

## Verkehrstunnelbauten für Olympische Winterspiele 2014 in Sochi / RU

Sochi wird Austragungsort der Olympischen Winterspiele 2014 sein. Der vorliegende Beitrag wurde am Swiss Tunnel Congress 2011 in Luzern/CH vorgetragen und beinhaltet eine Projektübersicht der neuen Verkehrsverbindung zwischen dem Olympischen Dorf am Schwarzen Meer und der Wintersportregion im Kaukasus. Im Weiteren wird auf die in Sochi gängigen Vortriebs- und Ausbaumethoden eingegangen und deren Besonderheiten erläutert.

### 1 Einleitung

Austragungsort der Olympischen Winterspiele 2014 wird die russische Stadt Sochi sein. Die Region Sochi erstreckt sich über 145 km an der nord-östlichen Küste des Schwarzen Meeres am Fuß des Kaukasus. Die Stadt ist mit ihrem subtropischen Klima einer der beliebtesten Bade- und Kurorte Russlands. In den Gebirgslagen mit deutlich niedrigeren Winter-

**Bruno Röthlisberger**, Dipl. Bauing., FH STV, Amberg Engineering AG, Sargans / CH  
**Johannes Gollegger**, Dipl. Bauing., Amberg Engineering AG, Regensdorf / CH  
**Gerd Wieland**, Dipl. Bauing., Amberg Engineering AG, Regensdorf / CH

temperaturen wird ein Großteil der Olympischen Skiwettkämpfe, u.a. die alpinen Skiwettbewerbe, das Skispringen und die Biathlonwettbewerbe ausgetragen. Nach den Olympischen Winterspielen wird Sochi 2014 auch Gastgeber des Russland Grand Prix der Formel 1 und

## Transport-infrastructure Tunnels for the 2014 Winter Olympics in Sochi / RU

Sochi is the venue for the 2014 Winter Olympic Games. This article was a paper of the Swiss Tunnel Conference 2011 in Lucerne/CH and includes a project overview of the new transport link between the Olympic Village on the Black Sea coast and the winter-sports region in the Caucasus mountains. The article concludes with an examination of the tunnelling and support methods customary in Sochi, and their special features.

### 1 Introduction

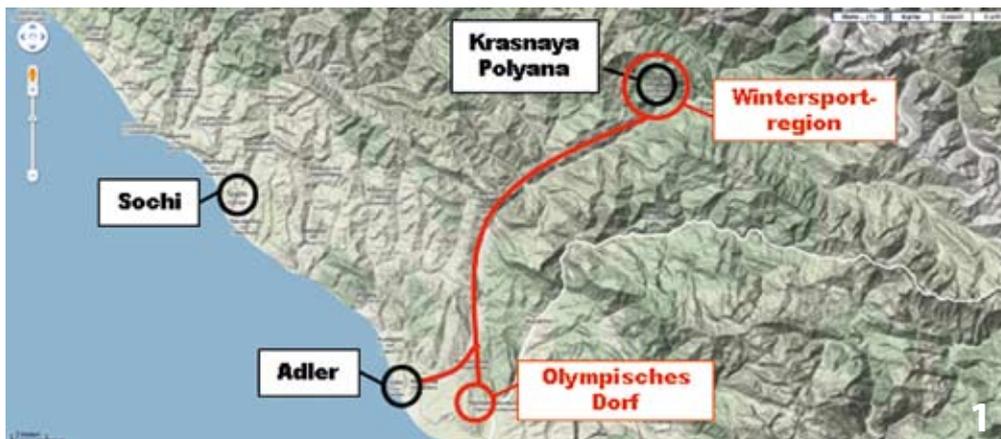
The Russian city of Sochi is the venue selected for the Winter Olympics in 2014. The region extends for 145 km along the north-east coast of the Black Sea, at the foot of the Caucasus mountains. Sochi, with its subtropical climate, is one of Russia's

most popular sea and spa resorts. A major portion of the Olympic skiing events, including the Alpine skiing, ski-jumping and biathlon, are to be held in the mountains above the town, with their significantly lower winter temperatures. When the Winter Olympics close, Sochi is to be the host for the 2014 Russian Formula 1 Grand Prix, and one of the venues for the FIFA World Cup in 2018.

Not only the sports and athletics facilities, hotels, energy infrastructure, etc., but also the road and rail systems are being upgraded throughout the region around Sochi, by way of preparation for the 2014 Winter Olympics.

In addition to some 37 km of overpasses and bridges, more than 29 km of new tunnels are under construction between the town of Adler and the Krasnaya Polyana winter-sports region some 50 km distant in the Caucasus mountains (Figure 1).

Projektübersicht  
Project overview



2018 Austragungsort der Fußballweltmeisterschaft sein.

In der gesamten Region um Sochi werden im Rahmen der Vorbereitungen für die Olympischen Winterspiele 2014 neben den Sportstätten, den Hotels, der Energieversorgung usw. auch das Straßen- und Eisenbahnnetz ausgebaut.

Zwischen der Stadt Adler und der ca. 50 km entfernt liegenden Wintersportregion Krasnaya Polyana im Kaukasus werden neben rd. 37 km Überführungen und Brücken auch mehr als 29 km Tunnel neu gebaut (Bild 1). Die Strecke umfasst insgesamt 6 Tunnelbauplexe (Tabelle 1). Mit der neu errichteten Infrastruktur werden möglichst kurze und leistungsfähige Anfahrtswege für die Besucher der Wettkämpfe geschaffen. Beginn der Bauarbeiten war im Juni 2008, die Fertigstellung ist für April 2013 geplant.

Der Bauherr der gesamten Infrastruktur in und um Sochi ist DKRS, eine Tochtergesellschaft der Russischen Staatsbahn (RZhD). Mit dem Bau der neuen Infrastrukturanlagen zwischen Sochi und Krasnaya Polyana sind ausschließlich russische Unternehmen beschäftigt. Auch Geologen und Designer stammen zum größten Teil aus russischen Unternehmen.

## 2 Geologische Verhältnisse

Der grundsätzliche geologische Aufbau der Region wurde durch mehrere Kartierungskampagnen im letzten Jahrhundert ermittelt und in einer geologischen Übersichtskarte 1:200.000 zusammengefasst. Aufgrund des großen Zeitdruckes der Projektfertigstellung

	Eisenbahn-Tunnel [m]	Straßen-Tunnel [m]	Service-Tunnel [m]	Gesamtlänge [m]
Tunnelkomplex T1	2459	2292	2459	7210
Tunnel T2	121	–	–	121
Tunnelkomplex T3	4554	3169	3197/2530	13450
Tunnel T4	449	–	–	449
Tunnelkomplex T5	2842	1345	2842	7029
Tunnel T6	407	–	–	407

Tabelle 1: Übersicht der 6 Tunnelkomplexe

	Rail tunnels [m]	Road tunnels [m]	Service tunnels [m]	Total length [m]
Tunnel Complex T1	2459	2292	2459	7210
Tunnel T2	121	–	–	121
Tunnel Complex T3	4554	3169	3197/2530	13450
Tunnel T4	449	–	–	449
Tunnel Complex T5	2842	1345	2842	7029
Tunnel T6	407	–	–	407

Table 1: Overview of the 6 tunnel complexes

wurden wenig Detailerkundungen durchgeführt. Sondierbohrungen wurden ausschließlich in Portalbereichen und auch dann nur, wenn speziell ungünstige geologische Verhältnisse erwartet wurden, ausgeführt. So waren die geologisch-geotechnischen Randbedingungen bei Vortriebsstart der einzelnen Tunnel über weite Strecken praktisch unbekannt und die geologische Prognose änderte sich mehrmals.

