



ENGINEERING
EXCELLENCE

Publikation STC 2017 Vierspurausbau Olten–Aarau Eppenbergtunnel

Michael Hertweck, Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing., ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich/CH, Gabriele Pagliari, Bauingenieur FH, Schweizerische Bundesbahnen AG, Olten/CH. In: Swiss Tunnel Congress 2017, Band 16. S.30-41 (2017)

Michael Hertweck, Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing., ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich/CH
Gabriele Pagliari, Bauingenieur FH, Schweizerische Bundesbahnen AG, Olten/CH

Vierspurausbau Olten–Aarau

Eppenbergtunnel/CH –

Herausforderungen aus Sicht von Bauherr und Planer

Der Eppenbergtunnel ist das Herzstück des Vierspurausbaus der Bahnstrecke Olten–Aarau. Der rund drei Kilometer lange Tunnel, der mittels eines Mixschilds im Hydromodus aufgeföhren wird, stellt an den Bauherrn und den Planer zahlreiche Herausforderungen. Mit den Hauptarbeiten wurde im April 2015 gestartet, Anfang 2017 wurde mit dem TBM-Vortrieb des Eppenbergtunnels begonnen.

Four-Track Expansion Between Olten and Aarau

Eppenbergtunnel/CH – Challenges Faced by Client and Designer

The Eppenbergtunnel is the heart of the four-track expansion of the railway line between Olten and Aarau. The tunnel, which has a length of around three kilometres and is to be excavated using a Mixshield in hydro mode, poses a number of challenges for the client and designer. The main work began in April 2015, with the TBM drive of the Eppenbergtunnel commencing at the start of 2017.

1 Einleitung

Die Strecke Bern–Zürich ist eine der am stärksten befahrenen Bahnachsen der Schweiz und verengt sich zwischen Olten und Aarau von vier Spuren auf zwei. Diesen Engpass wollen Bund und SBB bis Ende 2020 beheben. Das Projekt umfasst im Wesentlichen Ausbauten in den Zufahrten und – als Herzstück – den doppelspurigen drei Kilometer langen Eppenbergtunnel sowie Anschlussbauwerke zu dessen Anbindung.

Im Projektperimeter kommen zu den täglichen Belastungen auf der SBB-Strecke von 550 Zügen und 26 000 Autos auf der Kantonsstrasse zusätzliche Belastungen durch den Baustellenverkehr wie Bahnverlad und Lastwagentransporte hinzu. Infolge der Projektziele, der geometrischen Randbedingungen und der anspruchsvollen Geologie ergeben sich zahlreiche Herausforderungen an Bauherrn und Planer.

Mit der Fertigstellung des Gesamtprojekts wird die Bahnlinie Olten–Aarau durchgehend vierspurig befahrbar, sodass weitere Bahnangebote für Kunden möglich sein werden. Die am Projekt Beteiligten sind in Bild 1 dargestellt.

2 Projektvorstellung

2.1 Linienführung und Projektelemente

Der Vierspurausbau Olten–Aarau erfordert verschiedene bauliche Anpassungen. Das wichtigste Bauwerk des Vierspurausbaus ist der 3114 Meter lange doppelspurige «Eppenbergtunnel» mit zwei Flucht- und Rettungsschäch-

1 Introduction

The line between Berne and Zurich is one of the most heavily used in Switzerland and shrinks from four tracks to two between Olten and Aarau. The state and Swiss Federal Railways (SBB) aim to eliminate this bottleneck by the end of 2020. The key aspects of the project are expansions of the access routes and – at the heart of the concept – the twin-track, three-kilometre Eppenbergtunnel, along with connecting structures to link it to the existing infrastructure.

In the project area, the daily loads of 550 trains on the SBB line and 26,000 cars on the cantonal road are accompanied by additional loads resulting from the site traffic, such as railway loading and truck transport. The objectives of the project, the geometrical boundary conditions and the demanding geology present a number of challenges for the client and designer.

There will be a four-track railway line all the way between Olten and Aarau once the overall project is complete, making it possible to provide additional railway services to customers. The project participants are shown in Fig. 1.

2 Project Concept

2.1 Route Alignment and Project Elements

The four-track expansion between Olten and Aarau requires various adjustments to be made to the construction. The most important structure in the four-track expansion is the 3,114 metre long twin-track Eppenbergtunnel, featuring

Mise à quatre voies Olten–Aarau

Tunnel de l'Eppenbergtunnel/CH – Les challenges pour le maître d'ouvrage et les responsables d'étude

Au-delà des défis en termes de gestion du projet et de procédure d'obtention des autorisations, les responsables d'étude avaient à se pencher en priorité sur le suivi de la construction en ce qui concerne la tranchée d'accès, le choix de la méthode de creusement de la section de tunnel creusée, celle du lieu de passage du creusement dans la roche au creusement hydraulique ainsi que la gestion du matériel. Grâce à un pilotage ciblé et à une approche anticipatrice du travail dans tous les secteurs et avec l'ensemble des acteurs, le projet reste dans le cadre financier et temporel impartis. La mise en service est prévue pour décembre 2020.

Potenziamento a quattro binari della tratta Olten-Aarau

Galleria dell'Eppenbergtunnel/CH – Le sfide dal punto di vista del committente della costruzione e dei progettisti

Oltre alle sfide nel campo della gestione del progetto e della procedura di autorizzazione, dal punto di vista dei progettisti erano in primo piano l'esecuzione tecnico-edile relativa al canale di invito, la scelta del procedimento di avanzamento della sezione di galleria mineraria, l'ubicazione della trasformazione dall'avanzamento in roccia a quello idraulico e la gestione dei materiali. Il progetto avanza nel quadro dei costi e dei tempi previsti grazie alla direzione mirata del progetto e alla modalità di lavoro lungimirante in tutti i settori e con tutte le parti interessate. La messa in funzione è prevista per il dicembre del 2020.

ten und einem Fluchtstollen. Das Anschlussbauwerk Seite Wöschnau ermöglicht gegenüber dem Anschlussbauwerk Gretzenbach eine niveaufreie Entflechtung. Dazu wird das südliche Gleis der Stammlinie neu durch einen 490 Meter langen Einspurtunnel geführt und unterquert somit die Zufahrtsgleise zum Eppenbergtunnel (Bild 3).

Für die optimale Gleisnutzung sind auf den Zufahrtsstrecken Gleisanpassungen, zwei neue Stellwerke und Bahnhofumbauten erforderlich. Mit dem Umbau der Bahnhöfe Dulliken und Däniken werden auch die Perronanlagen modernisiert. Auf der Seite Aarau werden Spurwechsel mit Schnellfahrweichen eingebaut, um den Gleiswechsel ohne Geschwindigkeitsreduktion zu ermöglichen (Bild 2).

2.2 Tunnelsystem

In einer frühen Projektphase wurde von der Bauherrschaft auf Basis einer Risikoanalyse ein Entscheid für das Tunnelsystem herbeigeführt. Zur Diskussion stand nebst dem Doppelspurtunnel mit unterschiedlicher Anzahl an Fluchtmöglichkeiten ein System aus zwei Einspurröhren mit Querschlägen. Die Berechnungen zeigten, dass der ca. drei Kilometer lange Doppelspurtunnel mit drei Fluchtmöglichkeiten sicher betrieben werden kann. Die Berechnungen stützten sich auf prognostizierte Maximalwerte für die Strecke und auf den Mischverkehr «Personen- und Güterverkehr».

