the 3 elements: quality control of the executed work, deformation measurements on the structure and closure of a particular driving lane at the time when excavation was progressing underneath. During construction operations vehicles were restricted to a speed of 80 km/h.

5.1 Measuring Face Displacements

The recently developed RH Extensometer (Reverse Head Extensometer) was applied for monitoring the face deformations (see Fig. 11). This drillhole measuring device was devised within the scope of work on the Tavetsch intermediate massif in the Gotthard Base Tunnel. There it served the continuous monitoring of movements at the face in pronouncedly squeezing rock [3]. The unit operates like a permanently installed Sliding Micrometer, by registering the relative displacements (expansion/compression) between neighboring measuring points along a drillhole. The measuring head with a data logger is located at the end of the

kleinen Ausbruchflächen (40 bis 60 m²) und bei grösserer Überlagerung (rund 16 m) hat eine maximale Setzung an der Aussenkante des Dammkörpers von 60 mm verursacht. Der Ausbruch der Kalotte (im Mittel 280 m² bei einer Überlagerung von 12 m) hat zusätzlich lediglich noch 30 mm Setzung verursacht. Wie erwartet, hat der Ausbruch der Sohle/Strosse zu geringen Setzungen (5 mm) geführt. Die Längs- und Quermuldenneigung blieb stets in tolerierbaren Grenzen.

Was die Leistungen anbetrifft, so sei hier der Zeitbedarf für die 3 entscheidenden Aktivitäten in der 2. Jettingetappe mit 18 m Länge erwähnt:

- 19 Arbeitstage für insgesamt 2650 m Säulenlänge für das Einbringen der rund 30 bewehrten Säulen in die Ortsbrust und die rund 110 Säulen für das doppelte HDI-Gewölbe. Für die Ausführung der Arbeiten standen 2 HDI-Geräte zur Verfügung.
- 1 Arbeitstag für den Ausbruch einer Abschlaglänge (1 m) mit Nachziehen der bewehrten Spritzbetonschale.

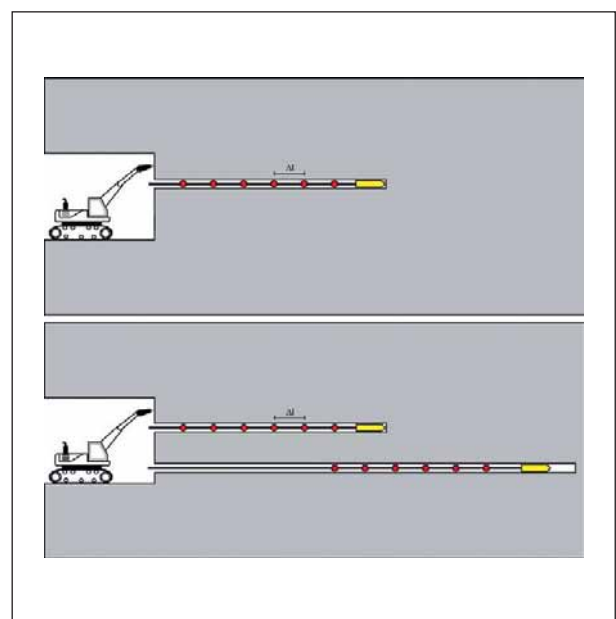
5 Risikomanagement, Deformationsmessungen

Angeichts der grossen internationalen und regionalen Bedeutung der Aufrechterhaltung eines unbehinderten Verkehrsflusses auf der durch die Bauarbeiten tangierten Autobahn erfuhr das Risikomanagement hohe Bedeutung. Es stützte sich auf die 3 Elemente: Qualitätskontrolle der ausgeführten Arbeiten, Deformationsmessungen am Bauwerk und jeweilige Sperrung jener Fahrspur, unter der der Vortrieb gerade im Gange war. Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge war während der Bauarbeiten auf 80 km/h beschränkt.

5.1 Messung der Verschiebungen in der Ortsbrust

Für die Überwachung der Verformungen der Ortsbrust wurde gemäss Bild 11 das kürzlich entwickelte RH-Extensometer (Reverse-Head-Extensometer) eingesetzt. Dieses Bohrloch-Messgerät wurde im Rahmen der Arbeiten beim Tavetscher Zwischenmassiv im Gotthard-Basistunnel entwickelt. Dort diente es der laufenden Überwachung der Bewegungen in der Ortsbrust in einem stark druckhaften Gebirge [3]. Das Gerät funktioniert wie ein fest eingebauter Sliding Micrometer, indem zwischen benachbarten Messmarken entlang einer Bohrung die Relativverschiebungen (Dehnung/Zusammendrückung) erfasst werden. Der Messkopf mit einem Datenlogger befindet sich am Ende der Bohrung und die Messwerte werden von hier an den Bohrlochmund übertragen. Mit fortschreitendem Abbau der Ortsbrust können laufend die entsprechenden Teile des Instrumentes entfernt werden während die restlichen Teile des Gestänges laufend Messwerte liefern. Die Genauigkeit der gemessenen Axialverschiebungen betragen rund $\pm 0,01$ mm. Der grosse Vorteil dieses Messgerätes besteht darin, dass die Bauarbeiten – im Gegensatz zu den Messungen mit der mobilen Sliding Micrometer Sonde – zum Zwecke der Ablesungen praktisch nicht unterbrochen werden müssen. Bild 12 stellt das Prinzipschema des RH-Extensometers, wie er für den Gotthard-Basistunnel zum ersten Mal zum Einsatz kam, dar.

hole and the measured values are transferred from here to the mouth of the hole. As the face excavation progressed the corresponding parts of the instrument could be removed whilst the remaining parts of the rod constantly supplied measured values. The precision of the axial displacements amounted to around ± 0.01 mm. The great advantage of this measuring device is that construction work must scarcely be interrupted – in contrast to measurements with the mobile Sliding Micrometer Sensor – for reading off the results. Fig. 12 shows the set-up of the RH Extensometer principle, as was applied for the Gotthard Base Tunnel for the first time. In the present case of the cavern, 3 units were installed in holes parallel to the axis of the structure in accordance with Fig. 11. These were each 37 m in length and were divided into 7 measurement sections ranging from 8 to 3 m, 11 to 8 m, 18 to 11 m, 23 to 18 m, etc. Every step of what was occurring in the crown face had to be precisely registered by measurement technical means (demolition of the jet grouting columns and the subsequent excavation stages with a 1 m length of advance). The time effect was also of great interest. The possible formation of a sliding surface, either in the embankment fill itself or along the boundary layer between weathered rock and soft ground, would have been identified in its initial stages. The RH Extensometers were consequently important for global monitoring of safety. Hole E1 in Fig. 13 is referred to as an example for the measurement results obtained. The expansion development of the individual measurement sections is recognisable on the abscissa, with the position of the measurement points at 3 m, 8 m, 11 m, etc. marked by squares with different colours. It can be gleaned from the diagram that the largest expansion amounting to some 8 mm occurs in the 23 to 18 m measurement section. Fig. 14 displays the measurement results (expansions) as a function of time and correspondingly the work actually carried out in the crown.

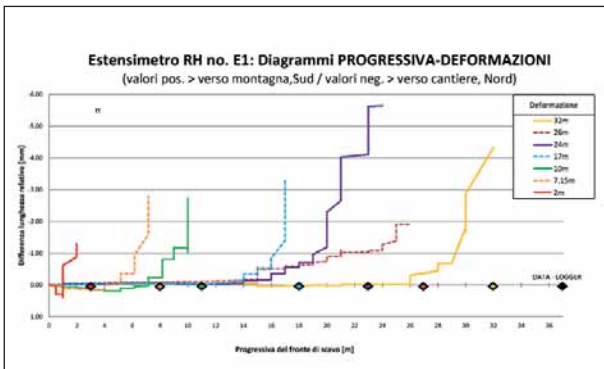


12 RH-Extensometer: Prinzipschema (Gotthard-Basistunnel)
RH Extensometer: schematic principle (Gotthard Base Tunnel)

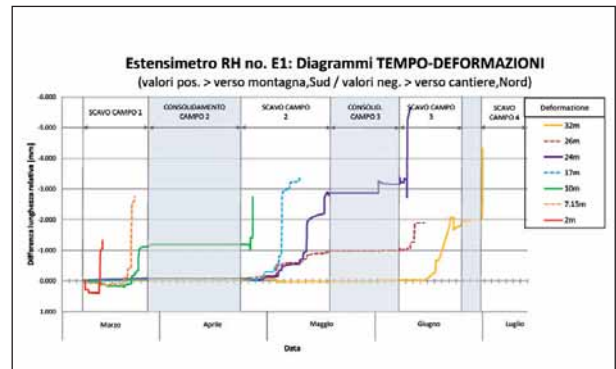
Beim vorliegenden Fall der Kaverne waren 3 Geräte in Bohrungen parallel zur Bauwerksachse gemäss Bild 11 installiert. Diese hatten eine Gesamtlänge von je 37 m und wurden in 7 Messabschnitte mit Bereichen von 8 bis 3 m, 11 bis 8 m, 18 bis 11 m, 23 bis 18 m, usw. eingeteilt. Es galt, jeden Schritt des Vorgehens in der Ortsbrust der Kalotte messtechnisch präzise zu erfassen (Erstellung der HD-Säulen und der nachfolgenden Ausbruchtappen mit 1 m Abschlaglänge). Auch der Zeiteffekt war von grossem Interesse. Die allfällige Ausbildung einer Gleitfläche, sei es in der Dammschüttung selbst oder entlang der Grenzfläche zwischen verwittertem Fels und Lockergestein, hätte in den ersten Anfängen erkannt