Das Projektgebiet liegt im südwestlichen Bereich des zentralkaukasischen Gebirges und ist durch ein Mittelgebirge mit steilen Abhängen und Schluchten charakterisiert. Die Trasse liegt im Tal des Flusses Mzymta, des größten Flusses der Region. Geologisch betrachtet handelt es sich um eine breite Zusammensetzung aus sedimentären und magmatischen Gesteinen, welche größtenteils während des Miozäns entstanden sind. Es finden sich vorwiegend Kalksteine, Mergel, Porphyre,

The route includes a total of 6 tunnel complexes (Table 1). This upgraded infrastructure will assure the shortest and most efficient possible access routes for visitors to the games. Work started in June, 2008; completion is scheduled for April, 2013.

The client for the entire infrastructure in and around Sochi is DCRC, a subsidiary of Russian Railways (RZhD). Only Russian enterprises are engaged on the construction of the new infrastructural facilities between Sochi and Krasnaya Polyana. The geologists and designers commissioned are also very largely made up of Russian companies.

## 2 Geological conditions

The basic geological structure of the region was determined by a number of cartographic campaigns during the last century, and is summarised on a 1:200,000-scale overview map. Only little detailed exploration has been performed, due to the great pressure for completion of the

project. Exploratory bore holes have been sunk only in portal zones, and then only in cases in which particularly unfavourable geological conditions were suspected. The geological and geotechnical boundary conditions were therefore practically unknown for large lengths when work started on the individual tunnels, and the geological forecast has repeatedly been revised.

The project territory is located in the south-west of the Central Caucasus range, and is of average mountain character, with steep faces and chasms. The route is located in the valley of the Mzymta River, the region's largest waterway. The geology consists of a broad selection of sedimentary and magmatic rocks, originating mainly from the Miocene. Primarily limestones, marls, porphyries, various mixtures of sandstones, mudstones and siltstones are encountered, as are fault zones exposed to tectonic pressure. In addition to severely fissured solid rock, these fault zones in some

verschiedene Zusammensetzungen aus Sand-, Ton- und Schluffsteinen sowie tektonisch beanspruchte Störzonen. Die Störzonen bestehen teilweise neben stark zerbrochenen Festgesteinen aus Kakiriten und Tonfüllungen. Der Kalkstein kann mitunter stark verkarstet sein. Diese Verkarstungen wirken als Drainage des Gebirges. Neben den Störzonen wurden vor allem die Übergänge zwischen den einzelnen Gesteinsformationen als problematisch eingestuft. In stark geklüfteten Zonen wurden Spitzenwasserzuflüsse von bis 800 l/s prognostiziert. Tatsächlich traten bisher Wasserzutritte von nur wenigen l/s auf.

Die Gebirgsklassifizierung erfolgt in Russland üblicherweise mit dem Protodyakonov Strength Index (PSI) nach Prof. Protodyakonov. Dabei wird aus einer vorgegebenen Höhe ein Zylinder mit definiertem Gewicht auf Gesteinsteile bestimmter Größe fallen gelassen und danach der Zerstörungsgrad der Gesteinsteile ermittelt. Die Charakterisierung des Gebirges erfolgt je nach Härte in einer Skala von  $< 0,9$  (wenig festes Lockermaterial) bis  $> 19$  (sehr hartes Festgestein). Als Näherung kann zwischen PSI und UCS (Uniaxial Compressive Strength) ein Verhältnis von 1:10 angenommen werden.

### 3 Der Auftrag

Amberg Engineering AG (AE) ist in Sochi als Bauherrenberater für die Russische Staatsbahn in tunnelbautechnischen Fragen tätig. Der Beratungsauftrag beschränkt sich zum Großteil auf die technisch anspruchsvolleren Tunnelkomplexe T1, T3 und T5. Hierbei wiederum wird das Augenmerk primär

auf den Tunnelkomplex T3 gelegt, welcher der längste der 6 Tunnelkomplexe ist, die schwierigsten geologischen Verhältnisse aufweist und sich deshalb auf dem zeitkritischen Weg befindet.

Ein Teil des Beratungsauftrags ist ein baubegleitendes Risikomanagement. Die größten Risiken ergaben sich in Kombination mit der Bauzeit. Es bestand das Risiko einer nicht zeitgerechten Fertigstellung der Tunnel. Damit würde die gesamte Infrastruktur nicht rechtzeitig zu den Olympischen Spielen 2014 fertig werden. Verschiedene Maßnahmen zur Risikominimierung wurden ausgearbeitet und dem Bauherrn zur Umsetzung vorgeschlagen. Die laufende Evaluierung der Risiken und deren Entwicklung durch die Berücksichtigung der aus den Vortrieben gewonnenen Erkenntnisse werden mehrmals jährlich dem Bauherrn sowie dem IOC (International Olympic Committee) präsentiert.

Darüber hinaus wurden von AE mehrere spezielle Expertisen zu verschiedenen Themen wie TBM-Vergleiche, Optimierung der Vortriebe, technische Reviews usw. erarbeitet. Für die Beurteilung und Erarbeitung von Lösungen im Zusammenhang mit dem Rutschhang im Portalbereich des Tunnelkomplexes 3 wurde vom Bauherrn eine Task Force unter Beteiligung von AE und weiteren internationalen Experten (B. Falconnat, H. J. Ziegler, F. Amberg und B. Röthlisberger) bestellt. Zusätzlich wurde ein Tunnelexperte vor Ort gestellt. Dieser informiert den Bauherrn täglich über die Vorkommnisse auf den Baustellen, erarbeitet Problemlösungen und optimiert Vorgänge.

cases also feature cataclastic rock and clayey inclusions. The limestone is occasionally severely karstified; these karstifications drain the range. Not only the fault zones, but also the transitions between the individual geological formations, in particular, are considered problematical. Peak water influxes of up to 800 l/s have been forecast in severely fissured zones; up to now, only water inflows of a few l/s have actually been encountered.

Rock-mechanical classification in Russia is normally performed using Prof. Protodyakonov's Strength Index (PSI). Here, a cylinder of defined weight is dropped from a specified height on to rock samples of a specified size, and the degree of disintegration of the rock quantified. Characterisation of the rock is, depending on hardness, on a scale from  $< 0.9$  (lower strength non-cohesive material) up to  $> 19$  (extremely hard solid rock). A ratio of 1:10 can be assumed between PSI and UCS (Uniaxial Compressive Strength) by way of approximation.