Infolge der Topographie ergaben sich für die Ausgestaltung der Notausstiege unterschiedliche Konzepte. Während der Notausstieg Aarauerstrasse (NAA in Bild 3) über einen leicht steigenden Stollen (2,7% Steigung) mit einer Länge von 95 m erstellt werden kann, sind an den beiden anderen Lokationen Vertikalschächte mit Höhen von 22 m resp. 62 m zu erstellen, und das bei einem Innendurchmesser

two escape and rescue shafts and an escape tunnel. The connecting structure on the Wöschnau side enables the segregation of traffic on a different level, in contrast to the Gretzenbach connecting structure. The southbound track of the main line is now directed through a 490 metre long single-track tunnel that crosses under the access tracks to the Eppenbergtunnel (Fig. 3).

On the access lines, it is necessary to make adjustments to the tracks, establish two new control and routing centres, and perform station modifications in order to ensure optimum track usage. This modification of the railway stations Dulliken and Däniken also includes an upgrade of the platform facilities. On the Aarau side, crossovers with high-speed points will be installed so as to make it possible to change tracks without needing to slow down (Fig. 2).

Vierspurausbau Olten – Aarau Los A: Eppenbergtunnel

Bauherr

Schweizerische Bundesbahnen SBB AG
Infrastruktur Projekte Olten

Projektverfasser und Bauleitung

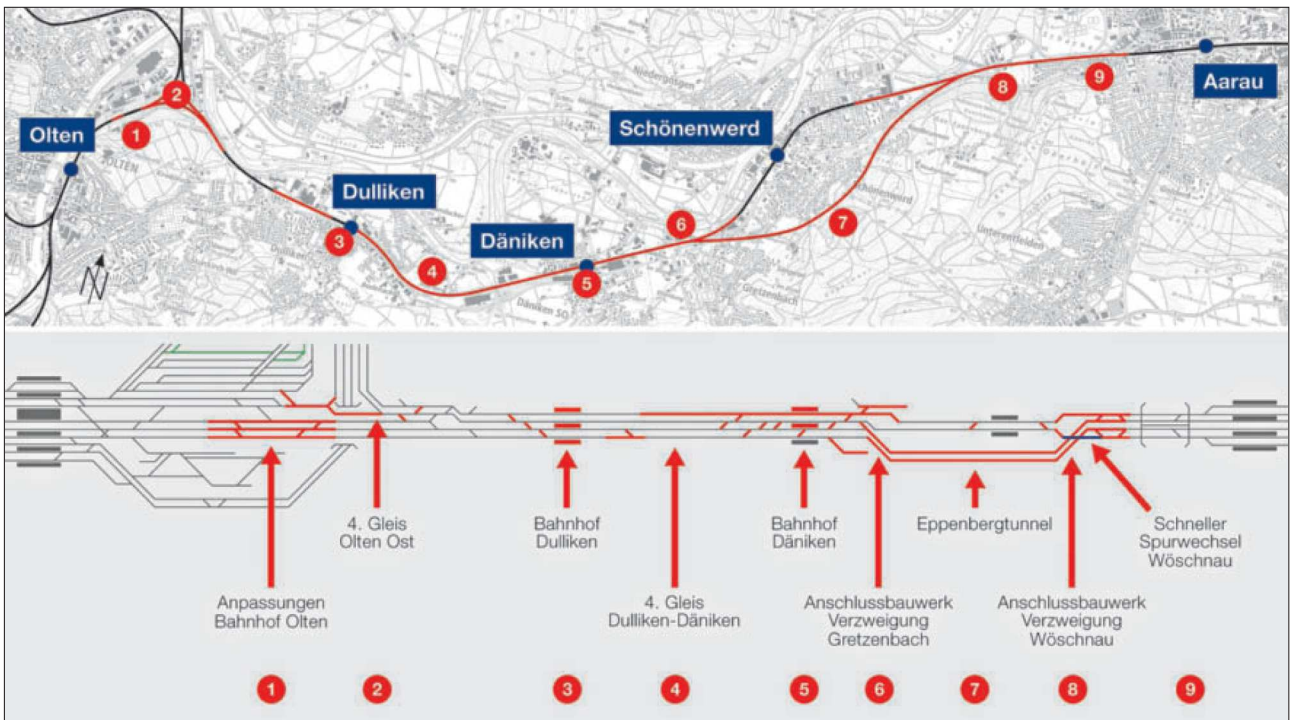
Ingenieurgemeinschaft Rapid
- ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
- Aegerter & Bosshardt AG, Basel
- ACS-Partner AG, Zürich
- TÜV SÜD Schweiz AG, Zürich

Bauausführung

ARGE Marti Eppenbergtunnel
- Marti Tunnelbau AG Moosseedorf
- Marti AG, Bauunternehmung, Zürich
- Marti AG, Solothurn

1 Projektbeteiligte
Project participants

Quelle/credit: SBB AG



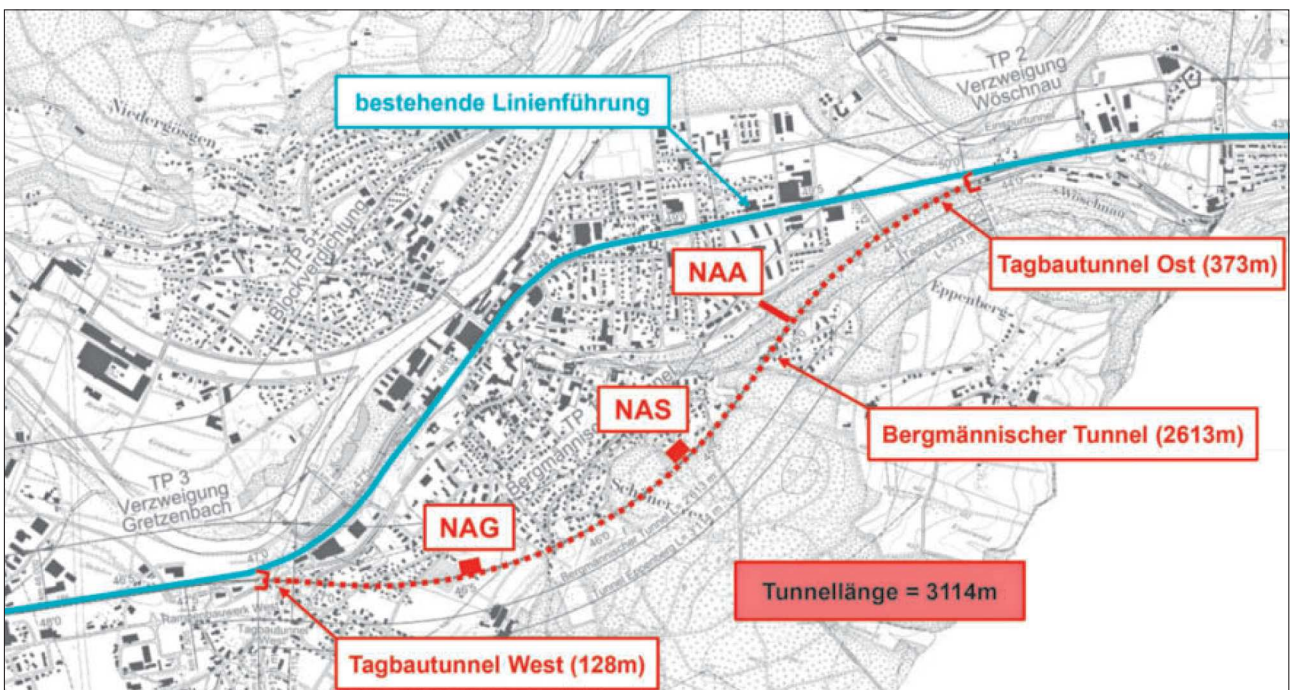
Quelle/credit: SBB AG

2 Übersicht über den Projektperimeter von Olten–Aarau
Overview of the Olten-Aarau project area

von 6 m (Bild 4/6). Die Notausstiege stehen im Ereignisfall unter Überdruck und stellen somit den gesicherten Bereich dar. Die Flucht erfolgt über ein Treppenhaus, das über einen ausreichend grossen Vorraum verfügt. Der Zugang für die Blaulichtorganisationen erfolgt über einen unabhängigen Liftzugang.