6 Conclusion

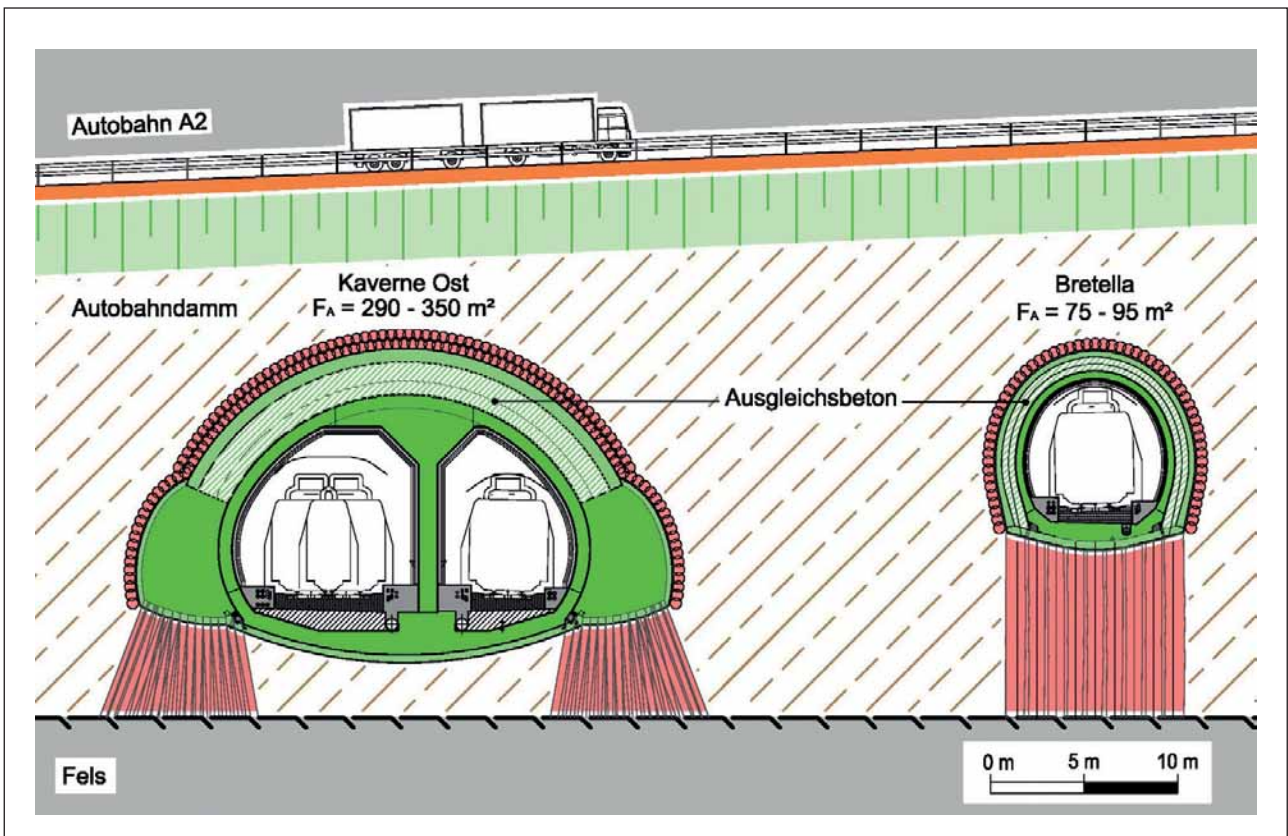
The construction concept applied emerged to be the best solution resulting from extensive studies of viable alternatives. The determining criteria were first of all compliance to extremely low settlements on the motorway carriageway surface and secondly assurance of high safety. Thanks to a highly transparent structural design concept on the basis of a crown drive with the application of abutment headings for the crown bases, jet grout canopies and methodic face supporting, a stiff structure with high bearing capacity was accomplished (Fig. 15). The structural calculations applying



13 RH-Extensometer: Messresultate RH Nr. 1 in Funktion der Ortsbrustlage
RH Extensometer: measurement results RH No. 1 relating to face location



14 RH-Extensometer: Messresultate RH Nr. 1 in Funktion der Zeit
RH Extensometer: measurement results RH No. 1 relating to time



15 Kaverne und Bretella: Endgültiger Ausbau
Cavern and Bretella: final support

werden können. Die RH-Extensometer waren somit auch ein wichtiges Instrument zur globalen Überwachung der Sicherheit. Als Beispiel für die erhaltenen Messresultate kann auf die Bohrung E1 in Bild 13 verwiesen werden. Auf der Abszisse ist die Dehnungsentwicklung der einzelnen Messstrecken erkennbar, wobei die Lage der Messpunkte bei 3 m, 8 m, 11 m, usw. durch Quadrate unterschiedlicher Farben gekennzeichnet ist. Man erkennt aus dem Diagramm, dass die grösste Dehnung von rund 5 mm in dem Messabschnitt von 23 bis 18 m aufgetreten ist. In Bild 14 sind die Messergebnisse (Dehnungen) in Funktion der Zeit und somit auch der jeweils ausgeführten Arbeiten in der Kalotte dargestellt.

6 Schlussbemerkungen

Das zur Ausführung gelangte Baukonzept ging als die beste Lösung aus einem umfangreichen Variantenstudium hervor. Als massgebende Kriterien galt zum Einen die Einhaltung sehr geringer Setzungen an der Fahrbahn-Oberfläche der Autobahn und zum Anderen die Gewährleistung einer hohen Sicherheit. Dank einem klar überschaubaren statischen Entwurfskonzept auf der Grundlage eines Kalottenvortriebes mit der Anwendung von Widerlagerstollen für die Kalottenfüsse, HDI-Gewölben und methodischer Ortsbrustsicherung wurde eine steife Struktur hoher Tragfähigkeit realisiert (Bild 15). Die tunnelstatischen Berechnungen für die unterschiedlichen Bauphasen und unter Berücksichtigung diverser Zusatzmassnahmen waren für die Bemessung des Tragwerkes und für die Abschätzung der Oberflächensetzungen unerlässlich.

Dank der methodischen Qualitätskontrolle während der Ausführung der grossen Zahl der HDI-Säulen wurden die Oberflächensetzungen auf ein Mass beschränkt, welches man aufgrund der statischen Berechnungen erwarten durfte. Es gab während der Bauausführung zu keinem Zeitpunkt ein Anzeichen dafür, dass die Gebrauchstauglichkeit der Autobahn hätte auch nur für kurze Zeit beeinträchtigt werden können. Neben den planerischen Arbeiten kam der systematischen Überwachung der Arbeiten und Optimierung bei der Herstellung der grossen Zahl von HDI-Säulen an der Ortsbrust und im Kalottengewölbe eine grosse Bedeutung zu.

to the tunnel for the various construction phases and under consideration of diverse ancillary measures were essential for dimensioning the bearing structure and for estimating the surface settlements.

Thanks to methodic quality control during the execution of the large number of jet grout columns the surface settlements were restricted to a degree, which was to be expected on the basis of the structural calculations. There was no indication at all at any time during the execution of construction that the motorway's serviceability was impeded even for a short period. Apart from the planning activities, the systematic monitoring of operations and optimizing the large number of jet grout columns at the face and in the crown vault were of prime significance.

Literatur/References

- [1] Filippini, R., Kovári, K., Rossi, F.: Unterquerung eines Autobahndammes durch eine Kaverne beim Ceneri-Basistunnel, Geomechanics and Tunneling, Vol. 5, (2012), S. 175-185
- [2] Anagnostou, G., Serafeimidis, K.: The dimensioning of the tunnel face reinforcement, ITA World Tunnel Congress, Prague (2007), S. 291-296
- [3] Steiner, P.: Displacement measurements ahead of a tunnel face using the RH Extensometer, Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Boston (2007)

Projektbeteiligte / Project Participants

Gesamtprojektleitung / Overall project management:
AlpTransit San Gottardo SA, Bellinzona

Projektierung / Planning:
Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, Biasca

Projektleiter / Project management:
Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca

Projektverfasser / Design:
G. Dazio & Associati SA, Cadenazzo

Entwurfskonzept / Design concept:
Prof. Dr. K. Kovári, Zürich

Statik Bauzustand / Structural design, construction states:
Prof. Dr. K. Kovári, RSE GmbH, Zürich

Beratung Jet-Grouting / Consultant jet grouting:
RD Geotech Ltd – Dr. R. Essler, Skipton (UK)

Ausschreibung und Ausführungsprojekt / Tender and execution project:
als Subakkordant von ITC /
as subcontractor of ITC

Örtliche Bauleitung / Local site management:
Consorzio ITC (ITECSA-Toscana), Lugano

Ausführung / Execution:
Consorzio MatroSud (Pizzarotti SA, Implen SA, Cossi SA, Rodio SA, Ennio Ferrari SA, LGV SA), Bellinzona

Andreas Theiler, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, NDS U FH, Lombardi AG, Luzern/CH

Quarzstaub und Gesundheitsschutz

Einfluss auf Projekt und Vortriebsverfahren

Quarzstaub ist einer der wichtigsten Faktoren des Arbeitsschutzes im Untertagbau. Durch eine integrale Planung und die richtige Wahl der Baumethoden können die damit verbundenen Risiken eingeschränkt werden. Die aktuelle Entwicklung und Forschung tragen dazu bei, dass die Beurteilung und Massnahmenplanung auf einheitliche Grundlagen gestellt wird.

Quartz Dust and Protecting Health

Influence on Project and Driving Methods

Quartz dust is one of the most important factors of occupational safety in underground construction. Thanks to integral planning and the correct choice of construction methods, the associated risks can be restricted. Current research and development have enabled evaluation and action planning to be established on uniform principles.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Quarzstaub ist seit Beginn des Untertagbaus eines der grössten Probleme für die Gesundheit der Arbeiter. Die Staublungie dient dabei als Sammelbegriff für verschiedene mit Quarzstaub in Zusammenhang stehende Erkrankungen. Diese sind im Untertagbau immer noch anzutreffen.

Im modernen Tunnelbau wurde dank der konsequenten Verbesserung der Bewetterung und vieler technischer sowie organisatorischer Massnahmen das Gefährdungspotenzial im letzten Jahrzehnt stark gesenkt.

1.2 Aktuelle Entwicklung

Per 1. Januar 2011 wurde Quarz neu als krebserzeugender Gefahrstoff der Kategorie 1 eingestuft. Diese Einstufung bedeutet, dass Quarz beim Menschen als krebserzeugend gilt. Die Einteilung erfolgte durch die schweizerische Grenzwertkommission, da der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber einem Stoff und der Entstehung von Krebs ausreichend nachgewiesen ist. Diese Einteilung gilt für alle Arbeiten, welche sich einer Quarzstaubbelastung aussetzen. Der Untertagbau in quarzhaltigen Gesteinen gehört zu diesen Arbeiten.

Gleichzeitig hat die schweizerische Grenzwertkommission den aktuell gültigen Grenzwert für den Gefahrenstoff Quarzstaub als „P“ für provisorisch gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass der Grenzwert überprüft und gegebenenfalls angepasst (gesenkt) wird.

1 Introduction

1.1 Starting Position

Quartz dust has been one of the greatest problems for the workforce since underground construction began. In this connection, the black lung serves as a collective term for various diseases associated with quartz dust. These are still encountered in underground construction.

Thanks to the consistent improvement of ventilation and many technical and organisational measures, the potential danger has decreased significantly over the past decade in modern tunnelling.

1.2 Current Developments

As of January 1, 2011, quartz was reclassified as a Category 1 substance causing cancer. This classification signifies that quartz is regarded as causing cancer among people. This allocation was undertaken by the Swiss Commission of Occupational Safety and Health Science, as the casual link between a person's exposure to a substance and cancer evolving has been sufficiently proved. This allocation relates to all activities that are exposed to a quartz dust impact. Underground construction in rocks containing quartz is numbered among those activities.