### 3 The assignment

Amberg Engineering AG (AE) is deployed in Sochi as Russian Railways' consultant and advisor on tunnel-engineering matters. The consulting brief is largely restricted to the technically demanding Tunnel Complexes T1, T3 and T5. Prime attention here again focuses on Tunnel Complex T3, the longest of the 6 complexes, with the most difficult geological conditions and therefore located on the critical completion-time path.

The assignment includes project-supporting risk management. The greatest risks are associated with the completion time; there was a risk of

late completion of the tunnels. This would mean that the entire infrastructure would not be ready in time for the 2014 Winter Olympics. Various provisions for minimisation of risk were drafted and proposed to the client for implementation. Ongoing evaluation of the risks and their trends, on the basis of the perceptions gained from tunnelling operations, are presented to the client and to the International Olympic Committee (IOC) several times each year.

AE has, in addition, also drafted several special appraisals on a number of topics, including comparative evaluations of various TBMs, optimisation of tunnelling operations, technical reviews, etc. The client appointed a task force, consisting of AE and other international experts (B. Falconnat, H. J. Ziegler, F. Amberg and B. Röthlisberger) for the assessment of and finding of solutions for the unstable slope at the portal of Tunnel Complex 3. A tunnel expert has also been deployed to the site, and reports to the client on occurrences on the site on a daily basis, also proposing solutions to problems, and optimising procedures.

The necessary activities in Sochi have extended to wide-ranging areas over the past 2 years. Three particular challenges presented by Tunnel Complex 3 are examined in more detail below.

## 4 The special challenges of Tunnel Complex 3

### 4.1 Unstable slope at the north portal

The team joined the project at an already advanced stage, when the routes of the railway and the motorway had already been finalised. Preparatory work on the pilot cuts at the south por-

# Perspektiven unter Tag

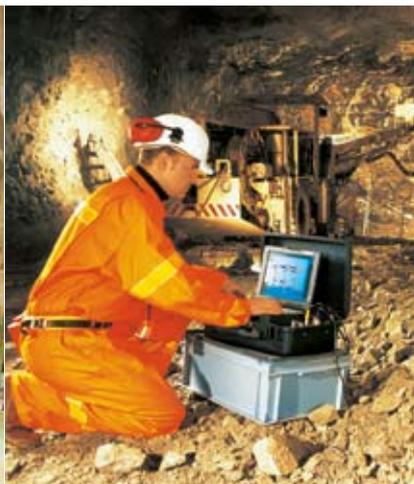
Die Amberg Gruppe: Einmalige Kompetenz im Untertagebau



**Amberg Engineering AG**  
Umfassende Ingenieurkompetenz  
im Untertagebau



Amberg Engineering AG  
Trockenloostrasse 21  
CH-8105 Regensdorf  
Telefon +41 44 870 91 11  
Telefax +41 44 870 06 20  
info@amberg.ch  
www.amberg.ch



**Amberg Technologies AG**  
Spitzentechnologie in der Mess-  
technik für den Untertagebau:  
Vorauserkundung, Bauwerks-  
überwachung, Vermessung



Amberg Technologies AG  
Trockenloostrasse 21  
CH-8105 Regensdorf  
Telefon +41 44 870 92 22  
Telefax +41 44 870 06 18  
info@amberg.ch  
www.amberg.ch



**VersuchsStollen Hagerbach AG**  
Forschungs- und Ausbildungs-  
kompetenz / Baustoffprüflabore  
/ Versuchsstollen-Anlage



VersuchsStollen Hagerbach AG  
Polistrasse 1  
CH-8893 Flums Hochwiese  
Telefon +41 81 734 14 14  
Telefax +41 81 734 14 05  
info@hagerbach.ch  
www.hagerbach.ch

Die Tätigkeiten erstreckten sich in den letzten 2 Jahren auf umfangreiche Gebiete in Sochi. Im Folgenden werden 3 besondere Herausforderungen des Tunnelkomplexes 3 näher beschrieben.

den. Gemäß Projekt lagen die Portale mitten im Rutschhang. Daher wurde diese Situation im Rahmen des Risikomanagements mit einem entsprechend hohen Risiko bewertet. Zudem hätte ein Schaden an der

tal had already started in early 2009. AE identified a potentially unstable slope near the north portal during a visit to the project site. Morphologically, several slip wedges were apparent on this slope. Trees with bowed

model. Exploratory bore holes disclosed a complex system of diverse slip planes and multiple groundwater tables. The unstable slope has an estimated volume of some 5 million m<sup>3</sup> and consists of large boulders embedded in a matrix of marl and clay.

The designers were instructed to revise their planning, taking account of these discoveries. In early 2010, they submitted a concept which included stabilisation of this slope. Several rows of slurry walls, to be anchored in the stable substrate, were planned for stabilisation of slope movements around the portals. A drainage tunnel below the slope, and a number of wells, which were intended to relieve the slope of destabilising flow forces, were planned for drainage of this slope.

This concept was examined and evaluated by the task force. The effectiveness of the drainage concept was found to be questionable, due to the poor permeability of the densely cohesive slope soil. It also appeared extremely doubtful whether the planned slurry walls would be able to stabilise a slope of around 5 million m<sup>3</sup>. No geotechnical data which would have permitted more accurate assessment of the situation were available; it was still not known what parts of the slope were moving, and to what depth and at what speed. In view of these circumstances, the risk involved in the concept submitted by the designer, particularly with respect to the operational safety and reliability of this infrastructural system during the games, was classified as "high". A diversion of the route, avoiding the slip-endangered slope, was proposed by the task force, in order to minimise the risk; the client accepted the opinion of the task



Bäume mit Säbelwuchs (links) und ursprünglich geplanter Portalbereich (rechts)  
Trees with bowed trunks (left) and the portal zone as originally planned (right)

## 4 Besondere Herausforderungen am Tunnelkomplex 3

### 4.1 Rutschhang im Bereich des Nordportals

Der Projekteinstieg erfolgte in einem fortgeschrittenen Projektstadium, in dem die Trassenführung der Eisenbahn und der Autobahn bereits fixiert war. Anfang 2009 liefen beim Tunnelkomplex 3 bereits die Vorbereitungsarbeiten für die Einschnitte im Bereich des Südportals. Im Rahmen einer Begehung des Projektgebietes wurde von AE im Bereich des Nordportals ein möglicher Rutschhang identifiziert. Im Hang waren morphologisch mehrere Gleitschollen erkennbar. Bäume mit Säbelwuchs sowie mehrere Abrissstellen im Gelände deuteten auf Bewegungen des Hanges hin (Bild 2). Obwohl es kein Monitoring gab, musste von einem aktiven Rutschhang ausgegangen wer-