2.2 Tunnel System

In an early phase of the project, the client made use of a risk analysis when deciding on the tunnel system that was to be implemented. In addition to the twin-track tunnel with a variable number of escape routes, the discussion also centred on a system consisting of two single-track tunnels with



Quelle/credit: SBB AG

3 Situation Eppenbergtunnel
Situation of the Eppenbergtunnel



Quelle/credit: SBB AG

4 Notausstieg Schönenwerd und Gretzenbach
Schönenwerd and Gretzenbach emergency exits

2.3 Normalprofil

Das bergmännische Tunnel-Normalprofil ist für den Doppelspurbetrieb mit Fester Fahrbahn und Stromschiene ausgelegt. Die freie Querschnittsfläche F_{air} beträgt 66 m^2 und wurde durch die Normvorgabe betreffend den Druckkomfort und eine Fahrgeschwindigkeit von 180 km/h bestimmt. Es weist eine Gesamtausbruchfläche von rund 128 m^2 auf (Bild 5). Die Ausbruchsicherung ist auf einen maschinellen Vortrieb mittels eines Mixschildes (Hartgesteins- und Hydromodus) ausgelegt und besteht aus einer $0,30 \text{ m}$ starken Tübbingchale (Tübbingbreite $2,0 \text{ m}$) als Ausbruchsicherung und einer zusätzlichen Innenschale aus Ortbeton von $0,30 \text{ m}$. Der Tunnel ist auf der ganzen Länge vollflächig abgedichtet.

2.4 Geologie/Hydrogeologie

Die Strecke verläuft am südöstlichen Rand des Aaretals (Bild 6). Der bergmännische Tunnelabschnitt umfasst 2616 m und führt durch Lockergestein (670 m) und Fels (1950 m). Bei den zu durchörternden Felsgesteinen handelt es sich um

cross-passages. Calculations showed that the twin-track tunnel, which measures around three kilometres in length, can be safely operated with three escape routes. These calculations were based on forecast maximum values for the line and the mixture of passenger and freight traffic on the route.

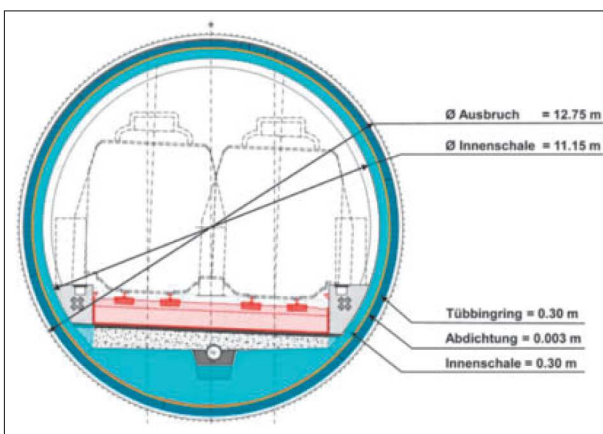
Based on the topography, various concepts were generated for the design of the emergency exits. Whereas the Aarauerstrasse emergency exit (NAA in Fig. 3) can be created via a gently ascending adit (2.7% incline) featuring a length of 95 m , the other two locations require the creation of vertical shafts with heights of 22 m and 62 m and an internal diameter of 6 m (Figs 4/6). If an event should occur, the emergency exits are subject to over-pressure and thus act as the secure area. Escape is possible via a stairwell, which features a sufficiently large entrance area. Access for the rescue teams and fire brigades is granted via an independent lift access point.

2.3 Standard Tunnel Cross-Section

The standard underground tunnel cross-section is designed for twin-track operation with a slab track and conductor rail. The free cross-section area F_{air} , which amounts to 66 m^2 , was determined via the standard specification in relation to pressure comfort and a travelling speed of 180 km/h . It features a total excavation area of around 128 m^2 (Fig. 5). The excavation support is designed for a mechanical drive using a Mixshield (hard rock and hydro mode). It consists of a 0.30 m segment lining (segment lining width 2.0 m) as excavation support and an additional 0.30 m interior shell made of in-situ concrete. The tunnel is fully sealed along its entire length.

2.4 Geology/Hydrogeology

The line runs along the south-east edge of the Aare valley (Fig. 6). The underground tunnel section covers $2,616 \text{ m}$, ex-



Quelle/credit: SBB AG

5 Normalprofil Doppelspurtunnel
Standard twin-track tunnel cross-section

Effinger Schichten (760 m) und Gesteine der Unteren Süswassermolasse (1190 m). Die beiden geologischen Formationen werden durch die Flexur von Schönenwerd (100 m) unterbrochen. Es handelt sich hierbei um eine von Ost nach West streichende Flexur- und Strukturzone, die aus einer heterogenen, stark verformten Gesteinszusammensetzung besteht (Kalke, mergelige Kalke, Mergel, tonige Mergel). Die zu durchhörternden Gesteine weisen ein Quellungspotenzial von 0,5–0,6 MPa auf. Die gesamte Felsstrecke ist der Gasgefahrenstufe 2 zugeordnet. Die Lockergesteinsstrecke besteht aus dicht gelagerten Niederterrassenschottern des Aaretales.

Der Bergwasserspiegel steigt von Osten mit zunehmender Felsüberdeckung an und liegt in den Effinger Schichten auf einer Kote von rund 420 m ü.M. Der maximale Bergwasserspiegel liegt in der Unteren Süswassermolasse auf einer Höhe von rund 450 m ü.M. In Richtung Westen fällt der Bergwasserspiegel auf das Niveau des Schottergrundwasserspiegels ab.