At the same time, the Swiss Commission of Occupational Safety and Health Science categorised the current valid limit value for quartz dust as a toxic substance as "p" for provisional. This signifies that this limit value will be tested and adjusted (lowered) if need be.

Poussière de quartz et protection de la santé

Impact sur le projet et la méthode d'excavation

La poussière de quartz est l'un des éléments les plus importants de la protection au travail en milieu souterrain. Une planification intégrée et le choix correct des méthodes de construction peuvent restreindre les risques inhérents. Le développement et la recherche actuels contribuent à établir des bases uniformes pour l'évaluation et la planification des mesures.

Polvere di quarzo e tutela della salute

Influenza sul progetto e sul processo di avanzamento

La polvere di quarzo è uno dei principali fattori della sicurezza del lavoro nell'estrazione in galleria. Con la pianificazione integrale e la scelta dei giusti metodi di costruzione è possibile limitare i rischi connessi. Lo sviluppo e la ricerca aggiornate contribuiscono a fondare le valutazioni e la pianificazione degli interventi su basi uniformi.

1.3 Vorgeschichte

Auf Grund dieser aktuellen Entwicklung bezüglich Quarzstaub wurden die Branchenorganisationen der im Infrastrukturbau tätigen Unternehmen (Fachverband Infra) und die sia-Fachgruppe Untertagbau (FGU) als die massgebenden Verbände im Tunnelbau aktiv, um die Konsequenzen auf den Tunnelbau abzuschätzen sowie das weitere Vorgehen zu koordinieren und festzulegen. In Zusammenarbeit mit der SUVA und der ETH Zürich wurden die erforderlichen Stossrichtungen vereinbart und die Arbeiten begonnen. Mehrere Arbeitsgruppen und Gremien haben sich in den letzten 2 Jahren mit diesen Problemen auseinandergesetzt (Normenkommission sia 196, Arbeitsgruppe Massnahmenplanung (SUVA-Infra-FGU), Arbeitsgruppe Richtlinie Quarzstaub (FGU), ETH Zürich, Institut für Ingenieurgeologie (Forschungsgesuch ASTRA)).

Wie in der Schweiz üblich konnten dadurch die wichtigsten am Bau Beteiligten wie Bauherren, Planer, Unternehmer, die Kontrollorgane (SUVA) und die Arbeitnehmerverbände in diese Prozesse mit einbezogen werden.

2 Grundlagen

Die bestehenden Grundlagen, welche sich mit der Problematik beschäftigen, beleuchten Teilaspekte wie die möglichen Erkrankungen, die dazugehörigen Risiken oder auch die technischen Zusammenhänge wie Staubbildung bei verschiedenen Verfahren.

2.1 Erkrankungen durch Quarzstaub und Grenzwerte

Der schädliche Einfluss des lungengängigen Quarzstaubes auf den menschlichen Organismus (insbesondere chronische Bronchitis, Silikose und nach neueren Erkenntnissen auch Lungenkrebs) wurde in einer Vielzahl von Studien und entsprechenden Publikationen nachgewiesen [4, 7]. Daneben sind weitere Gefährdungen und Komplikationen wie Tuberkulose, Lungenfunktionseinschränkung, Herzbelastung, Immunerkrankungen bekannt.

1.3 Prior History

Owing to this current development with regard to quartz dust the industrial organisations of the companies (Infra trade association) involved in infrastructure construction and the SIA's Swiss Tunnelling Society (FGU) as the pacesetters in tunnelling, took action to appraise the consequences this has on tunnelling by coordinating and determining their future approach. In collaboration with the SUVA and the ETH Zurich, the required intentions were agreed on and work started. Several working groups and committees have dealt with these problems during the last 2 years (Norm Commission SIA 196, Working Group on Action Planning (SUVA-Infra-FGU), Working Group on Quartz Dust (FGU), ETH Zurich, Institute for Engineering Geology (ASTRA research project)).

As is customary in Switzerland, as a result those mainly involved in construction such as clients, planners, contractors, controlling bodies (SUVA) and the employees' associations were included in this process.

2 Principles

The existing principles, which deal with this problem complex, examine partial aspects such as the possible diseases, the related risks or even the technical interrelationships such as dust formation when applying different methods.

2.1 Diseases resulting from Quartz Dust and Limit Values

The harmful influence of quartz dust on the human organism (especially chronic bronchitis, silicosis and also lung cancer according to more recent recognitions) when accessing the lungs was proved in a large number of studies and corresponding publications [4, 7]. In addition, further potential dangers and complications such as tuberculosis, restricting lung functioning, strain on the heart, immune diseases are known.

Aus diesem Grund gilt in der Schweiz aktuell eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) für Quarz-Feinstaub von $0,15 \text{ mg/m}^3$. Der Wert wird von der Grenzwert-Kommission der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro) festgelegt [9]. Die Höhe des MAK-Werts ist z.Zt. Gegenstand von Diskussionen.

Andere Staaten führen verschiedene Grenzwerte für Quarzstaub, die wie folgt festgelegt sind:

- USA (ACGIH – American Conference of Industrial Hygienists): $0,025 \text{ mg/m}^3$
- Irland, Italien, Portugal: $0,05 \text{ mg/m}^3$
- Niederlande: $0,075 \text{ mg/m}^3$
- USA (OSHA – Occupational Safety & Health Administration), Belgien, Dänemark, Frankreich, Griechenland, Grossbritannien, Norwegen, Spanien, Schweden: $0,10 \text{ mg/m}^3$
- Schweiz, Österreich und Luxemburg: $0,15 \text{ mg/m}^3$
- Finnland: $0,2 \text{ mg/m}^3$
- Deutschland: kein Grenzwert sondern Minimierungsgebot, da Quarz als krebserzeugend (C1) eingestuft ist

Bei der Messung auf den Baustellen wird in stark quarzführenden Gesteinen immer wieder festgestellt, dass die bestehenden MAK-Werte nicht eingehalten werden bzw. nicht eingehalten werden können.

In diesem Zusammenhang sei explizit auf die SIA 196 verwiesen. Sie wurde im Jahr 1998 das letzte Mal aktualisiert und stellt die erforderlichen Grundlagen für die Lüftungsbemessung und die Planung zusammen. Die Quarzstaubbelastung ist in dieser Norm als sogenannter MAK-Wert geregelt.

Definition: Der Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswert (MAK-Wert) ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet.

2.2 Technische Forschung

Die Entstehung von Quarzstaub im Untertagbau hängt stark von den eingesetzten bautechnischen Verfahren und der Zusammensetzung sowie dem Gefüge des vorliegenden Gesteins ab. Diese Zusammenhänge wurden in einigen Studien für einzelne Verfahren (z.B. Rotary-Bohren [5] oder Rohrvortrieb [6]) und geologische Situationen (z.B. Kohlevorkommen im Osten der USA [8]) untersucht, wobei in der Regel der Quarzgehalt des Gesteins, die Bindung des Quarzes im Gestein und – allgemein formuliert – der Energieeintrag in das Gestein (z.B. Drehgeschwindigkeit und Anpressdruck beim Bohren [5]) als maßgebliche Faktoren für die Bildung lungengängigen Quarzstaubes genannt werden. Zusätzlich beeinflussen der Durchtrennungsgrad des Gebirges sowie das Vorhandensein von Wasser die Staubbildung.

As a result, currently in Switzerland a maximal working place concentration (MAK) for quartz fine dust of 0.15 mg/m^3 is permissible. The value is laid down by the Limit Value Commission of the Swiss Society for Occupational Medicine, Occupational Hygiene and Occupational Safety (Suissepro) [9]. The amount of the MAK value is currently being discussed.

Other countries define various limit values for quartz dust as follows:

- USA (ACGIH – American Conference of Industrial Hygienists): 0.025 mg/m^3
- Ireland, Italy, Portugal: 0.05 mg/m^3
- Netherlands: 0.075 mg/m^3
- USA (OSHA – Occupational Safety and Health Administration), Belgium, Denmark, France, Greece, UK, Norway, Spain, Sweden: 0.10 mg/m^3
- Switzerland, Austria and Luxembourg: 0.15 mg/m^3
- Finland: 0.2 mg/m^3
- Germany: no limit value but minimisation requirement as quartz is classified as a cancer-producing (C1) substance

During on-site measurements, it is constantly determined in rocks containing a high degree of quartz that the existing MAK values are not or cannot be adhered to.

In this connection, SIA 196 is referred to. It was revised for the last time in 1998 and provides the required principles for measuring ventilation and planning. The quartz dust impact is regulated in this norm as a MAK value.

Definition: the Maximum Workplace Concentration Value (MAK value) is the highest permissible average concentration of a gaseous, vaporous or dust-like substance in the air, which generally causes no harm to the health of the great majority of the employed persons at a place of work subjected to its effect during a working period of 8 hours per day and up to 42 hours per week commensurate with the current level of knowledge.

2.2 Technical Research

The development of quartz dust in underground construction strongly depends on the applied engineering methods and the composition or structure of the prevailing rock. These interrelationships were investigated in a number of studies for individual methods (e.g. rotary drilling [5] or pipe jacking [6]) and geological situations (e.g. coal deposits in the east of the USA [8]). In this connection, generally the rock's quartz content, the quartz's bonding with the rock and – couched in general terms – the amount of energy transferred to the rock (e.g. rotating speed and contact pressure during drilling [5]) are cited as the determining factors for the formation of quartz dust capable of accessing the lungs. In addition, the rock's degree of separation and the presence of water promote dust forming.