Tunnelanlage direkte Auswirkungen auf die Fertigstellung einer Hauptinfrastrukturanlage der Olympischen Spiele 2014. Die Größe dieses Risikos wurde dem Bauherrn im Rahmen des Risikomanagements erläutert. Aufgrund der brisanten Lage entschloss sich der Bauherr, die in Kapitel 3 erwähnte Task Force ins Leben zu rufen. Im Bereich des Rutschhanges wurden vertiefte geologische und hydrogeologische Erkundungen durchgeführt, damit ein detailliertes Baugrundmodell angefertigt werden konnte. Bei den Erkundungsbohrungen wurde ein komplexes System aus verschiedenen Gleitflächen und mehreren Grundwasserspiegeln angetroffen. Es handelt sich um einen Rutschhang mit einem geschätzten Volumen von 5 Mio. m<sup>3</sup>. Der Hang besteht aus großen Blöcken, die in einer Mergel-Ton-Matrix eingebettet sind.

trunks, and a number of fissures in the terrain, were indicative of movement of the slope (Figure 2). It was necessary, despite the absence of any monitoring, to assume an active slip-endangered slope. The original project planning positioned the portals in the central area of this slope; the risk management therefore assigned a correspondingly high risk rating to this situation. In addition, damage to the tunnel system would have had direct implications for the completion of one of the main infrastructural features for the 2014 Winter Olympics. The magnitude of this risk was explained to the client in the context of risk management. This critical situation led to the client creating the task force mentioned in Section 3 above. More extensive geological and hydrogeological surveys were performed on and around this slope, in order to permit the making of a detailed site-ground

Die Designer wurden beauftragt, ihre Planung unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse zu überarbeiten. Sie legten Anfang 2010 ein Konzept vor, das eine Stabilisierung des Rutschhanges vorsah. Zur Stabilisierung der Hangbewegungen um den Portalbereich wurden mehrere Reihen von Schlitzwänden geplant, die im stabilen Untergrund gegründet werden sollten. Zur Hangentwässerung waren ein Drainagetunnel unter dem Rutschhang sowie mehrere Entwässerungsbrunnen vorgesehen, die den Hang von den treibenden Strömungskräften entlasten sollten.

Das vorliegende Konzept wurde von der Task Force geprüft und bewertet. Die Wirkung des Drainagekonzeptes wurde wegen der geringen Durchlässigkeiten des bindigen Hangmaterials infrage gestellt. Zudem schien es äußerst fragwürdig, ob die geplanten Schlitzwände den Rutschhang von rd. 5 Mio. m<sup>3</sup> ins Gleichgewicht bringen könnten. Es lagen auch keine Ergebnisse von geotechnischen Messungen vor, die eine genauere Beurteilung der Situation zugelassen hätten. Es war nach wie vor nicht bekannt, welche Teile des Rutschhanges in Bewegung waren oder wie tief und mit welcher Geschwindigkeit sich der Hang bewegte. Aufgrund der oben genannten Fakten wurde das Risiko des vom Designer vorgelegten Konzeptes, speziell im Hinblick auf die Betriebssicherheit der Infrastrukturanlage während der Olympischen Spiele, als hoch eingestuft. Um das Risiko zu minimieren, wurde

force. It was necessary to define the new route and revise the existing planning within only a few weeks, since tunnelling operations had, in some cases, already started at the south portal. This was achieved only thanks to close co-operation between the designer, the contractor and the task force. A number of variants were drafted, analysed and assessed, the main assessment criterion for these variants being completion time, since the project was already well behind schedule.

In the variant ultimately implemented, this unstable slope is avoided by the road tunnel on the downhill side, and by the service and rail tunnels on the uphill side (Figure 3). The road tunnel will be 860 m shorter, and the rail tunnel 490 m longer, than originally planned, as a result. The re-planned portal of the motorway tunnel is located in an inaccessible valley at the centre of a vertical rock face and can therefore be accessed only by means of an inclined rope bridge. The revised portal of the rail tunnel, including the service tunnel, emerges from the rock slightly to the north of the unstable slope. The action taken reduced the original risk significantly (Figure 4).

## 4.2 Tunnelling methods

### 4.2.1 Conventional tunnelling

In the conventional Russian tunnelling method, excavation is performed using road-headers, excavators or by means of blasting, depending on rock strength, road-headers being preferred wherever possible. After excavation, an I-beam is positioned, and the space between the last arch and that newly positioned is shuttered



dewatering  
groundwater control  
water treatment  
online monitoring  
well drilling

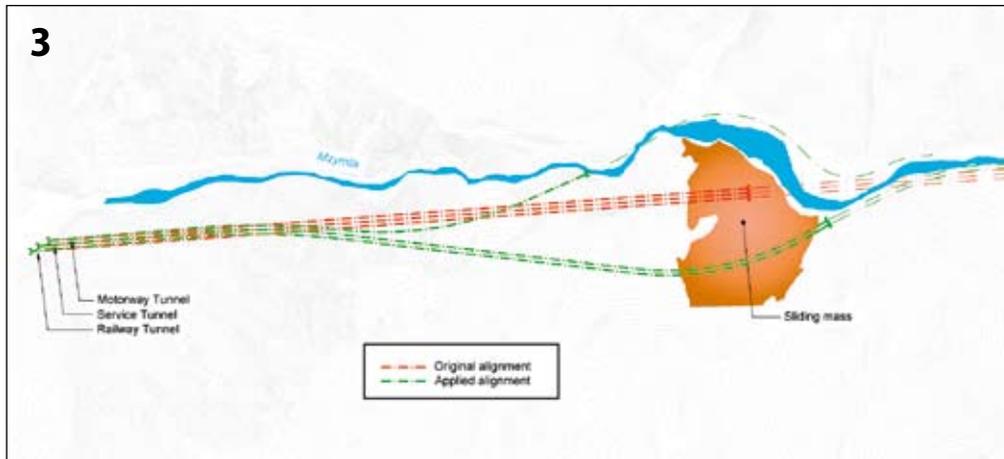
we make it work



info@hw-dewatering.com  
www.hw-dewatering.com

Hölscher Wasserbau GmbH  
Haren, Germany

Branch offices in:  
Austria · Bulgaria · Denmark · Latvia · UAE  
Romania · The Netherlands · United Kingdom



Darstellung des Trassenverlaufs vor und nach der Umplanung

The route prior to and after revision

von der Task Force eine Umtrasierung empfohlen und eine Umfahrung des Rutschhanges vorgeschlagen. Der Bauherr schloß sich der Meinung der Task Force an. Die neue Trassenfindung sowie die Überarbeitung der bestehenden Planung mussten innerhalb weniger Wochen abgewickelt werden, da die Vortriebe beim Südportal z.T. schon begonnen hatten. Dies war nur durch eine enge Zusammenarbeit des Designers mit der Unternehmung und der Task Force möglich. Es wurden mehrere Varianten erarbeitet, analysiert und beurteilt. Das Hauptkriterium für die Bewertung der verschiedenen Varianten war die Bauzeit, da der Baufortschritt bereits einen erheblichen Rückstand zum geplanten Bauzeitplan aufwies.