2.5 Termine

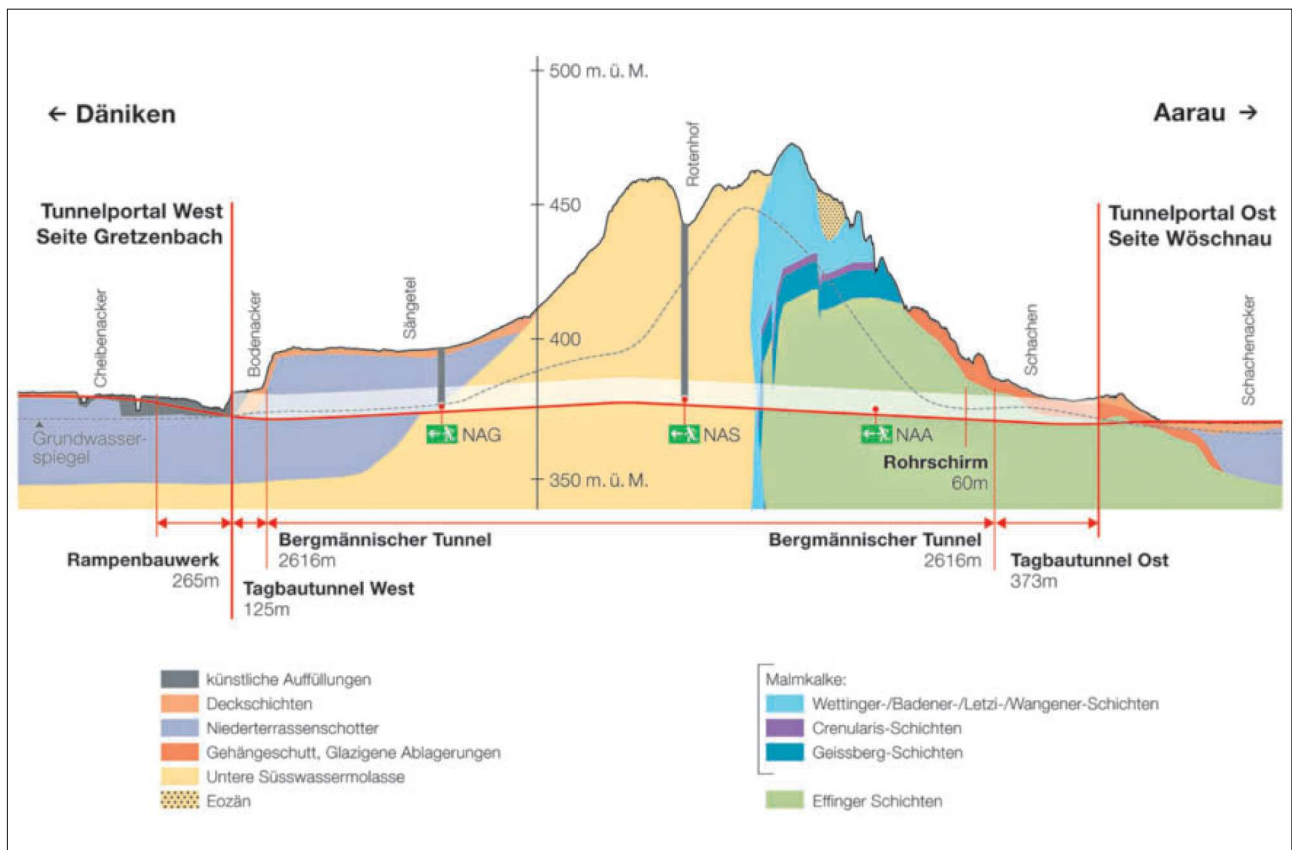
Mit den Projektstudien wurde im Jahr 2007 gestartet (Bild 7). Nach der Genehmigung des Vorprojekts im Jahr 2011 war das Projekt vom Grundsatz her definiert und das Bau- und Auflageprojekt wurde begonnen. Das Projekt wurde Anfang 2013 zur Auflage eingereicht. Am 2. September 2014 lag termingerecht die Plangenehmigungsverfügung vor. Die Bewilligungszeit war kurz für ein solch komplexes Infrastrukt-

tending through loose rock (670 m) and bedrock (1,950 m). The bedrock that needs to be pierced consists of Effinger beds (760 m) and rock from the Lower Freshwater Molasse (1,190 m). These two geological formations are interrupted by the Schönenwerd flexure (100 m). This is an east-to-west flexure and structure zone comprising a heterogeneous and highly deformed rock composition (limes, marly limes, marls, clayey marls). The rock that needs to be pierced features a swelling capacity of 0.5-0.6 MPa. The entire bedrock section is classified under gas danger level 2. The loose rock section comprises densely layered low terrace gravel from the Aare valley.

The groundwater level increases from the east with growing levels of bedrock cover and is at an altitude of around 420 m above sea level in the Effinger beds. The maximum groundwater level is in the Lower Freshwater Molasse at an elevation of around 450 m above sea level. Towards the west, the groundwater level drops back down to that of the gravel groundwater level.

2.5 Milestones

The project studies commenced in 2007 (Fig. 7). Once the preliminary project was approved in 2011, the project was defined in principle and the construction and consultation project was started. The project was submitted for consultation at the start of 2013. The planning approval ruling was



6 Geologisches Längensprofil
Geological longitudinal profile



Quelle/credit: SBB AG

7 Terminprogramm
Schedule

turgrossprojekt mit einer Vielzahl an Beteiligten, einer sehr anspruchsvollen und umfassenden Aufgabenstellung sowie einer zeitintensiven Planaufgabe. Die weiteren Meilensteine sind in Bild 7 dargestellt.

2.6 Kosten

Die Gesamtkosten für den Vierspurausbau belaufen sich auf 855 Millionen Franken. Für die Finanzierung stammen 785 Millionen Franken aus dem Kredit für das Grossprojekt «Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur» (ZEB) und 70 Millionen Franken aus der Leistungsvereinbarung 2013–2016 zwischen SBB und Bund. Der Kostenanteil für den Eppenbergtunnel inkl. der Anschlussbauwerke und der Bahntechnik beträgt 550 Millionen Franken.

3 Herausforderungen des Bauherrn

3.1 Projektmanagement

Ein zielgerichtet aufgesetztes Projektmanagement und eine vorausschauende Herangehensweise sind Garanten für einen termin- und kostengerechten Projektablauf. Wichtig ist dieser Aspekt beim konzeptionellen Aufsetzen der jeweiligen Projektphasen. So konnten z.B. in der Plangenehmigungsphase die Risiken durch einen breit abgestützten Ansatz minimiert werden.

Zur Vereinfachung der Bearbeitung der Schnittstellen und ihrer Regelungen bzgl. Verantwortlichkeiten wurde neben einem Generalplaner auch nur ein Unternehmer für den Hauptteil beauftragt. Gleiches wird auch für den Einbau der Bahntechnik für den Eppenbergtunnel angestrebt. Den Beauftragten wird dabei die Möglichkeit gegeben, die Arbeiten selbstständig zu koordinieren und mit Blick auf ihre Bedürfnisse unter Einhaltung der Projekt- und Vertragsrandbedingungen zu optimieren. So kann z.B. der Unternehmer das Bauprogramm flexibler an seine Arbeitsabläufe anpassen. Durch den Einsatz eines Generalplaners wurde das Projekt in sehr kurzer Zeit unbürokratisch, homogen und in einer sehr hohen Qualität ausgearbeitet.

In der Ausschreibungsphase ist es wichtig, dass durch eine adäquate Einschätzung bzgl. der am Markt vorhandenen Möglichkeiten unter Schaffung entsprechender Anreize ein technisch und wirtschaftlich hochstehendes Angebot erzielt

presented on schedule on 2 September 2014. The approval period was short for such a complex large-scale infrastructure project featuring a large number of participants, a very demanding and wide-ranging remit, and a time-consuming planning consultation process. Additional milestones are shown in Fig. 7.