3 Zielsetzung und Massnahmen

3.1 Zielsetzung

Bei der Arbeit wurden Fragestellungen aufgeworfen, welche beim Umgang mit Quarzstaub eine Rolle spielen. Die wichtigsten Themenbereiche wurden im Bereich Planung und Umsetzung auf der Baustelle festgestellt. Die Anforderungen an eine taugliche Lösung sind aus den verschiedenen Blickwinkeln der Beteiligten unterschiedlich. Die wichtigsten Anforderungen der Bauherren, Unternehmer, Planer und Kontrollorgane sind nachfolgend aufgelistet:

- Der geltende MAK-Wert muss nachhaltig eingehalten werden können. Arbeitseinstellungen auf Baustellen müssen bei Umsetzung der nötigen Massnahmen soweit möglich vermieden werden.
- Die Branche ist auf stabile und zuverlässige Normen angewiesen. Es ist wenig sinnvoll, tiefe Grenzwerte zu haben, die nicht eingehalten werden können.
- Grosse Projekte wie Tunnelbauten haben sehr lange Vorlaufzeiten. Tunnelbauten durchlaufen eine äusserst lange Planungs- und Projektierungsphase. So werden die möglichen Vortriebsmethoden etwa 3 Jahre vor der Ausschreibung eines Tunnelbauprojektes festgelegt. Würde eine Anpassung des MAK-Wertes für Quarzstaub beschlossen, so müsste eine entsprechend lange Übergangsfrist vorgesehen werden. Damit hätten die Behörden und Bauherren genügend Zeit, ihre Projekte an die neuen Vorgaben anzupassen.
- Logistische und Lüftungstechnische Aspekte spielen bereits in der Projektierungsphase eine grosse Rolle. Bei komplexen Projekten ist man bezüglich Baulüftung bereits heute an den Grenzen des technisch Machbaren. Die Situation wird in Zukunft nicht einfacher, weil die Bauwerke immer komplexer werden und vermehrt mit Annexbauten wie Kavernen, Querschlägen, Sicherheitsstollen usw. versehen werden.
- Die Anforderungen und Bedingungen müssen in den Ausschreibungen der Bauleistungen klar beschrieben und berücksichtigt sein. Die Verantwortungen der Beteiligten sind klar zu regeln.
- Die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz muss der Spekulation entzogen werden („Gleich lange Spiesse für alle“).
- Die Planung spielt bei schwierigen Untertagbauten eine sehr grosse Rolle. Allgemein gültige Vorgaben für die Planung sind notwendig.
- Ein System soll bei allen Partnern akzeptiert sein und eine breit abgestützte Grundlage für ein sicheres Bauen bieten.

Auf Grund der verschiedenen Anforderungen wurde versucht, eine gemeinsame Stossrichtung festzulegen. Die allgemeine Zielsetzung wurde wie folgt formuliert:

Einheitliche und konsistente Regeln für Bauherren, Ingenieure, Geologen und Ausführende, die sowohl Flexibilität hinsichtlich dem Kenntnisstand eines Projektes als auch hinsichtlich der Planung zulassen.

3 Objective and Measures

3.1 Objective

Issues arose during work, which play a role when dealing with quartz dust. The most important areas of topics were established in conjunction with planning and application on the construction site. The requirements for finding a suitable solution are different from the various viewpoints of those involved. The most important requirements posed by clients, contractors, designers and control bodies are listed as follows:

- The valid MAK value must be sustained. Interruptions to work on construction sites must be restricted as far as possible while putting the necessary measures into practice.
- The branch depends on stable and reliable norms. It does not make much sense to introduce low limit values that cannot be adhered to.
- Major projects such as tunnels require lengthy preparatory periods. Tunnels experience an extremely long planning and design phase. As a result, the possible driving methods are established some 3 years prior to a tunnelling project's tendering phase. If an adjustment to the MAK value was foreseen, then this would also mean a correspondingly protracted transition period. In this way, the authorities and clients have enough time to adapt their projects to the new specifications.
- Logistical and ventilation-technical aspects play a major role also during the designing phase. Nowadays the limit in terms of what is technically possible has already been reached regarding construction ventilation for complex projects. The situation will not become any simpler in future because structures will become more complex and increasingly provided with annex buildings such as caverns, cross-passages, safety tunnels etc.
- The requirements and conditions must be clearly described and considered when the construction services are rendered at the tendering stage. The responsibilities of those involved have to be lucidly laid out.
- Occupational safety and health protection must be devoid of speculation ("Equally long lances for all").
- Planning plays an enormous role for tricky underground structures. Generally valid specifications for planning are required.
- One system must be accepted by all the partners and form a broad basis for safe construction.

An attempt was made to pursue a common approach based on the various requirements. The general objective was formulated as follows:

Uniform and consistent rules for clients, engineers, geologists and contractors are essential, which entail flexibility pertaining to the level of knowledge about a project as well as the planning.

3.2 Massnahmen zur Zielerreichung

In einer ersten Arbeitsgruppe unter Mitwirkung des Fachverbandes Infra, der FGU und der SUVA wurden die konkreten Massnahmen auf der Baustelle definiert, welche die Quarzstaubbelastung reduzieren können. Die Resultate der Arbeitsgruppe wurden in die sogenannte ASA-Branchenlösung des Bauhauptgewerbes integriert. ASA ist die Abkürzung für "Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit". Die Branchenlösungen werden von den Sozialpartnern einer Branche getragen und in Zusammenarbeit mit Spezialisten der Arbeitssicherheit entwickelt.

Die ASA-Branchenlösung hat den Zweck, die erforderlichen Massnahmen zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit tabellarisch aufzulisten und dient als Planungsinstrument sowie als Checkliste. **Tabelle 1** zeigt einen Ausschnitt aus der Tabelle der ASA-Branchenlösung.

3.2 Measures to attain the Objective

Concrete actions on the construction site were defined within an initial working group involving the trade associations Infra, the FGU and the SUVA so that the impact of quartz dust can be reduced. The results produced by the working group were integrated in the construction industry's so-called ASA pool. ASA or in English FCOS is the abbreviation for the Federal Coordination Commission for Occupational Safety. The FCOS pool is charged with listing the required measures for securing occupational safety in tabular form and serves both as planning instrument and checklist. **Table 1** shows the ASA pool.

The table is set up in accordance with processes. It contains the working zone, the causes as well as the measures to be taken. The necessary measures are distinguished between type of job and quartz exposure level. The jobs include all working places and techniques relevant to quartz dust. The

Nr.	Prozesse, Tätigkeiten, Gefährdungen	Zone	Ursachen	Massnahmen	TOP
3	Logistik				
3.1	Aufladen, Transportieren, Umladen, Abladen, Deponieren				
	3.1.13 Staub		Emission Schutterung, Umlad, Bandtransport (Abwurfstellen, Leergurt) Staubaustrag Transport (Fahrzeug, Band)		
	Quarzgefährdung klein	2		<ul style="list-style-type: none"> • Bedüsung des FB-Abwurfs • Minderung der Staubfreisetzung wie durch Benetzung oder Reinigung der Fahrbahn 	T, O
	Quarzgefährdung mittel	1		zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Sprühanlage Haufwerk/Zwischendepots • Bandwasch- resp. wendeanlage • Stauberfassung und -abscheidung FB-Abwurf • geeignete Fahrbahngestaltung (wie feste FB) • Fahrbahnreinigung inkl. Wischgutentsorgung 	T
	Quarzgefährdung gross	1		zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Stauberfassung und -abscheidung Verladestelle Fahrzeug- + Bahnverlad (FB- und Silo-Verlad) • Massnahmen gegen Staubaustrag beim Transport wie Abtransport im Abluftstrom (keine Gegenströmung), Abdeckung, Rollgurt 	T
3.1 a	Brechanlage untertag		Beschickung, Brechstaub, Abwurf auf FB	geeignete Brechmethode wählen	
	Quarzgefährdung klein	2		Wasserbedüsung	T
	Quarzgefährdung mittel	1		Stauberfassung und -abscheidung; Leistung auf Brechmethode abstimmen Reststaub < 0,2 mg/m ³	T
	Quarzgefährdung gross	1		Reststaub < 0,1 mg/m ³	T

Tabelle 1 Ausschnitt ASA-Branchenlösung 2013 (Ergänzungen infolge Quarzstaub in Grün)

Die Tabelle ist nach Prozessen aufgebaut. Sie beinhaltet die Arbeitszone, die Ursachen sowie die zu treffenden Massnahmen. Die erforderlichen Massnahmen sind nach Tätigkeit und Quarzgefährdungsstufe unterschieden. Die Tätigkeiten beinhalten alle im Bezug auf Quarzstaub relevanten Arbeitsstellen und -techniken. Der Einfluss der Geologie wurde in Analogie zur Gasgefährdung oder der Gefährdung bei Asbeststaub in 3 Stufen klassifiziert. Die Stufen der Quarzgefährdung wurden als klein, mittel und gross definiert. Die Massnahmen werden in 3 Kategorien Technische, Organisatorische und Persönliche Massnahmen unterteilt (TOP).

Die grösste Unbekannte bei der Definition der Massnahmen ist der Zusammenhang zwischen der Geologie und der Quarzgefährdung. Die Grundidee dabei ist, einen oder eine Kombination mehrerer bestehender geotechnischer Parameter als Gradmesser zu gebrauchen. Am vielversprechendsten

influence of geology was classified in 3 stages in similar fashion to the hazard of gas or the hazard presented by asbestos dust. The quartz hazard levels were defined as low, average and high. The measures were divided up into 3 categories Technical, Organisational and Personal Measures (TOP).

The biggest unknown factor for defining the measures is the interrelationship between the geology and quartz exposure. The basic idea here is to take one or a combination of several existing geotechnical parameters as indicators. At present, the most promising appears to be a test by the Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC test) [1]. The research project commissioned by the FGU at the ETH is aimed at being able to establish a link between geological parameters and quartz dust exposure. As far as is known so far there has not been a study, which attempts to link geotechnical parameters such as e.g. the Cerchar Abrasiveness Index (CAI)

No.	Processes, jobs, hazards	Zone	Causes	Measures	TOP
3	Logistics				
3.1	Loading, transporting, reloading, unloading, dumping				
	3.1.13 Dust		Emission mucking, reloading, belt transport (discharge points, empty belt) dust discharge transport (vehicle, belt)		
	Quartz hazard low	2		<ul style="list-style-type: none"> • Spraying the belt discharge • Reducing the dust release by wetting or cleaning the surface 	T, O
	Quartz hazard average	1		additionally: <ul style="list-style-type: none"> • Spraying unit muck/intermediate dump • Belt wash/reversing unit • Dust suppression and separation belt discharge • suitable roadway (such as fixed belt) • Roadway cleaning incl. processed material disposal 	T
	Quartz hazard high	1		additionally: <ul style="list-style-type: none"> • Dust suppression and separation Loading point vehicle + rail loading (belt and silo loading) • Measures against dust discharge during transport such as removal in exhaust air flow (no counter-flow), covering, roller belt 	T
3.1 a	Underground crusher		Charging, crushing dust, discharge to belt	Select suitable crushing method	
	Quartz hazard low	2		Water moistening	T
	Quartz hazard average	1		Dust suppression and separation; gear performance to crushing method residual dust < 0.2 mg/m ³	T
	Quartz hazard high	1		residual dust < 0.1 mg/m ³	T

Table 1 Excerpt from ASA Pool 2013 (addenda owing to quartz dust in green)

erscheint zum heutigen Zeitpunkt ein Test des Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC-Test) [1]. Das durch die FGU bei der ETH in Auftrag gegebene Forschungsvorhaben verfolgt das Ziel, einen Zusammenhang zwischen geologischen Parametern und der Quarzstaubgefährdung ermitteln zu können. Nach aktuellem Kenntnisstand existiert bislang noch keine Studie, die versucht, geotechnische Parameter wie u.a. den Cerchar Abrasivitäts Index (CAI) [3], die einaxiale Druckfestigkeit (UCS) und den LCPC Abrasivitäts Koeffizienten (LAK) [1] mit dem Quarzstaubpotential in Verbindung zu bringen. Ebenso gibt es noch keine systematische Untersuchung der Quarzstaubgefährdung anhand bisheriger Erfahrungen im Untertagebau für die am häufigsten in der Schweiz vorkommenden Gesteine. Diese beiden Aspekte sind die zentralen Elemente dieses Forschungsauftrages.