Bei der schlussendlich umgesetzten Variante wird der Rutschhang mit dem Straßentunnel talseits und mit dem Service- und dem Eisenbahntunnel bergseits umfahren (Bild 3). Das bedeutet, der Straßentunnel wird um 860 m kürzer und der Eisenbahntunnel wird um 490 m länger als ursprünglich vorgesehen. Das neue geplante Portal des Autobahn-

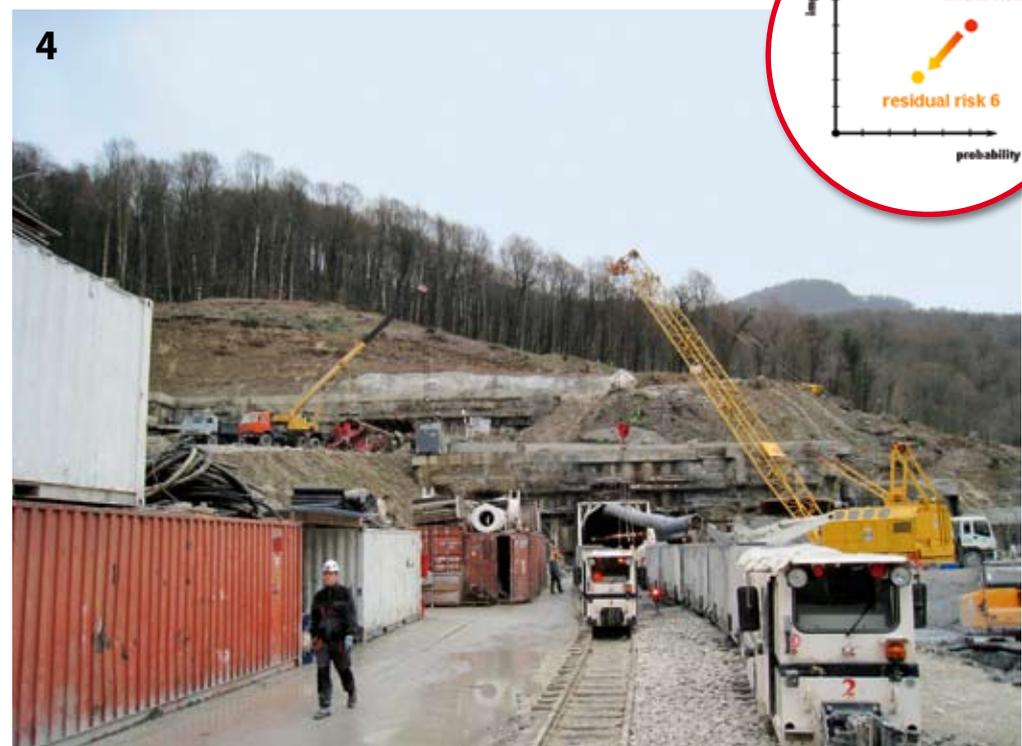
tunnels befindet sich in einem unzugänglichen Tal inmitten einer senkrechten Felswand und muss daher durch eine Schrägseilbrücke erschlossen werden. Das neue geplante Portal des Eisenbahntunnels inkl. Servicetunnel tritt leicht nördlich des Rutschhanges aus dem Berg. Durch die getroffenen Maßnahmen konnte

by means of wooden boards or formwork panels. The formwork panels are braced by means of wedging against steel or wooden sections, which are inserted into the mountings welded to the tunnel arches (Figure 5). The cavity between the arches is filled with in-situ concrete via concreting windows. Re-injection is also possible via an

opening in the roof, if necessary. Only one type of rock-fall protection, which is not modified on site, is generally provided on this project for all geological and geotechnical sectors.

The rock-fall protection installed achieves a relatively high support resistance. This procedure offers very little flexibility for optimisation of the rock-fall protection systems to meet the changing conditions encountered, however. Installation of this manual type is, in addition, extremely time-consuming.

The procedure for selection of rock-fall protection systems for conventional tunnelling customary in Switzerland, inter alia, was recommended to the client and the contractor in order to accelerate tunnelling and make good the delays vis-à-vis the completion schedule. Here,



Nordportalbereich Eisenbahn- und Servicetunnel inklusive Risikobeurteilung

The north portal zone of the rail and service tunnels, including risk assessment



Ausbruchsicherung nach Russischer Methode und Detail mit Ortbeton und ausgesteifter Schalung (rechts)  
The Russian method of rock-fall protection, showing a detail of in-situ concreting and braced formwork (right)

das Ursprungsrisiko deutlich gesenkt werden (Bild 4).

#### 4.2 Vortriebsmethoden

##### 4.2.1 Konventioneller Vortrieb

Beim konventionellen Tunnelvortrieb nach russischer Methode erfolgt der Ausbruch je nach Gebirgsfestigkeit mit Roadheader, Bagger oder durch Sprengen, wobei nach Möglichkeit ein Roadheader eingesetzt wird. Nach dem Ausbruch wird ein I-Profil gestellt und der Raum zwischen dem letzten Bogen und dem neu gestellten mittels Holzbrettern oder Schaltafeln zugeschalt. Die Aussteifung der Schaltafeln erfolgt durch Auskeilen an Stahl- oder Holzprofilen, welche in die an die Tunnelbögen angeschweißten Halterungen eingelegt werden (Bild 5). Über Betonieröffnungen wird der Hohlraum zwischen den beiden Bögen mit Ortbeton verfüllt. Je nach Erfordernis kann über eine Firstöffnung nachinjiziert werden. Für jeden geologisch-geotechnischen Abschnitt ist im Projekt meist nur ein Ausbruchsicherungstyp vorgesehen, welcher auf der Baustelle nicht mehr verändert wird.

Mit der eingebauten Ausbruchsicherung wird ein relativ großer Ausbauwiderstand erreicht. Allerdings ist diese Vorgehensweise sehr unflexibel im Hinblick auf die Optimierung der Ausbruchsicherungsmittel in Abhängigkeit von den angetroffenen Verhältnissen. Zudem ist der Einbau in dieser manuellen Ausführungsart extrem langsam.

Um den Vortrieb zu beschleunigen und die Rückstände zum Bauprogramm aufzuholen, wurde dem Bauherrn sowie dem Unternehmer die u.a. in der Schweiz gebräuchliche Vorgehensweise zur Festlegung der Ausbruchsicherungsmittel für den konventionellen Vortrieb empfohlen. Diese beinhaltet, dass mehrere Ausbruchsicherungstypen für die verschiedenen Gefährdungsbilder entworfen werden. Auf der Baustelle werden sie in Abhängigkeit von den angetroffenen Verhältnissen eingebaut. Durch Umstellung der Ausbruchsicherungsmittel auf Spritzbeton, Bewehrungsnetze und Anker könnte eine weitere Beschleunigung erreicht werden. Auch die im Projekt vorgesehene Methode

a number of rock-fall protection variants are proposed for these are then installed on site to match the conditions actually

encountered. Conversion of the rock-fall protection systems to shotcrete, reinforcement mesh and rock-bolts achieved a further acceleration. It is also not possib-

## DEVO-Tech

Apparatebau // Vakuumtechnik /// Tunnelbau //// Fertigungstechnik



### Vakuumhebetechnik

Maximale Effizienz und Sicherheit bei rationellem Einsatz. Für Sie von DEVO-Tech.