2.6 Costs

The total costs for the four-track expansion run to 855 million Swiss francs. It is financed with 785 million Swiss francs from the funds for the large-scale project 'Future development of railway infrastructure' (ZEB) and 70 million Swiss francs from the 2013-2016 performance agreement between SBB and the state. The cost component for the Eppenbergtunnel including the connecting structures and the rail technology amounts to 550 million Swiss francs.

3 Challenges Faced by the Client

3.1 Project Management

Targeted project management and a forward-looking approach help guarantee that the project will remain on time and on budget for its entire duration. This is an important aspect when drawing up concepts for the respective phases of the project. In the planning approval phase, for example, this makes it possible to minimise the risks with a broad-based approach.

To make it easier to process the interfaces and their regulations concerning responsibilities, only one single contractor was commissioned for the main part of the project in addition to a general designer. The intention is to do the same with regard to the installation of the rail technology for the Eppenbergtunnel. This gives the commissioned contractors the opportunity to co-ordinate their work independently and to optimise it in line with their needs while continuing to observe the boundary conditions of the project and the contract. In this way, for example, the contractor can adjust the construction schedule more flexibly to suit their working processes. The deployment of a general designer ensured that the project was worked out in a very short space of time and in a manner that was unbureaucratic, homogeneous and very high quality.

werden kann. So wurde z. B. nebst dem konventionellen Auf-fahren des Eppenbergtunnels die Möglichkeit geschaffen, einen maschinellen Vortrieb unter klaren Vorgaben anzubieten. Dank der festgelegten Vergabekriterien konnten unter den qualitativ sehr hochstehenden eingegangenen Offerten der Bestbieter und das entsprechende Bauverfahren transparent ausgewertet und in kurzer Zeit ausgewählt werden.

3.2 Plangenehmigungsverfahren

Es zeigt sich bei grossen Infrastrukturprojekten immer wieder, dass die Phase der öffentlichen Auflage und der Plangenehmigung einen entscheidenden Faktor für die weitere zeitliche Abwicklung darstellt. Das Plangenehmigungsverfahren für den gesamten Abschnitt zwischen Aarau und Olten war mit 18 Monaten sehr kurz. Während der öffentlichen Auflage ging das Projektteam aktiv auf die Bevölkerung zu. Es fanden Orientierungsanlässe in den am stärksten betroffenen Gemeinden statt und parallel dazu wurde ein Informationszentrum im Projektperimeter betrieben. Zudem wurde das Vorgehen frühzeitig mit der Genehmigungsbehörde vorbesprochen, die kantonalen Behörden bei wichtigen Fragestellungen beizeiten mit einbezogen und Deponiebetreiber im Umkreis mit Angaben zum Aushub-/Ausbruchmaterial und den entsprechenden Mengen informiert. Mit diesem Vorgehen konnte das Einspracherisiko reduziert und das Verständnis für das Projekt geweckt werden. Es sind 110 Einsprachen eingegangen, die mittels Vereinbarungen einvernehmlich geregelt werden konnten.

Die Kommunikation wird auch nach der Baubewilligung während der Bauphase aktiv betrieben. Behörden- und Anwohneranlässe finden in regelmässigen Abständen statt, um das Verständnis für die unvermeidbaren Beeinträchtigungen zu fördern.

3.3 Arbeitsvorbereitung

Die Phase der konsequenten Umsetzung der Arbeitsvorbereitung ist im Rahmen komplexer Projekte ein wichtiger Bestandteil, in den der Bauherr steuernd eingreifen kann. In dieser Phase ist es wichtig, dass Bauherr, Planer und Unternehmer sich frühzeitig über die bauliche Umsetzung austauschen. Durch Schaffung von Anreizen können Bauabläufe, teilweise auch Bauverfahren, noch während der Ausführung rechtzeitig optimiert werden, sodass für alle Seiten eine Win-win-Situation entsteht. Der Bauherr unterstützt dieses wichtige Zusammenspiel durch seine Bereitschaft, Optimierungsvorschläge prüfen zu lassen. Vor jedem grösseren Bauabschnitt resp. sofern wichtige Entscheide anstehend sind, erfolgt die konstruktive Phase in Form einer gemeinsamen AVOR-Sitzung. Mit diesem Vorgehen konnten schon wesentliche Projektoptimierungen erzielt werden.

4 Bautechnische Aspekte und Herausforderungen des Planers

4.1 Voreinschnitt Wöschnau

Infolge der geometrischen Projekttrandbedingung aus der Trassierung ist ein schleifender Hanganschnitt des Eppen-

bergtunnels. In the tender phase, it is important to ensure an adequate assessment of the options available on the market by generating appropriate incentives. This helps achieve a tender that excellently addresses the technical and financial requirements. In addition to the conventional excavation of the Eppenbergtunnel, for example, the option of a mechanical drive was to be provided subject to clear stipulations. When it came to the very high-quality tender offers received from the best bidders and the corresponding construction processes, the defined awarding criteria made it possible to perform a transparent assessment and quickly make the appropriate choice.

3.2 Planning Approval Process

For large-scale infrastructure projects, the phase of public consultation and planning approval is often a decisive factor in terms of the timing of the subsequent phases. The planning approval process for the entire section between Aarau and Olten was very short, lasting 18 months. During the public consultation, the project team actively approached the public. Information events were held in the communities that were set to be most affected and an information centre was also opened in the project area. In addition, the procedure was the subject of preliminary discussions held at an early stage with the approval authority, and the cantonal authorities were also included in good time when addressing significant issues. Landfill operators in the surrounding area were provided with information on the excavation/break-out material and the corresponding quantities. This procedure reduced the risk of objection and promoted an understanding of the project. 110 objections were received and settled amicably by means of agreements.

Even following the approval of the construction, active communication will be maintained during the construction phase. Events held for residents and the authorities take place at regular intervals in order to promote an understanding of the unavoidable disruption.

3.3 Work Planning

Within the scope of complex projects, the phase of consistently implementing the work planning is a key component – and one in which the client is able to intervene. In this phase, it is important that the client, designer and contractor discuss the constructional implementation at an early stage. The generation of incentives makes it possible for construction workflows, as well as construction processes in certain cases, to be optimised in good time even while construction is underway. This ensures a win-win situation for all sides. The client supports this important interaction by being prepared to have any optimisation proposals inspected. Prior to every larger phase of construction and if any important decisions are pending, the design phase takes place in the form of a collective work planning meeting. This procedure has already made it possible to achieve significant project optimisations.

bergs unvermeidlich. Die Lage des bergmännischen Portals wurde unter Abwägung von Gefährdungsbildern, Bauzeit und Kosten vor Beginn der Baumaßnahme definiert. Dies führte dazu, dass der Voreinschnitt auf einer Länge von 370 m mit einer Breite von ca. 20 m und einer Tiefe von bis zu 27 m auszuheben war, bevor mit dem eigentlichen Vortrieb begonnen werden konnte (siehe Bild 8). Die konvex ausgebildete Baugrubenwand und die zur Sicherung der stark geklüfteten Effinger Schichten nötige hohe Anzahl an Ankern erforderten eine enge Abstimmung zwischen Risikoüberlegungen und Berechnungsergebnissen. Hinzu kam, dass die bereits vorgängig gebohrten und zur Überwachung der Hangverformungen installierten Inclinometer während der Ausführung erhalten bleiben mussten. Die Anker mit einer Länge von bis zu 32 m und Ankerkräften von bis zu ca. 100 t wurden in 3D geplant und so entsprechend entflochten. Auch dank der präzisen Ausführung vor Ort konnte jegliche Kollision mit Überwachungsinstrumenten und bereits versetzten Ankern auf der gesamten Strecke vermieden werden. Dank der Verfügbarkeit der Deformationsmessungen konnte mittels Beobachtungsmethode der Bauablauf gegenüber dem Ausschreibungskonzept beschleunigt werden. Die Hangverformungen lagen im oberflächennahen Bereich bei max. 15 mm; im unteren Bereich ergaben sich quasi keine messbaren Verschiebungen.