In dem Forschungsvorhaben wird erstmals versucht, zwischen typischen in Laborversuchen ermittelten geotechnischen Gesteinsparametern und dem Quarzstaubpotential der Gesteine einen statistisch relevanten empirischen Zusammenhang zu ermitteln. Für die Untersuchung kommen dementsprechend vor allem diejenigen Parameter in Betracht, die sensitiv auf die zuvor genannten Faktoren für die Quarzstaubbildung (insbesondere Quarzgehalt des Gesteins und Bindung der Quarzpartikel im Gestein) sein könnten. Insbesondere der LCPC Versuch [1], in dem mit dem LCPC Abrasivitäts Koeffizient (LAK) ein stark von dem Quarzgehalt der Probe abhängiger Parameter [10] und mit LCPC Brechbarkeits Koeffizient (LBR) ein stark von der Gefügesteifigkeit beeinflusster Wert ermittelt wird, scheint für die vorliegende Untersuchung geeignet zu sein. Des Weiteren werden aber auch u.a. der Cerchar Abrasivitäts Index und die einaxiale Druckfestigkeit in Betracht gezogen.

Grundlage der Untersuchung wird ein hier erstmals zur Anwendung gebrachtes Verfahren zur Ermittlung des Quarzstaubpotentials sein, welches auf dem LCPC Versuch basiert. In dem sogenannten Modifizierten LCPC Versuch wird der während des Versuchs frei werdende Staub aufgefangen und hinsichtlich Menge, Korngrößenverteilung und Mineralzusammensetzung (Quarzgehalt) untersucht. Dies ermöglicht eine Quantifizierung der frei werdenden Quarzstaubmenge und damit eine objektive Beurteilung des Quarzstaubpotentials der verschiedenen untersuchten Gesteine.

Im ersten Schritt werden deshalb die zuvor genannten geotechnischen Parameter (UCS, CAI, LAK und LBR) an verschiedenen, typischerweise in der Schweiz vorkommenden Gesteinen ermittelt und zugleich im Zuge des Modifizierten LCPC Versuchs die dabei aufgetretene Masse alveolengängigen Quarzstaubs ($< 4 \mu\text{m}$) mittels einer XRD-Analyse quantitativ bestimmt. Auf Grundlage dieser Daten wird untersucht, welcher geotechnische Parameter bzw. welche Parameterkombination am besten mit der im LCPC Versuch aufgetretenen Quarzstaubmenge korreliert. Darauf bezogen wird eine erste Klassifizierung des Quarzstaubpotentials in 3 Kategorien (gering/mittel/hoch) vorgenommen.

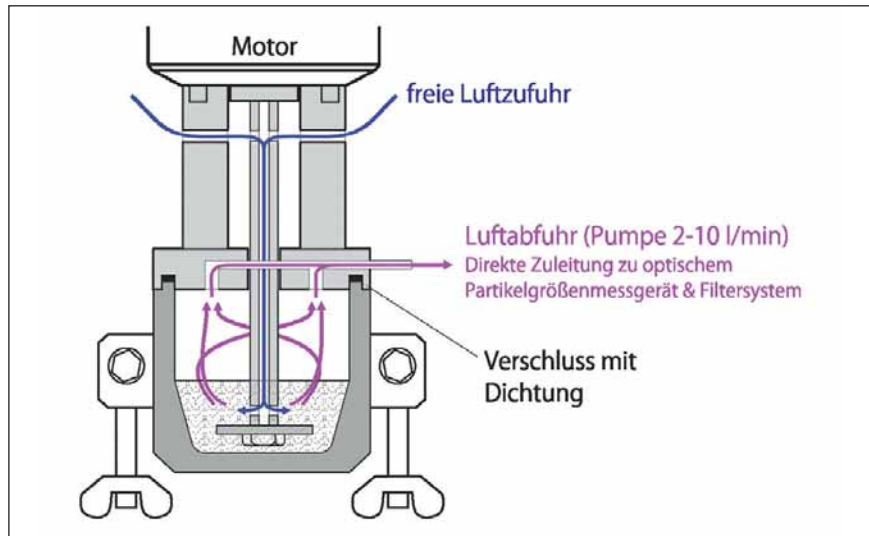
[3], the uni-axial compressive strength (UCS) and the LCPC Abrasiveness Coefficient (LAK) [1] with the quartz dust potential. Similarly there is still no systematic examination of the quartz dust hazard based on prior experience in underground construction for the rocks most commonly found in Switzerland. These 2 aspects represent the central elements of this research project.

For the first time, the research project attempts to determine a statically relevant empirical link between typical geotechnical rock parameters established in lab tests and the rocks' quartz dust potential. Consequently, the investigation mainly considers those parameters, which could be sensitive regarding the previously mentioned factors for quartz dust formation (particularly the quartz content of the rock and the bond formed between the quartz particles and the rock). The LCPC test [1], in which a parameter strongly dependent on the sample's quartz content [10] is determined by the LCPC Abrasiveness Coefficient (LAK) as well as a value greatly influenced by the structural strength value obtained through the LCPC refractivity coefficient (LBR), appears to be suitable for the current study. In addition, the Cerchar Abrasiveness Index and the uni-axial compressive strength are taken into account among other things.

The study is based on a method to establish the quartz potential, based on the LCPC test, which is being applied here for the first time. The so-called Modified LCPC Test involves collecting the dust released during the test in order to find out the quantity, grain-size distribution and mineral composition (quartz content). This allows quantification of the amount of quartz dust released and in turn, an objective assessment of the quartz dust potential of the different rocks investigated.

As a consequence, in a first step, the previously mentioned geotechnical parameters (UCS, CAI, LAK and LBR) were established for various rocks typically found in Switzerland and at the same time the amount of alveolar quartz dust ($< 4 \mu\text{m}$) determined quantitatively by an XRD analysis applying the Modified LCPC Test. Based on these data it is determined which geotechnical parameters or parameter combinations correlate with the amount of quartz dust present in the LCPC test. Initial classification of the quartz dust potential is then carried out in 3 categories (low/average/high).

The resultant classification is subsequently tested to establish its suitability and if necessary revised on the basis of actual case examples from underground construction, which involved excessive quartz dust concentrations in the past. In this connection, however, only a single examination of the positive identification rate is undertaken – i.e. an analysis is carried out to establish whether the developed classification also reveals a high quartz dust potential in known actual problem cases of quartz dust. A more extensive systematic validation of the developed classification must of necessity take the applied construction process and possibly countermeasures that were introduced into consideration.



1 Versuchsanordnung modifizierter LCPC-Test (aus [10])
Test setup for Modified LCPC Test (from [10])

Die so ermittelte Klassifizierung wird anschließend anhand realer Fallbeispiele aus dem Untertagbau, in denen es in der Vergangenheit zu erhöhten Quarzstaubkonzentrationen gekommen ist, auf ihre Tauglichkeit hin überprüft und ggf. nochmals überarbeitet. Dabei wird allerdings nur eine Untersuchung der positiven Erkennungsrate vorgenommen – d.h. es wird analysiert, ob die entwickelte Klassifikation in bekannten tatsächlichen Quarzstaub-Problemfällen auch ein hohes Quarzstaubpotential anzeigt. Eine weiterführende systematische Validierung der entwickelten Klassifikation muss zwangsläufig die zum Einsatz gebrachten Bauprozesse und ggf. getroffene Gegenmassnahmen berücksichtigen.

Zur Ermittlung der Quarzstaubgefährdung wird eine Vorrichtung für das Auffangen des bei dem LCPC Versuch entstehenden Feinstaubes (Bild 1, rechts) eingesetzt. Die abgesaugte Luft wird einem optischen Partikelgrößenmessgerät und einem Feinstaubfiltersystem für die Gewinnung des alveolengängigen Staubanteils (< 4 µm) zugeführt. Die Modifikationen werden an einem Abrasivitäts-Prüfgerät („Abroy-Gerät“, Bild 1, links) durchgeführt.

Die Versuche werden im Verlauf des aktuellen Jahres durchgeführt und die Resultate separat publiziert.

4 Planung

4.1 Ermittlung Quarzstaubgefährdung

Die Quarzstaubgefährdung wird mittels Gefährdungsstufen durch den Geologen ermittelt und vom Projektverfasser verifiziert. Die Einteilung in die 3 Stufen klein, mittel und hoch bildet die Basis für die weitere Projektierung.

Eine parameter-basierte Zuordnung (z.B. Modifizierter LCPC-Test) hat den Vorteil, dass diese während der ganzen Projektdauer nachvollziehbar bleibt. Im Rahmen des Vorprojektes kann die Quarzgefährdung anhand von Literaturwerten

A device for collecting the fine dust released during the LCPC test is used to establish the quartz dust hazard (Fig. 1, right). The air suctioned off is fed to an optical particle size measuring unit and a fine dust filter system for obtaining the alveolar dust proportion (< 4 µm). The modifications are carried out with a abrasiveness test unit (“Abroy Metre”, Fig. 1, left). The tests are progressing throughout the current year and the results published separately.

4 Planning

4.1 Determining Quartz Dust Hazard

The quartz dust hazard is determined by the geologist based on exposure classes and verified by the project designer. Allocation to the 3 classes low, average and high forms the basis for further project planning.

Parameter-based allocation (e.g. Modified LCPC Tests) has the advantage that this can be pursued throughout the entire duration of the project. During the preparatory stage, the quartz hazard can be dealt with based on reference values and on the values obtained directly after carrying out exploratory measures. This can also be checked at all times during the drive.

4.2 Planning the necessary Measures against Quartz Dust

In underground construction, the planner is also charged with proposing the construction cycles and driving methods as well as defining the finished structure. At the very least, a possible solution must be worked out, which enables the contractor to produce the structure commensurate with the legal regulations.