DEVO-Tech AG

Hauptstrasse 39 Tel +41 61 935 97 97 info@devo-tech.ch  
CH-4417 Ziefen Fax +41 61 935 97 99 www.devo-tech.ch



Portalbereich vor dem TBM-Start  
The portal zone prior to the TBM start

zum Lösen des Gebirges kann auf der Baustelle nicht ohne Weiteres geändert werden. Für eine Umstellung der Vortriebsmethode, beispielsweise beim Vortrieb mit Teilschnittmaschine auf Sprengvortrieb bei hartem, kompaktem Fels, muss das Projekt angepasst und genehmigt werden. Somit ist es sehr schwierig, den Vortrieb auf Baustellenebene bei guten geologischen Verhältnissen zu optimieren und damit zu beschleunigen. Eine Verifizierung des Systemverhaltens mittels geotechnischer Messungen wird trotz massiver Einwände von AE nach wie vor nicht angewendet.

Schlussendlich gelang es, in Bereichen mit kompaktem Festgestein, beispielsweise beim Nordportal des Autobahntunnels, einen reduzierten Ausbau in unterschiedlicher Zusammensetzung aus Spritzbeton, Ankern, Bewehrungsnetzen und Gitterträgern umzusetzen.

#### 4.2.2 Maschineller Vortrieb

Beim Tunnelkomplex 3 kommen 5 TBM zum Einsatz, welche in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

Unter dem Aspekt der Risikominimierung wurden von AE verschiedene Konzepte ausgearbeitet. Die nachfolgenden Beispiele zeigen einen Überblick über die ausgearbeiteten Expertisen.

Die Auswahl der TBM und deren Konfigurationen geschah bereits vor Beginn des Auftrags. Im Zuge des engen Zeitfensters mussten Entscheidungen bei der Wahl der TBM getroffen werden, obwohl die geologischen Verhältnisse nicht hinreichend genau bekannt waren. Vor dem

le without further consideration to modify on site the method envisaged in the project for excavation of the rock. It would be necessary to modify the project, and obtain approval, to permit a change in the tunnelling method used, from boom-type roadway headers, for example, to drilling and blasting in hard compact rock. It is therefore extremely difficult at site level to optimise – and thus accelerate – tunnelling in good geological conditions. Despite massive protests on the part of AE, there continues to be no verification of system performance by means of geotechnical measurements.

It ultimately proved possible in sectors with compact solid rock, at the north portal of the motorway tunnel, for example, to implement a rationalised support system consisting of various combinations of shotcrete, rock bolts, reinforcement mesh and truss beams.

#### 4.2.2 Mechanised tunnelling

Five TBMs are deployed for Tunnel Complex 3 and are summarised in Table 2.

Tunnel/Portal	Durchmesser [m]	Typ
Service/Süd	6,18	Doppel-Schild
Service/Nord	6,57	Einfach-Schild, Bohrkopf für offenen und geschlossenen Modus
Eisenbahn/Süd	10,26	Doppel-Schild
Eisenbahn/Nord	10,20	Einfach-Schild, Bohrkopf für offenen und geschlossenen Modus
Straße/Süd	13,26	Einfach-Schild

Tabelle 2: Übersicht der TBM beim Tunnelkomplex 3

Tunnel/Portal	Diameter [m]	Type
Service/South	6.18	Double shield
Service/North	6.57	Single shield, cutter head for open and closed mode
Rail/South	10.26	Double shield
Rail/North	10.20	Single shield, cutter head for open and closed mode
Road/South	13.26	Single shield

Table 2: Overview of TBMs working on Tunnel Complex 3

AE drafted various concepts for minimisation of risk. The examples below provide an overview of the studies prepared.

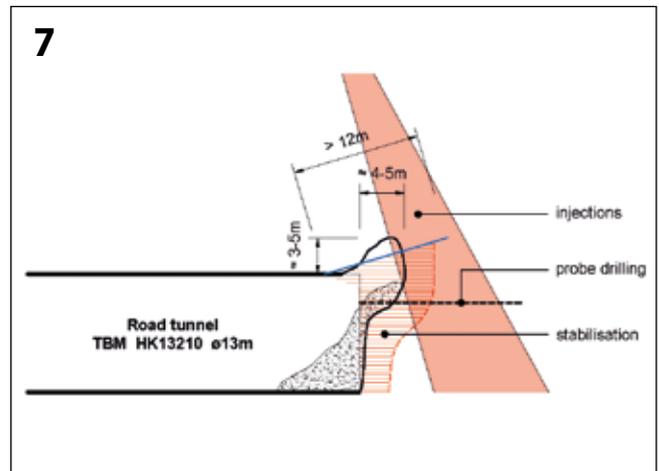
The TBMs and their configurations had been selected prior to the start of the assignment. It was necessary, within the tight time window, to make decisions concerning selection of the TBMs, despite the fact that the geological conditions were not adequately known. The pilot cut was created by means of jet-grouting and drilled piles before the Herrenknecht TBM (13,26 m cutter head diameter) started tunnelling from the south portal of the motorway tunnel. There was an elevated risk of collapse if TBM tunnelling had been started immediately, since the portal is located in the scree. In order to minimise risk, corresponding provisions were elaborated and conventional tunnelling under the protection of a pipe arch until solid rock could be reached was recommended. For completion-time reasons, only the roof zone was driven, and the bench then excavated using the TBM (Figure 6). This entailed the risk that the cutter head (weight 1.400 t including internals) might "dip" during driving of the bench in the scree material. More detailed investigations indicated that the risk of dipping was extremely slight, given adherence to certain control conditions for the TBM. This proved to be correct, and the TBM was able to excavate the bench successfully and continue on to normal tunnelling.

Immediately upon departure from the final pipe arch length, the face lost stability, and collapsed back to the pipe arch. A 3.5 m high collapse occurred above the TBM, trapping the cutter head, which had to be freed manually. The resultant

Start der Herrenknecht TBM (13,26 m Bohrkopfdurchmesser) vom Südportal des Autobahntunnels wurde der Voreinschnitt mittels Jet Grouting und Bohrpfehlen hergestellt. Da sich das Portal im Hangschutt befindet, bestand ein erhöhtes Risiko für einen Verbruch, wenn der Vortrieb sofort mit der TBM aufgenommen worden wäre. Zur Risikominimierung wurden entsprechende Maßnahmen ausgearbeitet und ein konventioneller Vortrieb im Schutz eines Rohrschirmes bis zum Festgestein empfohlen. Aus bauzeitlichen Gründen wurde nur die Kalotte aufgefahren und die Strosse mit der TBM ausgebrochen (Bild 6). Daraus ergab sich das Risiko, dass der Bohrkopf (inkl. Einbauten 1.400 t) beim Auffahren der Strosse im Hangschuttmaterial abtauchen könnte. Vertiefende Untersuchungen ergaben, dass unter Berücksichtigung gewisser Steuerungsbedingungen der TBM das Risiko des Abtauchens sehr gering war. Dies hat sich bestätigt und die TBM konnte erfolgreich die Strosse ausbre-

chen und den Regelvortrieb aufnehmen.