4 Construction-Related Aspects and Challenges Faced by the Designer

4.1 Preliminary Cut at Wöschnau

Due to the geometrical boundary condition of the project that is a result of the routing, a grinding slope cut of the Eppenbergtunnel is unavoidable. When the location of the underground portal was being defined, the hazard scenarios, construction time and costs were taken into consideration prior to the start of the construction work. This meant that the preliminary cut was to be excavated at a length of 370 m, a width of around 20 m and a depth of up to 27 m before the actual drive could be started (see Fig. 8). The convex excavation wall and the large number of rock bolts required to secure the highly fissured Effinger beds made it necessary to ensure close coordination between risk considerations and the results of calculations. In addition, the inclinometers that had already been drilled in advance and installed for the purpose of monitoring the slope deformations had to be retained during the construction process. The rock bolts feature a length of up to 32 m, rock bolt forces of up to around 100 t and were planned in 3D, with the segregation process being performed accordingly. Thanks to the precise construction on site, it was possible to avoid any collisions with monitoring instruments and any rock bolts that had already been offset along the entire route. The availabil-



Quelle/credit: ARGE Marti (Marti consortium)

8 Blick auf den Voreinschnitt des Tagbautunnels Ost (Wöschnau)
View of the open portal cut of the cut-and-cover east tunnel (Wöschnau)

4.2 Vortriebskonzept bergmännischer Tunnelabschnitt

Im Rahmen der Projektierung wurden verschiedene Vortriebskonzepte diskutiert und mittels einer Risikoanalyse gegeneinander abgewogen. Die Bewertung und Risikoabschätzung ergab, dass sowohl ein konventioneller Vortrieb als auch ein maschineller Vortrieb mit einem Mixschild als technisch machbar eingestuft werden konnten, wobei sich mit einem konventionellen Vortrieb eine grössere Flexibilität je nach Gefährdungsbild ergab. Das ursprüngliche Projekt sah vor, den Eppenbergtunnel von beiden Seiten her im konventionellen Verfahren aufzufahren. Da von einem TBM-Vortrieb Vorteile hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz (Erschütterungen, günstige Wiederverwendung des Ausbruchmaterials) erwartet werden konnten, hat sich der Bauherr dazu entschieden, auch einen TBM-Vortrieb auszuschreiben. Dabei wurde für die vorherrschenden Verhältnisse ein Mixschild, der im Lockergestein als Hydroschild zu fahren ist, vorgegeben. Eine klare Ausschreibung von zwei Baumethoden hat den Vorteil, dass der Bauherr schlussendlich ein qualitativ gleichwertiges Produkt erhält. Das Ergebnis der Ausschreibung zeigte, dass diese Bauherrenentscheidung richtig war, um die möglichen Marktchancen nutzen zu können.

Der Tunnel wird aufgrund der Platzverhältnisse von Osten her in steigendem Vortrieb bis zum Scheitelpunkt aufgeföhren. Die ersten ca. 150 m des Eppenbergtunnels weisen nur geringe Überdeckungen von 5–15 m auf. Die Überdeckung wird aus Lockergestein und teilweise tiefer reichenden Verwitterungszonen der Effinger Schichten gebildet. Aus diesem Grund wurde eine Startstrecke von rund 60 m Länge im Kalottenvortrieb mit nachlaufendem Strossen-/Sohlausbruch vorgezogen erstellt. Der Ausbruch der Kalotte erfolgte im Schutz eines Rohrschirms (Bild 9). Infolge der stark geklüfteten und kleinblockig sich darbietenden Ortsbrust in den Effinger Schichten wurde beschlossen, auf der nachfolgenden, mittels TBM aufzuföhrenden Strecke eine Verfestigungsinjektion mit einer teilweisen Vernagelung mit



Quelle/credit: IG RAPID

9 Konventioneller Vortrieb im Schutz eines Rohrschirms
Conventional drive protected by pipe roofing umbrella

ity of deformation measurements ensured that observation methods could be used to proceed through the construction workflow faster than stated in the tender concept. The slope deformations were located in the area near to the surface and measured a maximum of 15 mm, with virtually no measurable displacements occurring in the lower area.

4.2 Drive Concept for the Underground Tunnel Section

In the course of project management, various drive concepts were discussed and weighed against each other by means of a risk analysis. The evaluation and risk assessment stated that both a conventional drive and a mechanical drive with a Mixshield could be classed as technically feasible, although a conventional drive would provide greater flexibility depending on the hazard scenario. In the original project, the intention was to excavate the Eppenbergtunnel from both sides in a conventional procedure. As a TBM drive could be expected to offer benefits in terms of cost-effectiveness and environmental protection (vibrations, good recycling of excavation material), the client also decided to invite tenders for a TBM drive. The prevailing conditions led to the stipulation of a Mixshield that was to be operated as a Hydroschild in the loose rock. A clear tender process for two construction methods has the benefit of ensuring that the client will ultimately receive a product of equal quality. The result of the tender demonstrated that this decision made by the client was the right one for taking advantage of the potential opportunities on the market.

The space conditions mean the tunnel is to be excavated from the east with an upward drive until the highest point is reached. The first 150 m or so of the Eppenbergtunnel feature only low levels of cover measuring 5–15 m. The cover consists of loose rock and, in some cases, more deep-reaching weathering zones of the Effinger beds. For this reason, a start-up section around 60 m in length was created as a preparatory measure during the drive of the top heading with subsequent bench/invert break-out. The break-out of the top heading was performed with the protection of a pipe shield (Fig. 9). Due to the highly fissured face in the Effinger beds that has the appearance of small blocks, it was decided that the next section – which was to be excavated with TBM – would be given a prior stabilising injection from the surface, together with partial nailing using GFRP nails. The TBM was mounted in the open portal cut and subsequently pushed up to the face.

In the area of the hard rock section, the five-part segment lining conventionally used in Switzerland is deployed with keystone underneath. The thrust cylinders are supported via a pressure ring on the fully-installed segment lining ring. A six-part tubbing ring with small conical keystone is used in the area of the loose rock. The segment lining rings each consist of four normal stones, two counter stones and a small keystone. They are installed lengthwise and each offset by half a stone in order to prevent cross joints. The segment



Quelle/credit: ARGE Marti (Marti consortium)

10 Blick auf die Zielbaugrube am Westportal (Gretzenbach)
View of the target excavation wall at the west portal (Gretzenbach)

GFK-Nägeln vorgängig von der Oberfläche her auszuführen. Die TBM wurde im Voreinschnitt montiert und anschliessend an die Ortsbrust geschoben.