The measures defined in the ASA pool are in this case of great assistance in taking the impact of quartz dust into account at the planning stage. It is possible to compile the most impor-

Projektphase	Projekt Baulüftung	Bearbeitung
Vorprojekt	Konzeptstudie	Projektingenieur
Bauprojekt	Gesamtkonzept Berechnung als Grundlage für die Ausschreibung in Absprache mit SUVA	Projektingenieur
Realisierung • Ausschreibung	Grundlagen aus Bauprojekt Angebot (gemäss Kapitel 7) Prüfung Angebot	Projektingenieur Unternehmer Projektingenieur
• Ausführung	Ausführungsprojekt und Ausführung Kontrolle im Rahmen von Norm SIA 118 Art. 104 Kontrolle im Rahmen VUV	Unternehmer Unternehmer / Bauleitung SUVA

Table 2 Planung, Erarbeitung und Zuständigkeiten (Auszug sia 196)

Project phase	Project construction Ventilation	Processing
Pre-project	Concept study	Project engineer
Construction Project	Overall concept calculation as basis for tender in conjunction with SUVA	Project engineer
Accomplishment • Tender	Principles from construction project tender (according to Chapter 7) Scrutiny of offer	Project engineer Contractor Project engineer
• Execution	Executed project and execution control within the framework of Norm SIA 118 Art. 104 control within the framework of VUV (Provision on Accidents and Occupational Diseases)	Contractor Contractor / construction management SUVA

Table 2 Planning, Processing and Responsibilities (Excerpt from SIA 196)

erfolgen und nach Durchführung von Erkundungsmassnahmen auf Basis der direkt ermittelten Werte. Die Überprüfbarkeit während des Vortriebs ist ebenfalls gewährleistet.

4.2 Planung der erforderlichen Massnahmen gegen Quarzstaub

Der Planer hat im Untertagbau neben der Definition des fertigen Bauwerks auch die Aufgabe, die Bauabläufe und Vortriebsverfahren vorzuschlagen. Im Minimum muss eine mögliche Lösung erarbeitet werden, welche es dem Unternehmer gestattet, das Bauwerk unter Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen bauen zu können.

Die in der ASA-Branchenlösung definierten Massnahmen sind dabei ein gutes Hilfsmittel, den Bereich Quarzstaubbelastung bei der Planung zu berücksichtigen. Durch die Aufteilung der Massnahmen pro Tätigkeit lassen sich die wichtigsten Massnahmenpakete zusammenstellen. Die Liste dient dabei jedoch nicht als Kochbuch, sondern muss als Checkliste verstanden werden.

Insbesondere bei schwierigen Bauobjekten wie langen Tunneln, Kavernen oder innerstädtischen Bauwerken ist eine Planung der Lüftung/Kühlung und der weiteren Staubbekämpfungsmassnahmen im Sinne eines Richtprojektes unumgänglich. Die bestehende sia 196 listet die erforderlichen Planungsarbeiten phasenbezogen auf (Tabelle 2).

tant packages of measures by allocating the measures per job. However, the list must not be interpreted as a cookery book but as a checklist.

Planning the ventilation/air-conditioning and further dust suppression measures along the lines of a compliance project is essential particularly for complex structures such as long tunnels, caverns or urban buildings. The current SIA 196 lists the necessary planning activities (Table 2).

5 Influence on Project and Driving Methods

During on-site application, technical (e.g. combating dust at source, ventilation equipment, project modifications), organisational (e.g. work organisation, sequence planning, leadership) and personal measures (e.g. safety clothing, self-rescue equipment, protective masks) are applied.

If contact with carcinogenic substances cannot be avoided, measures must be taken to protect the health of those affected as far as possible. Both technical and industrial medical measures can be applied.

If at all possible, technical measures are resorted to. They have the advantage compared to organisational and personal measures that they can largely cater for occupational safety regardless of how individual persons behave.

5 Einfluss auf Projekt und Vortriebsverfahren

Bei der Umsetzung auf der Baustelle kommen technische (z.B. Staubbekämpfung an der Quelle, Lüftungseinrichtungen, Projektanpassungen), organisatorische (z.B. Arbeitsorganisation, Ablaufplanung, Führung) und personenbezogene Massnahmen (z.B. Warnkleidung, Selbstretter-Ausrüstung, Schutzmasken) zur Anwendung.

Kann der Kontakt zu kanzerogenen Stoffen nicht umgangen werden, so sind Massnahmen zu treffen, um die Gesundheit der Beschäftigten soweit als möglich zu schützen. Es können dabei technische sowie arbeitsmedizinische Massnahmen getroffen werden.

Wann immer möglich wird versucht technische Massnahmen zu ergreifen. Sie haben gegenüber den organisatorischen und persönlichen Massnahmen den Vorteil, dass unabhängig vom Verhalten der einzelnen Personen die Arbeitssicherheit weitgehend gewährleistet werden kann.

Bei einfachen Projekten beschränken sich die zu treffenden Massnahmen oft auf eine genügende Bemessung der Ventilation und der Entstaubung. Bei komplizierten Projekten hat die Lüftungsplanung oft einen sehr grossen Einfluss auf das Bauwerk (z.B. Pilotstollen, Bild 2), die Logistik und auf das Bauprogramm. An der Tagung werden Beispiele detailliert erläutert.

6 Schlussbemerkungen

Die Arbeitsgruppe der FGU ist daran, die Resultate der Abklärungen sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse in einer Richtlinie zusammenzustellen. Die Richtlinie wird voraussichtlich im 1. Quartal 2014 vernehmfasst. Sie beinhaltet neben den ausgeführten Grundlagen zur Ermittlung auch die erforderlichen Vorgaben bezüglich Organisation, Planung, Umsetzung auf der Baustelle und Kontrollen.



2 Absaugung über Pilotstollen bei TSM
Suction via pilot tunnel for roadheader

Often the measures undertaken for simple projects are confined to measuring the ventilation and dedusting in an adequate manner. For complicated projects planning the ventilation frequently exerts an extremely great influence on the structure (e.g. pilot tunnels, Fig. 2), the logistics and the construction programme. Examples will be provided in detail at the Congress.

6 Conclusion

The FGU working group is engaged in compiling the results of the study as well as the recognitions gained from it, in a guideline. The guideline will probably be published in the first quarter of 2014. Apart from the listed principles, it will also contain the necessary specifications with respect to organisation, planning, implication on-site and checks.

Literatur/References

- [1] AFNOR (1990): Normalisation Française P18-579 (12/1990): Granulats: Essai d'abrasivité et de broyabilité
- [2] Bergmann, J., Friedel, P., Kleeberg, R., (1998): BGMN - a new fundamental parameters based Rietveld program for laboratory X-ray sources, its use in quantitative analysis and structure investigations.- CPD Newsletter, v. 20, p. 5-8
- [3] Centre d'Etudes de Charbonnages de France (1986): The Cerchar Abrasiveness Index.- 8 S., 4 Taf., Verneuil
- [4] Holland, L.M. (1990): Crystalline silica and lung cancer: A review of recent experimental evidence.- Regulatory Toxicology and Pharmacology, 12, 3: 224-237. DOI 10.1016/S0273-2300(05)80060-1
- [5] Listak, J. (2003): Method to determine the effects of rotary drilling parameters and overburden rock on silica-dust generation.- Transactions of Society for Mining Metallurgy and Exploration, 314: 102-106
- [6] Oliver, L.C. & Miracle-McMahill, H. (2006): Airway disease in highway and tunnel construction workers exposed to silica.- American Journal of Industrial Medicine, 49, 12: 983-996. DOI 10.1002/ajim.20406
- [7] Pelucchi, C. (2006): Occupational silica exposure and lung cancer risk: a review of epidemiological studies 1996-2005.- Annals of Oncology, 17, 7: 1039-1050. DOI 10.1093/annonc/mdj125
- [8] Schatzel, S. (2009): Identifying sources of respirable quartz and silica dust in underground coal mines in southern West Virginia, western Virginia, and eastern Kentucky.- International Journal of Coal Geology, 78, 2: 110-118. DOI 10.1016/j.coal.2009.01.003
- [9] SUVA (2012): Grenzwerte am Arbeitsplatz 2012.- SUVA, 157 S
- [10] Thuro, K., Singer, J., Käsling, H., Bauer, M. (2006): Abrasivitätsuntersuchungen an Lockergesteinen im Hinblick auf die Gebirgslösung. - In: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Beiträge zur 29. Baugrundtagung, 27. - 29. Sept. 2006 in Bremen, 283-290

Polymerbeton-Elemente von ACO Passavant AG für Cityring Luzern



Im Rahmen der Gesamterneuerung mussten unter anderem die Tunnelröhren des Reussport- und Sonnenbergtunnels saniert werden. Schäden durch Streusalz hatte die Betonstruktur an Gewölbe, Entwässerung und Banketten stark beschädigt. Die Bankette wurden beidseitig abgebrochen und durch Randsteine und Schlitzrinnen von ACO Passavant AG ersetzt. Die Entwässerung im Reussport- und Sonnenbergtunnel erfolgt im Trennsystem. Die auf der Fahrbahn anfallenden Flüssigkeiten aus Unfällen, Tunnelreinigung und Verkehr werden via Schlitzrinnen in die alle 50 Meter eingebauten Sifonschächte geführt und in der neu erstellten Entwässerungsleitung in die entsprechenden Stapelbecken gefasst und abgeleitet.



Die Firma ACO Passavant AG lieferte folgende Polymerbeton-Elemente:

- 97 Sifonschächte mit 2 Kammern und 3 Sifonschächte mit 3 Kammern
- 4400 m Schlitzrinnen
- 5400 m Randsteine
- 31 GD-Schächte

Die Baustelle stellte besondere Herausforderungen an den Lieferanten: Nicht nur mussten die Elemente den speziellen geometrischen Anforderungen angepasst werden, sie mussten auch nach den Vorgaben der Baustellenlogistik geliefert werden.

ACO Passavant AG – CH-8754 Netstal - Tel. 055 645 53 00
www.aco.ch - aco@aco.ch



TUNNELLING IS OUR BUSINESS

Wir schaffen mit Untertagebauwerken und komplexen Infrastrukturbauwerken, die wir errichten, wichtige und bleibende Werte für die Gesellschaft und tragen damit auf wirksame, nachhaltige und sichere Weise zum Wohlstand und zum Wohlbefinden der Menschen bei. Durch unsere in allen Belangen professionelle Arbeitsweise und die Qualität der erbrachten Leistungen empfehlen wir uns für unsere Projektpartner und Auftraggeber als bevorzugter Auftragnehmer.

ALPINE Bau GmbH
 Seestraße 72 b
 6052 Hergiswil · Schweiz
 Tel. +41 41 630 4220
info@alpine.ch
www.alpine.at

ALPINE BeMo Tunnelling GmbH
 Bernhard-Höfel-Strasse 11
 6020 Innsbruck · Österreich
 Tel. +43 512 3311-0
untertagebau@alpine-bau.de
www.alpine-bemo.com

ALPINE Untertagebau GmbH
 Fürholzener Straße 12
 85386 Eching · Deutschland
 Tel. +49 89 32711-300
untertagebau@alpine-bau.de
www.alpine-bau.de

www.alpine.at

AMBERG GROUP

Leading provider in underground infrastructure solutions



www.amberg.ch
Synergies within the Amberg Group



 **FERROFLEX**
www.ferroflex.ch

**Arma
Spez**
www.armaspez.ch



 **FERROFLEX**

**Arma
Spez**

Wir entwickeln für den Tunnelbau optimale Bewehrungslösungen nach den Vorgaben der Kunden, zeit- und kostensparend. Das beherrschen wir.