Unmittelbar nach Verlassen der letzten Rohrschirmetappe war die Ortsbrust nicht länger stabil und brach bis zum Rohrschirm nach. Es kam zu einem 3,5 m hohen Verbruch über dem Bohrkopf. Der Bohrkopf wurde verklemmt und musste händisch befreit werden. Der entstandene Hohlraum wurde mit Schaum verfüllt und stabilisiert. Die Situation wurde untersucht und es musste davon ausgegangen werden, dass mit einer instabilen Ortsbrust sowie mit weiteren Verbrüchen zu rechnen war, bis sich die geologischen Verhältnisse verbesserten. Es wurden verschiedene Bauhilfsmaßnahmen untersucht, welche von der TBM und von der Oberfläche aus möglich waren und zur Stabilisierung der Ortsbrust beitragen sollten. Von der TBM wurden etappenweise injizierte Rohrschirme mit einer Länge von 12 m eingebaut sowie 4 bis 5 m lange Ortsbrustinjektionen mit Schaum und Zement aus-



Verbruch Straßentunnel mit den entsprechenden Maßnahmen

Road tunnel collapse, showing the corresponding provisions

cavity was filled with foam and stabilised. The situation was investigated, and it was concluded that it would be necessary to assume an unstable face and further collapses until the geological conditions improved. Various tunnelling aids possible from the TBM and from the surface, and intended to contribute to stabilisation of the face, were examined. Grouted pipe arches of a length of 12 m were installed length-by-length from the TBM, and face injection-grouting using foam and cement performed to

lengths of 4 to 5 m. In addition, jet-grouting campaigns were implemented from the surface both above and in front of the cutter head (Figure 7).

It proved not to be possible, despite these provisions, to stabilise the face adequately. Exploratory bore holes from the TBM indicated that the fissured zone continued further to the north. For this reason, counter-tunnelling was performed from a side access tunnel in the fissured zone explored, in order to free and protect the cutter head in the



Verbruchmaterial in den Diskenkästen (links) und der freigelegte Bohrkopf (rechts)

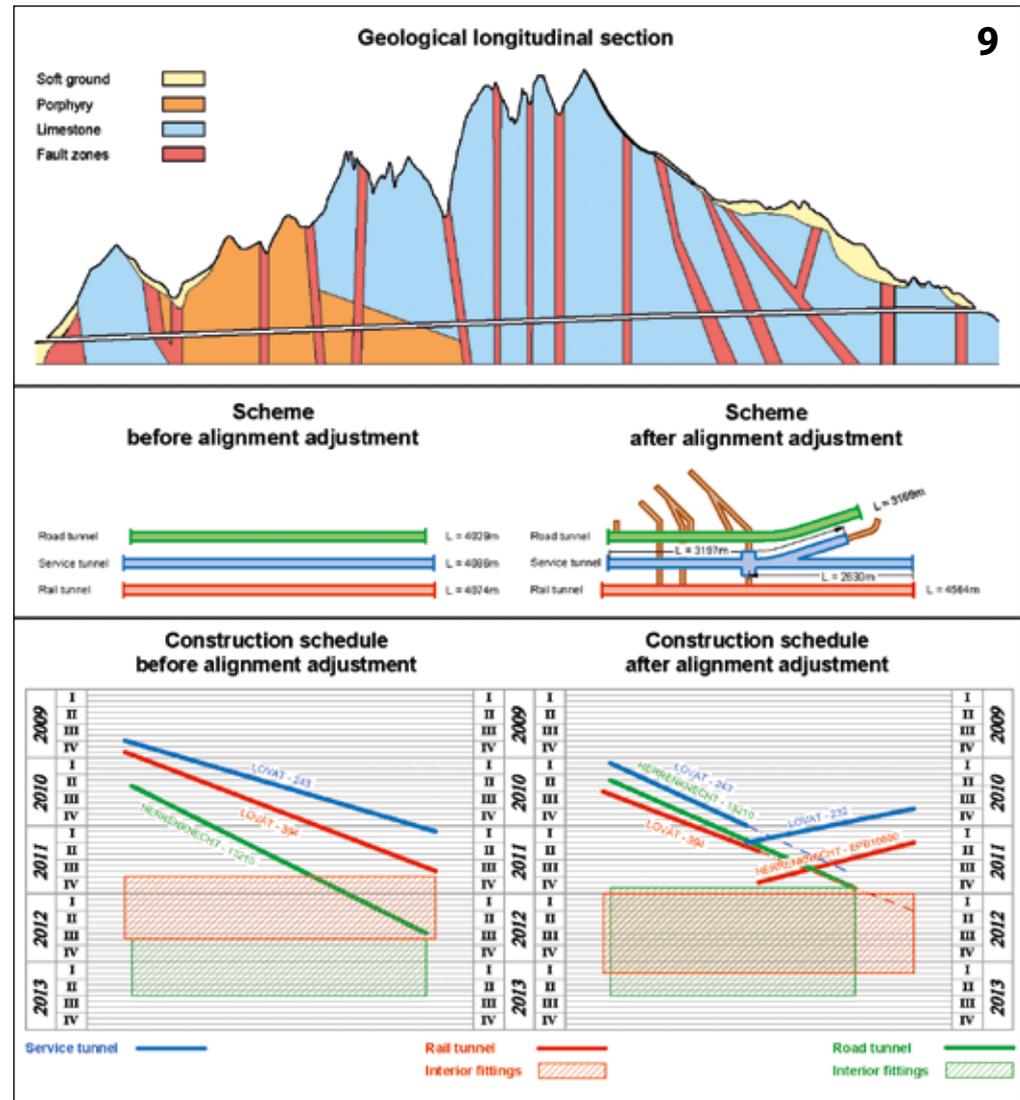
Collapsed rock in the cutter boxes (left) and the freed cutter head (right)

geführt. Zudem wurden von der Oberfläche aus sowohl oberhalb des Bohrkopfes als auch vor dem Bohrkopf Jet Grouting Kampagnen durchgeführt (Bild 7).

Trotz dieser Bauhilfsmaßnahmen konnte die Ortsbrust nicht ausreichend stabilisiert werden. Erkundungsbohrungen von der TBM aus zeigten, dass sich der geklüftete Bereich weiter nach Norden erstreckt. Aus diesem Grund wurde im erkundeten geklüfteten Bereich ein Gegenvortrieb von einem seitlichen Zugangsstollen ausgeführt, um den Bohrkopf in der Kalotte freizulegen und zu sichern (Bild 8). Zudem wurde die TBM mit stärkeren Motoren ausgerüstet und die Öffnungen im Bohrkopf z.T. geschlossen. Da dieser Vortrieb eine beträchtliche Verspätung zum Bauzeitprogramm aufwies, wurde zur Terminsicherung in den Bereichen der prognostizierten Störungen die Kalotte konventionell von seitlichen Zugangsstollen aus aufgeföhren. Diese Zugangsstollen wurden durch eine eigens angelegte Straße im unzugänglichen Gelände erschlossen.