Im Bereich der Hartgesteinsstrecke wird die in der Schweiz gebräuchliche 5-teilige Tübbingauskleidung mit unten liegendem Schlussstein angewendet. Die Vortriebspresen stützen sich dabei über einen Druckring am fertig installierten Tübbingring ab. Im Bereich des Lockergesteins wird ein 6-teiliger Ring mit kleinem konischen Schlussstein verwendet. Die Tübbingringe bestehen aus jeweils vier Normal- und zwei Kontersteinen sowie einem kleinen Schlussstein. Sie werden in Längsrichtung jeweils um einen halben Stein versetzt eingebaut, sodass Kreuzfugen vermieden werden. Die Abdichtung des Tübbingausbaus erfolgt über umlaufende Tübbingdichtungen (Dichtprofil), die beim Herstellen der Tübbinge in die Tübbingschalung eingelegt werden.

Um eine vollständige Bettung der Tübbingringe in der Lockergesteinsstrecke zu gewährleisten, wird der Ringspalt vollständig vermörtelt. In der Hartgesteinsstrecke wird der Tübbingring in der Sohle (ca. 120°) mittels thixotropen Mörtels verfüllt. Der Restbereich wird mit Perlkies verfüllt. Der Tübbingtransport erfolgt per Bahn.

lining is sealed with all-round segment lining seals (seal profile), which are inserted into the segment lining pre-cast formworks when manufacturing the segment linings.

To ensure that the segment lining rings are fully embedded in the loose rock section, the entire ring gap is grouted. In the hard rock section, the segment lining ring is backfilled into the invert (approx. 120°) using thixotropic grout. The remaining area is backfilled with pea gravel. The segment lining is transported by rail.

The breakthrough wall' was created in the area of the west portal. In this location, a sealing wall consisting of four overlapping bored-pile rows had to be drilled to enable the TBM to breakthrough in hydro mode (see Fig. 10).

4.3 Mixshield Modification Location

The challenge was in defining the location for the modification of the tunnel boring machine as early as possible and in accordance with the necessary boundary conditions concerning stability that are required for a modification location such as this. This made it possible to reduce the risks relating to the construction period and costs. For this purpose, probe drilling from the surface was performed in autumn 2016. Working together with the contractor, it was then possible

Im Bereich des Westportals wurde die Zielbaugrube erstellt. Dort musste eine Dichtwand, bestehend aus vier überschnittenen Bohrfahrlinien, für die Einfahrt der TBM im Hydromodus gebohrt werden (siehe Bild 10).

4.3 Umbaulokation Mixschild

Die Herausforderung bestand darin, den Standort für den Umbau der Tunnelbohrmaschine möglichst zu einem frühen Zeitpunkt unter den erforderlichen Randbedingungen hinsichtlich Standfestigkeit, die an eine solche Umbaulokation zu stellen sind, zu definieren. Hierdurch können Risiken bei der Bauzeit und den Kosten reduziert werden. Hierzu wurden im Herbst 2016 Erkundungsbohrungen von der Oberfläche aus abgeteuft. Gemeinsam mit dem Unternehmer konnte dann unter Definition der vorzusehenden Sicherungsmassnahmen die geeignete Lokation bestimmt werden.

4.4 Lockergesteinsstrecke

Die ca. 670 m lange Lockergesteinsstrecke wird im Hydromodus aufgefahren. Die Überlagerung beträgt 15–25 m, wobei sie zum Bereich der Zielbaugrube hin auf kurzer Strecke auf wenige Meter abfällt. Der Abschnitt ist mehrheitlich überbaut. Der Schottergrundwasserspiegel liegt im Sohlbereich der TBM. Während der Unterfahrung der Gebäude erfolgt eine messtechnische Überwachung der Oberfläche und der Gebäude.

4.5 Materialbewirtschaftung

Die Materialbewirtschaftung ist bei jedem Tunnelbauprojekt eine grosse Herausforderung. Bereits in der Ausschreibung wurde durch Festlegung der Zuschlagskriterien und die Ausarbeitung der entsprechenden Leistungspositionen darauf geachtet, dass die Unternehmer auf eine möglichst grosse Wiederverwertbarkeit des anfallenden Materials direkt auf der Baustelle Wert legen mussten. Als Vorgabe galten die Einhaltung der spezifischen Emissionen und der Einsatz von Bahntransporten.

Das Material des Lockergesteinsabschnitts wird direkt vor Ort aufbereitet und für die Betonproduktion oder Hinterfüllung verwendet, das Material aus den Effinger Schichten kann zur Hinterfüllung resp. für Dammschüttungen verwendet werden. Die Untere Süsswassermolasse (37 % des Ausbruchmaterials) muss deponiert werden.

Im Zuge der Projektabwicklung hat sich die Möglichkeit ergeben, die Synergien zweier Grossprojekte im unmittelbaren Umfeld zu nutzen. So steht die nahegelegene, sanierte Sondermülldeponie Kölliken quasi zur gleichen Zeit wie der Vortrieb des Eppenbergtunnels für eine Materialeinlagerung zur Verfügung.

Dies sind Chancen, die sich erst im Laufe des Projekts ergeben haben, und zwar dadurch, dass alle Betroffenen inkl. der Behörden, Kantone und Gemeinden am gleichen Strick gezogen haben. Die geschickte Moderation des Bauherrn

to determine the suitable location based on the definition of the safety measures that are to be provided.

4.4 Loose Rock Section

The loose rock section measures around 670 m in length and is excavated in hydro mode. The overlap is 15–25 m, although it drops to a few metres for a short section in the area of the breakthrough wall. The majority of the section is built over. The gravel groundwater level is in the invert area of the TBM. Metrological monitoring of the surface and the buildings is performed during the process of tunnelling under the buildings.

4.5 Materials Handling

Materials handling is a significant challenge in every tunnel construction project. Even at the tender stage, the definition of the awarding criteria and the drafting of the corresponding individual services ensured that the contractors had to attach importance to ensuring that as much of the accumulated material as possible could be recycled at the site itself. Adherence to the specific emissions and the use of railway transport were stipulated as requirements.

The material of the loose rock section is processed directly on site and used for concrete production or backfilling, and the material from the Effinger beds can be used for backfilling or constructing embankments. The Lower Freshwater Molasse (37 % of the excavation material) has to be taken to landfill.

During the execution of the project, it has been possible to use the synergies of two large-scale projects in the immediate vicinity. The Kölliken hazardous waste landfill located nearby was available for material deposit at almost the same time as the drive process was being performed for the Eppenbergtunnel.

These are opportunities that arose only during the course of the project and thanks to the fact that all those involved, including the authorities, cantons and communities, were pulling in the same direction. The skilful handling on the part of the client proved highly beneficial. The implementation can now take place in mid-2017 as a result of the constructive cooperation featuring all project participants.

5 Current State of Work

The construction work on the main lot began in April 2015, with the official ground-breaking ceremony taking place on 2 May 2015. Important preliminary work such as humus removal, clearing of vegetation and re-routing of service lines had already commenced in autumn 2014. The critical step on the way to commencing the drive was the creation of the open portal cut to the tunnel portal east. Pipe roofing umbrella was deployed at the start of April 2016.

The assembly of the tunnel boring machine was started on time at the end of August 2016. The cutterhead was lifted

war von grossem Nutzen. Die Umsetzung kann nun Mitte 2017 dank des konstruktiven Zusammenspiels aller am Projekt Beteiligten erfolgen.