Termingerechte Produktion und Lieferung mit den geeigneten Transportmitteln, per Camion oder per Bahn.

Der Unterschied zwischen Mittel-mass und Perfektion liegt im Detail. Wir wissen das.

*„Einen Vorsprung im Leben hat,
wer da anpackt,
wo andere erst einmal reden.“*

John F. Kennedy

... hier beginnt der Tunnelbau

ARGE Tunnel Weinberg



Whatever your challenges are

Im Untertagebau bietet MEYCO® weit mehr als 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



Expanding Horizons

Underground



BASF Construction Chemicals Europe AG ■ Im Tiergarten 7 ■ 8055 Zürich ■ Telefon +41 (0)58 958 22 11 ■ Telefax +41 (0)58 958 32 46 ■ Mail: ugc@basf.com



Höchstleistung im Tunnelbau

Innerstädtischer Tunnelbau mit höchsten Anforderungen ist eines der Spezialgebiete von Basler & Hofmann. Wir begleiten Tunnelprojekte von der Machbarkeitsstudie bis zur Bauleitung, vom Sicherheitsplan bis zum Logistikkonzept. Gut, sich auf einen erfahrenen Partner verlassen zu können.



www.baslerhofmann.ch

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

rowa
TUNNELLING LOGISTICS



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

belloli



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

 **condotte cossi**

**Galleria di base del Ceneri
Lotto 852**

 **società italiana per condotte d'acqua S.p.A.**
Fondata il 7 aprile 1880

 **cossi costruzioni S.p.A.**

 **LGV** BAUUNTERNEHMUNG AG
IMPRESA COSTRUZIONI SA

www.condotte.com



Consorzio TAT

Tunnel AlpTransit – Ticino, Bodio Lotto 554 / Faido Lotto 452

FOR SALE!

second hand
tunnelling-equipment

www.tat-ti.ch



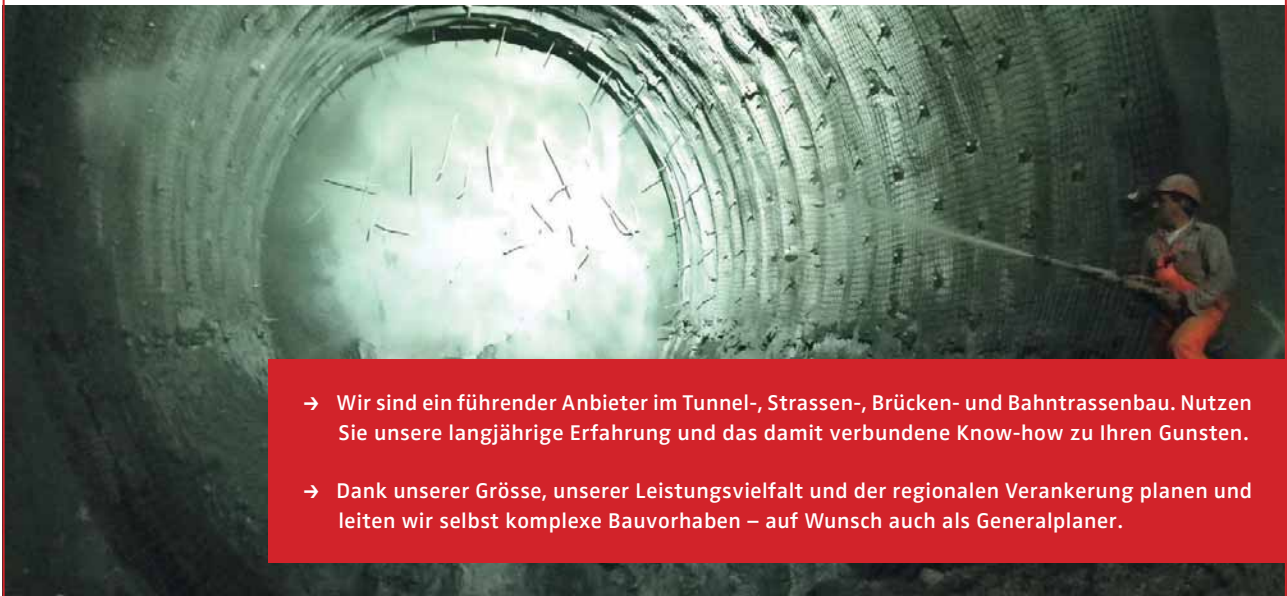
IMPRESA COSTRUZIONI SA
BAUUNTERNEHMUNG AG
ENTREPRISE DE CONSTRUCTIONS SA

**QUALITÄT, TERMINE
UND UMWELT**



csc@csc-sa.ch
www.csc-sa.ch

Ihr Partner für Gesamtlösungen.
Erfolg inspiriert.



- Wir sind ein führender Anbieter im Tunnel-, Strassen-, Brücken- und Bahntrassenbau. Nutzen Sie unsere langjährige Erfahrung und das damit verbundene Know-how zu Ihren Gunsten.
- Dank unserer Grösse, unserer Leistungsvielfalt und der regionalen Verankerung planen und leiten wir selbst komplexe Bauvorhaben – auf Wunsch auch als Generalplaner.

Chur Genève Lausanne Lugano Mesocco Pontresina Poschiavo Rivera Schwyz St. Moritz Winterthur Zuoz Zürich

www.toscano.ch

Your partner for groundbreaking solutions.



Buildings | civil engineering structures | roads |
railways | **tunnelling** | mobility | environment |
supply and waste | safety | surveying |
geoinformatics | hydraulic engineering |
project management | consultancy.



Global solutions are our strength. | Emch+Berger Group

Schlösslistrasse 19 | 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



Inspiration
for outstanding
performance.



Innovation
for the World of Tomorrow.
Comprehensive competence for tunnel projects.

Represented in 31 sites worldwide.
www.gruner.ch



HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING



BUILDING THE FUTURE TOGETHER.

Herrenknecht is a technology and market leader in the area of mechanized tunnelling systems. As the only company worldwide, Herrenknecht delivers cutting-edge tunnel boring machines for all ground conditions and in all diameters – ranging from 0.10 to 19 meters. In addition, Herrenknecht develops solutions for the production of vertical and sloping shafts.

The tailor-made machines create underground supply tunnels for water and sewage, for gas, oil, electricity, internet and telephone lines (Utility Tunnelling) as well as efficient infrastructure for car, metro and railway traffic (Traffic Tunnelling) around the world. Our tunnel boring machines are forging ahead with the world's longest railway tunnel and the largest

metro lines. They help to cross under water with supreme accuracy and to lay pipelines throughout continents.

The Herrenknecht Group employs around 5,000 members of staff worldwide. With 77 subsidiaries and associated companies working in related fields in Germany and abroad, a team of innovative specialists has formed under the umbrella of the Group, which is able to provide integrated solutions with project-specific equipment and service packages – close to the project site and the customer.

Herrenknecht AG
D-77963 Schwanau
Phone + 49 7824 302-0
Fax + 49 7824 3403
marketing@herrenknecht.com
www.herrenknecht.com



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



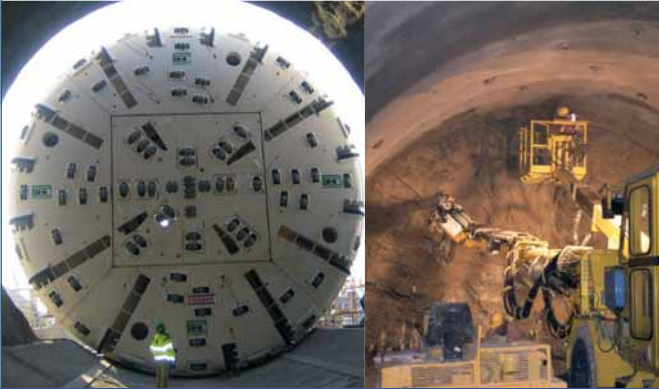
Dauerhaft, leistungsstark, nachhaltig: Mit dem Holcim Robusto 4R-S wählen Sie einen hervorragenden Hochleistungszement für den Tiefbau. Damit Infrastrukturbauten auch unter hoher Beanspruchung über viele Jahrzehnte hinweg gute Dienste leisten.

www.holcim.ch

100 years of
Strength. Performance. Passion.



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.zrh@ilf.com

ILF
CONSULTING
ENGINEERS

ILF Zürich ist Mitglied der ILF Gruppe mit weltweit 1.863 Mitarbeiter.

ILF unterstützt seine Kunden bei der erfolgreichen Realisierung bedeutender Infrastrukturprojekte und bietet gesamthafte Ingenieur- und Beratungsleistungen an.

IHR ZUVERLÄSSIGER PARTNER

Bewährt bei:

- Gotthard- und Ceneri-Basistunnel
- Trans Adriatic Pipeline
- Kraftwerk Linth Limmern
- Pumpspeicherwerk Atdorf
- Belchentunnel 3. Röhre
- Eppenbergtunnel Realisierung
- Studie Geologische Tiefenlager, Nagra
- Fäsenstaub-/Cholfirstunnel, Bau/BSA
- Metro Linie 2 Ho Chi Minh City, Vietnam
- Umfahrungstunnel Tiflis, Georgien

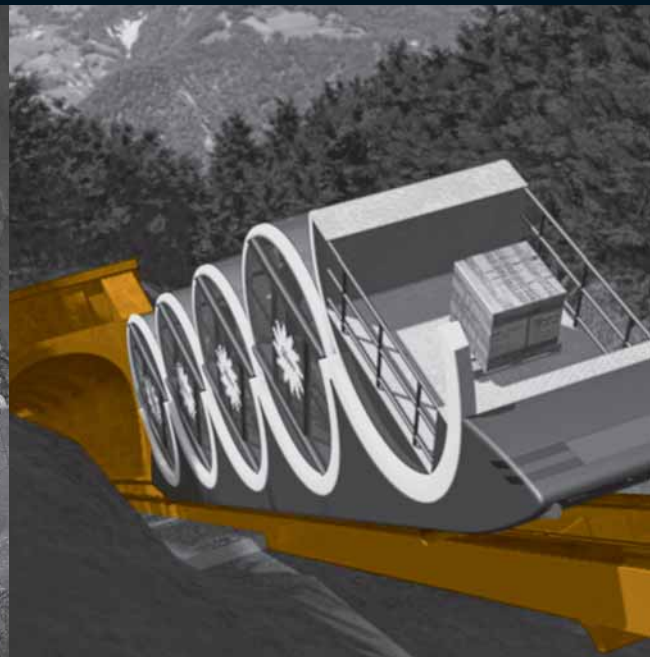


Implenia® Die Weltrekordhalter!