### 4.3 Bauzeitplanung

Der Tunnelkomplex T3 war aufgrund seiner Länge von rd. 4 km in der Ursprungsvariante und der geologischen Unsicherheiten wegen von Projektbeginn an am zeitkritischsten. Durch den Rutschhang im Bereich des Nordportals und der damit verbundenen notwendigen Umplanung wurde das Problem zusätzlich verschärft. Durch die Trassenverlegung vergrößerte sich die Länge des Eisenbahntunnels auf rd. 4,5 km, während sich der Straßentunnel auf rd. 3,2 km verkürzte.



Geologischer Längenschnitt (oben), Schemaplan der Trasse (mitte) und generelles Bauprogramm (unten)

Longitudinal geological section (top), diagram of the route (centre) and general construction schedule (bottom)

Gemäß der ursprünglichen Planung sollte der Eisenbahntunnel im 3. Quartal 2011 und der Autobahntunnel im 3. Quartal 2012 fertig ausgebrochen sein. Aufgrund der neuen Trasse verschoben sich diese Termine auf Ende Dezember 2011 für den Autobahntunnel und Ende März 2012 für den Eisenbahntunnel (Bild 9). Ein planmäßiges Vortriebsende im März 2012 stellt ein hohes Risiko für eine nicht termingerechte Fertigstellung des Tunnels und somit der gesamten Eisenbahnstrecke dar. Neben

roof zone (Figure 8). More powerful motors were also fitted to the TBM, and a portion of the openings in the cutter head closed. Since tunnelling operations here were well behind schedule, the roof zone was conventionally driven from side access adits in the forecast faulted zones, in order to assure the completion date. These adits were approached by means of a road specially laid in this inaccessible terrain.

### 4.3 The construction schedule

Tunnel Complex T3, due to its length of around 4 km (in the

original variant) and the geological imponderables, was from the inception the most time-critical complex. The unstable slope at the north portal, and the new planning thus necessary, additionally exacerbated the problem. The new routing lengthened the railway tunnel to some 4.5 km, shortening the road tunnel to approx. 3.2 km.

Under the original planning, excavation of the rail tunnel was to be completed in the third quarter of 2011, that of the motorway tunnel in the third quarter of 2012. The new routing put

verschiedenen risikomindernden Maßnahmen wie der Erstellung von Zugangsstollen zur geologischen Erkundung in Abschnitten mit vermuteten Störzonen und Injektionen in Bereichen von Störzonen aus dem vorgängig aufgefahrenen Servicetunnel, vor allem jedoch durch einen Gegenvortrieb kann das Risiko vermindert werden. Dazu soll die im Tunnelkomplex 5 eingesetzte TBM vom Nordportal aus Vortrieb machen. Die beiden TBM werden im Berg aufeinander treffen und müssen dort demontiert werden. Zur Vermeidung einer großen Demontagekaverne soll dies durch Aushöhlen der TBM geschehen. Ziel ist ein Vortriebsende noch im Jahr 2011, damit ausreichend Zeit für die bahntechnische Ausrüstung und für einen Testbetrieb zur Verfügung bleibt.

### 5 Zusammenfassung

Beim Bau der diversen Tunnelprojekte auf der Strecke vom Olympischen Dorf am Schwarzen Meer in die Wintersportregion im Kaukasus müssen eine Vielzahl an anspruchsvollen geotechnischen und tunnelbautechnischen Herausforderungen bewältigt werden. Viele dieser Probleme sind vor allem auf Mangel an Informationen über die geologischen und geotechnischen Verhältnisse zurückzuführen. Das Besondere an diesem Projekt ist die extrem kurze Planungs- und Bauzeit und der unverschiebliche Fertigstellungstermin. Deshalb ist es wenig verwunderlich, dass die Planung teilweise zu kurz kam und häufig ein relativ hohes Risiko in Kauf genommen wurde. Wesentlich ist aber, dass bei jenen Risiken, welche den Fertigstellungstermin gefährden, entsprechende Maßnahmen zur Risikominimierung getroffen werden konnten.

Auch wenn weiterhin mit gewissen Problemen zu rechnen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die neuen Verkehrsverbindungen rechtzeitig fertig werden und die Olympischen Winterspiele 2014 erfolgreich durchgeführt werden können. 

these dates back to late December, 2011 for the motorway tunnel, and late March, 2012 for the rail tunnel (Figure 9). Scheduled completion of tunnelling in March, 2012 constitutes a great risk of delayed completion of the tunnel, and thus of the entire rail line. In addition to various risk-reducing provisions, such as the creation of access tunnels for geological surveying in sectors where fault zones are suspected, and injection-grouting from the previously completed service tunnel in fault zones, this risk can, above all, be reduced by means of counter-tunnelling. The TBM previously used in Tunnel Complex 5 is to work from the north portal; the 2 TBMs will meet in the tunnel, and must be dismantled there. This is to be accomplished by "gutting" the TBMs, in order to eliminate the necessity for a large dismantling cavern. The target is completion of tunnelling in 2011, in order to leave sufficient time for installation of rail equipment and for trial operation.

### 5 Summary

A large number of demanding geotechnical and tunnel-engineering challenges need to be overcome in construction of the various tunnel projects on the route from the Olympic Village on the Black Sea coast to the winter-sports region in the Caucasus mountains. Many of these problems are the result of lack of information concerning the geological and geotechnical conditions. A critical factor in this project is the extremely short planning and construction period, combined with the absolutely fixed completion date. It is therefore no surprise that planning has, in some cases, been inadequate, and that a relatively high level of risk has frequently been accepted. It must, however, be noted that appropriate provisions for risk minimisation have been implemented in the case of those risks which endanger on-time completion.

Despite the fact that certain problems must still be anticipated, it is confident that the new transport links will be completed on time, and that the 2014 Winter Olympics will be a resounding success. 

#### Literatur / References

[1] Maidl, B.; Schmid, L.; Ritz, W.; Herrenknecht, M.: Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein. Berlin: Ernst & Sohn Verlag (2001)




**F**LEXIBLE!  
**P**OWERFUL!  
**A**DAPTABLE!

- ▶ **Anchor Drilling**
- ▶ **Geothermal Drilling**
- ▶ **Pile Drilling**
- ▶ **Exploration Drilling**
- ▶ **Jet Grouting**
- ▶ **Soilmix-Systems**
- ▶ **Pipe roofing for tunneling**

**EMDE** Industrie-Technik GmbH  
Lahnstr.32-34 ♦ D-56412 Nentershausen  
Phone +49 (0) 64 85-187 04-0  
♦ www.emde.de ♦  
bohrtechnik@emde.de

**Drilling  
Ideas**