5 Stand der Arbeiten

Mit den Bauarbeiten zum Hauptlos wurde im April 2015 begonnen, der offizielle Spatenstich fand am 2. Mai 2015 statt. Bereits ab Herbst 2014 konnten wichtige Vorarbeiten wie Abhumisierung, Rodungen und Werkleitungsumlegungen erfolgen. Der kritische Weg für den Vortriebsbeginn verlief über die Erstellung des Voreinschnitts zum bergmännischen Portal Ost. Der Anschlag des ersten Rohrschirms erfolgte Anfang April 2016.

Mit dem Aufbau der Tunnelbohrmaschine konnte Ende August 2016 termingerecht begonnen werden. Das Einheben des Schneidrads erfolgte am 12. Oktober 2016 (Bild 11). Der maschinelle Vortrieb startete am 9. Januar 2017.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Herausforderungen konnten im Rahmen der Projektabwicklung bis heute vollumfänglich gemeistert werden. So ist das Projekt von Beginn an unter Einhaltung von Kosten und Terminen sowie Qualität auf Kurs. Der sich aus heutiger Sicht zeigende nahezu reibungslose Ablauf der Baustelle ist der vorausschauenden Planung und der respektvollen Zusammenarbeit zwischen Bauherr, Projektverfasser und Unternehmer zuzuschreiben. Es wird eine offene Kommunikation mit Diskussion und Abwägung von Vor- und Nachteilen über alle am Projekt Beteiligten hinweg geführt. Hierdurch entsteht ein konstruktives Arbeitsumfeld, in dem Platz für Projektoptimierungen ist, die dann auch auf kurzem Weg entschieden werden können. Auch die von allen Seiten gemeinsam durchgeführte und vom Bauherrn bereits in der Ausschreibung verankerte enge Arbeitsvorbereitung, die weit vorausschauend abläuft, ist ein Garant für den guten Projektstand. Bauherr und Planer haben entsprechende Voraussetzungen hierzu bereits im Rahmen der vorangegangenen Projektierung, der Projektgenehmigungsphase und der Ausschreibung geschaffen.

Wir schauen daher zuversichtlich auf die künftigen Herausforderungen, insbesondere den Durchschlag zum Jahresende.



11 Aufbau TBM beim Tunnelportal Ost (Wöschnau)
Assembly of TBM at east tunnel portal (Wöschnau)

into position on 12 October 2016 (Fig. 11). The mechanical drive commenced on 9 January 2017.

6 Summary and Outlook

The challenges faced to date have been overcome in every regard during the execution of the project. The project has therefore been on course from the very start, ensuring compliance with costs, deadlines and quality. The fact that the operations at the site are currently running almost seamlessly can be attributed to the forward-looking design and the respectful cooperation between the client, project author and contractor. All those involved in the project are included in open communication, featuring discussion and assessment of advantages and disadvantages. This generates a constructive working environment in which there is room for project optimisations that can quickly be decided on. In addition, the work planning process – which was specified by the client in the tender and which is implemented through the close cooperation of all participants working together – takes a long-term approach and guarantees that the project will proceed smoothly. The client and designer created corresponding requirements for this purpose during the preceding project management process, the project approval phase and the tender.

We can therefore approach future challenges with confidence, particularly in terms of achieving the breakthrough by the end of the year.



Konrad Blank

Dipl. Bauing. TU
Geschäftsführer
Projektmanagement,
Vertragswesen
Untertagebau, Stollen, Schächte,
Kraftwerksbau

Michael Hertweck

Dipl. Bauing. TU
Dr. sc. techn. (Geotechnik) ETH
Geschäftsführer
Projektmanagement
Untertagebau, Geotechnik, Spezial-
tiefbau, Tunnellüftung



Werner Dallapiazza

Bauing. HTL
Q-Leiter
Untertagebau, Geotechnik, Spezial-
tiefbau, Pipelinebau
Qualitätsmanagement,
Sachverständiger

Jonathan Dunn

Dipl. Eng. (Civil) UCT
MAS Hydraulic Engineering EPFL/ETH
Chefingenieur
Wasserbau, Kraftwerksbau, Druckstol-
len, Schächte, Kavernenbau, Beton-
bau, Statik, Geotechnik, Spezialtief-
bau



Sebastian Böheim

Dipl. Bauing. FH
Befähigter Sprengtechniker
Untertagebau, Spreng- und TBM-Vor-
trieb, Projektmanagement
Ausschreibungen, Genehmigungspla-
nung

Ralf Wetzel

Dipl. Masching.
Dr. Ing. (Maschinenbau)
Tunnellüftung Bau und Betrieb, HLK,
Technische Ausrüstung, Betriebs- und
Sicherheitsanlagen



Markus Schwalt

Dipl. Bauing. TU
Dr. sc. techn. (Hydraulik) ETH
Untertagebau, Geotechnik, Spezial-
tiefbau, Wasserbau / Kraftwerksbau,
Geomechanik, Projektmanagement
Sachverständiger

Heiko Atzbacher

Dipl. Bauing. TH
Dipl. Wirtschaftsing. FH
Baustellenorganisation, Vertragswe-
sen, Projektmanagement
Untertagebau, Spezialtiefbau, Tun-
nelsanierungen
Chefbauleiter Eppenbergl



Rudolf Kummrow

Dipl. Kulturing. ETH
Untertagebau TBM und konventionelle
Vortriebe, Vertragswesen, Geotechnik,
Spezialtiefbau,
Chefbauleiter Belchen

Hartmut Dickel

Dipl.-Ing. Vermessungswesen TH
Vermessung, Geoinformatik, Räumli-
che Informationssysteme, GIS, Digi-
tale Geländemodellierung, Leitungska-
taster, Trassierung, felsmechanische
Messungen



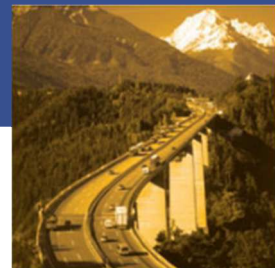
Yuca Shiao Hou

BSc. Civil Engineering NTU
MSc. Bauing. TU
Tunnelbau, konventioneller Vortrieb,
TBM, Tunnelsanierungen, Projektma-
nagement

Benjamin Rüde

MEng Bauing. FH
Konstruktiver Ingenieurbau, Statik,
Untertagebau, Geotechnik, Spezial-
tiefbau, Microtunnelling.
Bauleitung





ILF Beratende Ingenieure bietet internationale Planungs- und Beratungskompetenz in den Bereichen Energie, Wasser und Umwelt, Öl und Gas sowie Bau und Infrastruktur und unser Kunden setzen seit vielen Jahren auf diese umfassende Kompetenz und Berufserfahrung

ILF Beratende Ingenieure AG
Flurstrasse 55
CH-8048 Zürich
Schweiz

Tel.: +41 (44) 435 37 50
Fax: +41 (44) 435 37 51
mailto: info.zrh@ifl.com

ILF Consulting Engineers Austria GmbH
Feldkreuzstrasse 3
A-6063 Rum bei Innsbruck
Österreich

Tel.: +43 (512) 24 12-0
Fax: +43 (512) 24 12-59 00
mailto: info.ibk@ifl.com

ILF Beratende Ingenieure GmbH
Werner-Eckert-Strasse 816
D-81829 München
Deutschland

Tel.: +49 (89) 25 55 94-0
Fax: +49 (89) 25 55 94-144
mailto: info.muc@ifl.com