Der längste Tunnel der Welt. – Der Gotthard-Basistunnel hält mit 57 km Länge und 2500 m Überlagerung gleich zwei Weltrekorde.

Implenia denkt und baut fürs Leben. Gern.



Die steilste Standseilbahn der Welt. – Die neue Standseilbahn Schwyz-Stoos setzt mit 110% Steigungswinkel neue Massstäbe.

www.implenia.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



Pumpspeicherwerk Limmern, Trafokaverne

Ingenieurskunst – unsere Leidenschaft

Gesamtlösungen für Energie,
Infrastruktur und Umwelt.

Wir sind Spezialisten in den Bereichen Kraftwerk-,
Untertag-, Verkehrswegebau, Tief- und Hochbau
sowie bei Ausrüstungen von Infrastrukturbauten.

Beratung, Studien, Projektierung, Bau- und
Montageleitung, Expertisen und Projektmanagement.

IM Engineering | **IUB** Engineering

IM Maggia Engineering AG · via Stefano Franscini 5 · CH-6600 Locarno
Tel. +41 91 756 68 11 · info@im-maggia.ch · www.im-maggia.ch

IUB Engineering AG · Belpstrasse 48 · CH-3007 Bern
Tel. +41 31 357 11 11 · info@iub-ag.ch · www.iub-ag.ch

Von Natur aus nachhaltig.*

*z.B. mit modernster Bahnlogistik, die 4'900 Tonnen CO₂ pro Jahr einspart.



js jura cement

Jura-Cement-Fabriken AG Talstrasse 13 CH-5103 Wildegg Fon 062 88 77 666 info@juracement.ch www.juracement.ch
Juracime SA Fabrique de ciment CH-2087 Cornaux Fon 032 758 02 02 info@juracime.ch www.juracime.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



To complete your (w)hole.



The Mapei UTT line: Reliable technology for underground construction

- Alkali-free set accelerators for shotcrete.
- Products for mechanized tunneling:
foaming agents for soil conditioning, polymers, sealants, lubricants.
- Products for grouting and consolidation.
- Products for concrete repairing, protection and coating.
- Products for waterproofing:
synthetic waterproofing membranes, waterproofing accessories.

HEADQUARTERS
MAPEI S.p.A.
Via Cafiero, 22
IT-20158 Milano


MAPEI IN SWITZERLAND
MAPEI SUISSE SA
Route Principale 127
CH-1642 Sorens



T +3902 376 731
F +3902 376 732 14
E utt.mapei@mapei.it
W www.mapei.com
W www.utt-mapei.com

T +4126 915 9000
F +4126 915 9003
E info@mapei.ch
W www.mapei.ch
W www.utt-mapei.ch



Marti Bauunternehmungen



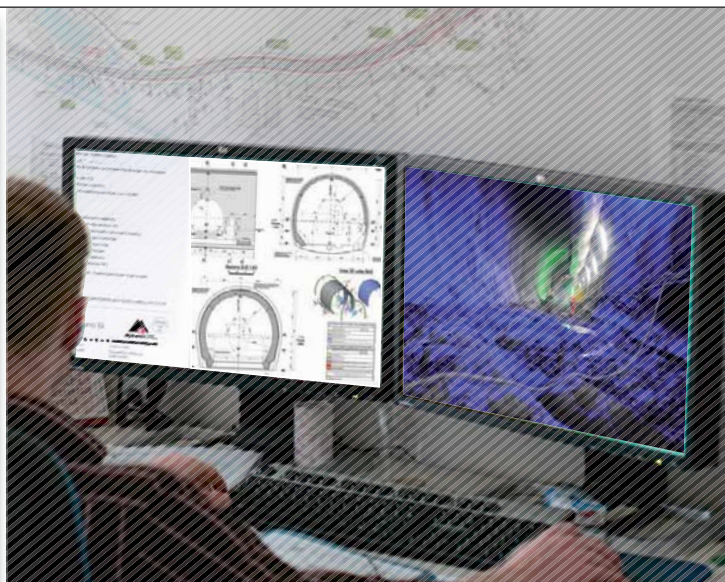



Marti builds

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

AlpTransit
Ceneri-
Basistunnel
15,5 km
2010-2019



pini associati ingegneri

Machbarkeitsstudien
Gesamtplanung
Ausschreibungen und
Werkverträge
Ausführungsplanung
Bauleitung

pini associati ingegneri
Via Besso 7
CH-6900 Lugano
T +41 91 961 24 00
www.piniassociati.com

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.



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

Das ruwatec®-System:

Designsoftware, Planungshilfen und massgeschneiderte Spezialmatten sind eine unschlagbare Kombination!



RUWA
Drahtschweisswerk AG
Burghof
3454 Sumiswald

Tel. 034 432 35 35
info@ruwa-ag.ch
www.ruwa-ag.ch

Zum Beispiel beim Objekt Wohnüberbauung «Residenz im Park», Winterthur, realisiert durch Pfeiffer Bauingenieure AG und L+B Bauunternehmung AG, beide in Winterthur.

Das Haus West wurde in einer, das Haus Ost in zwei Etappen ausgeführt. Total waren 130 dreiecksförmige Balkone in neun verschiedenen Ausführungen zu erstellen. Die Vorteile des ruwatec®-Systems im vorliegenden Objekt sind:

- Wenige bis keine Bewehrungsstösse
- Werkseitige Anpassungen, z.B. auch an schiefwinklige Deckenstirnen
- Ganze Bewehrung in wenigen Einzelpositionen
- Dadurch stark reduzierte Verlegezeiten

Dank RUWA und unserer sprichwörtlichen Qualität aus dem Emmental kann Ihr Bauwerk **schneller, günstiger** und mit **höherer Qualität** erstellt werden.

**RUWA –
Wir geben dem Beton den Halt.**



fischer Injektions-System FIS EM

- Spart Zeit und Geld dank reduzierter Verankerungstiefe
- Höchste Sicherheit dank ETA-Zulassungen
- Lange Verarbeitungszeit erleichtert Serienmontagen
- Anwendbar im gerissenen und ungerissenen Beton



fischer 
innovative solutions

Mit Sicherheit richtig befestigt:

Flexible und zugzonentaugliche Verankerungen mit fischer FIS EM

SFS unimarket AG
Befestigungstechnik
Blegi 14
6343 Rotkreuz
T 0848 80 40 30
F 0848 80 40 15
anwendungstechnik@sfsunimarket.biz
www.sfsunimarket.biz

SFS unimarket



Sika – der verlässliche Partner im Tunnelbau

■ Neubau | Instandsetzung | Unterhalt



Innovation & Consistency since 1910

www.sika.ch



DYNAMIK AUF GUTEM FUNDAMENT

Der Tunnelbau erfordert besonderes Fachwissen und Können. Die Mitarbeiter der STRABAG AG verfügen über das dazu notwendige Know-how. Unser Leistungsspektrum reicht vom konventionellen Tunnel- und Stollenbau über den mechanischen Vortrieb bis hin zu Schrägschächten. Durch die stetig wachsende Erfahrung trägt STRABAG massgeblich zur Weiterentwicklung und Verbesserung bestehender Verfahren bei. Unseren Kunden können wir so wirtschaftlich und technisch optimierte Lösungen anbieten.

STRABAG AG, Bifang 4, 6472 Erstfeld
Tel. +41 41 882 11 11, Fax +41 41 882 11 10
tunnelbau-schweiz@strabag.com

STRABAG

ALL-IN-ONE Lösung



ARGE TRANSCO - Sedrun



Implenia Bau AG



Frutiger AG



Bilfinger Berger
Ingenieurbau GmbH



Pizzarotti S.p.A.



Der kompetente Partner für die Bahntechnik

transtec  **gotthard**

ALPIQ

Alcatel-Lucent
THALES

Balfour Beatty
Rail



Bahntechnik Gotthard-Basistunnel

**SUCCESSFUL PRODUCTS
FOR TRACK SYSTEMS**


vigier rail
SOLUTIONS OUT OF PASSION


vigier ciment
SOLUTIONS OUT OF PASSION

www.vigier-rail.ch
www.vigier-ciment.ch

© BLS Netz AG



Walo Bertschinger - Ihr Partner für alle Bauwerke.

Umfahrung Biel Ostast

Walo Bertschinger AG
 Untertagbau
 Postfach 1155, CH-8021 Zürich
 Telefon +41 44 745 23 11
 Telefax +41 44 740 31 40
 untertagbau@walo.ch
 www.walo.ch



Notbeleuchtung für den längsten Tunnel der Welt:

woertz

Ein innovatives, hochwertiges System, das besser nie zur Anwendung kommt!

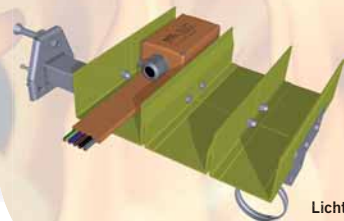
Ein Schweizer System für ein grossartiges Schweizer Projekt

Brandsicherheitskabel

- Spezialkonstruktion mit Hochtemperaturbeständiger, keramisierender Isolation, die sogar bei Isolationsfehler keinen Kurzschluss erzeugt (Patent Woertz)

Anschlussdosen

- Hochtemperaturbeständig, Metalle und Keramik
- Gehäuse IP 68, spritzwasserfest mit halogenfreiem/raucharmem Kunststoffgehäuse
- Kontakte gesichert bis zu den Temperaturen, wo die Metalle schmelzen
- Kabel muss nicht getrennt werden (Patent Woertz).



Licht für den Notfall, auch wenn der Strom dazu über Brand bis zu 1000 °C geführt werden muss.



Anwendung: Notbeleuchtung, Querstellen Gotthard-Basistunnel

Kabelführungskanal

- Sichere, mechanische Halterung bis 1300 °C, ohne leitfähige Metallteile
- Kein Kurzschlussrisiko sogar bei blanken Adern
- Leichtbau ermöglicht grösseren Konsolenabstand (Patent Woertz).

Haltekonsolen

- Korrosionsbeständige Speziallegierung, gute Temperaturbeständigkeit
- Einfache und sichere Befestigung, sogar bei sehr unebenen Tunnelwänden (Patent Woertz).

Erfahren Sie mehr unter www.woertz.ch, Woertz Handels AG, Hofackerstrasse 47, Postfach 948, CH-4132 Muttenz