



ENGINEERING
EXCELLENCE



Publikation STC 2017 Sanierungstunnel Belchen

Sebastian Böheim, Dipl. Bau-Ing. (FH), ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich/CH, Flavio Chiaverio, Dipl. Ing. ETH, A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel/CH, Ueli Straumann, Dipl. Ing. ETH, Emch+Berger AG, Bern/CH. In: Swiss Tunnel Congress 2017 Band 16. S. 56–67 (2017)

Sebastian Böheim, Dipl. Bau-Ing. (FH), ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich/CH
Flavio Chiaverio, Dipl. Ing. ETH, A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel/CH
Ueli Straumann, Dipl. Ing. ETH, Emch+Berger AG, Bern/CH

A2 Sanierungstunnel Belchen

Anspruchsvolle Geologie und daraus resultierende Anforderungen für das Projekt

Der Belchentunnel ist ein Kernstück der A2 auf der Nord-Süd-Achse. Er durchörtert den östlichen Ausläufer des Faltenjuras, welcher bekannt für quellfähige Gesteinsschichten sowie geotechnisch anspruchsvolle, zum Teil wasserführende Übergänge ist. Der neue Tunnel (STB) dient während der Sanierung der bestehenden Tunnelröhren aus den 60er Jahren einer durchgehenden Sicherstellung von zwei Fahrspuren je Richtung.

A2 Belchen Renovation Tunnel

Challenging Geology and the Resulting Project Requirements

The Belchen tunnel is a core part of the A2 in the north-south axis. It passes through the eastern foothills of the Fold Jura, which is known for its swelling rock layers and its geotechnically challenging and in some cases water-bearing transitions. The new Belchen tunnel (known as the STB) will ensure that two lanes are continuously available in each direction while the existing tunnels dating from the 1960s are being renovated.

1 Projektvorstellung

1.1 STB – BTB generell

Der Belchentunnel im Abschnitt der A2 weist ein Verkehrsaufkommen von ca. 55 000 Kfz pro Tag und einen Schwerverkehrsanteil von ca. 11 % auf. Die A2 entwickelte sich in den letzten Jahrzehnten zu einem der meistbefahrenen Autobahnabschnitte der Schweiz und ist dabei ein zentrales Element der Transitroute Deutschland–Italien (siehe Bild 1).

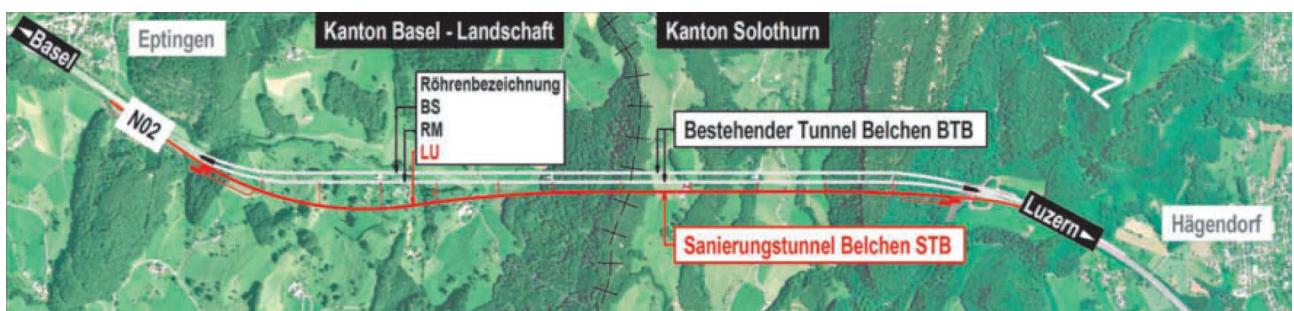
Der neue Sanierungstunnel (STB) quert das Juragebirge mit einer Länge von 3,2 km und verläuft im Süden parallel zur bestehenden Weströhre in einem Achsabstand von ca. 40 m (siehe Bild 2). Damit die geforderten Überdeckungen gewähr-

1 Project Concept

1.1 General Notes on the New Belchen Tunnel (STB) and the Existing Belchen Tunnel (BTB)

The Belchen tunnel located in the section of the A2 is used by around 55,000 vehicles per day, with approximately 11 % of this total comprising heavy goods traffic. Over the last few decades, the A2 has developed into one of the most-used motorway sections in Switzerland and is a central element of the Germany-Italy transit route (see Fig. 1).

The new renovation tunnel (STB) traverses the Jura Mountains along a stretch of 3.2 km and its south section runs parallel to the existing west tunnel at a centre distance



1 Gesamtsituation der A2 mit allen Belchentunnelröhren (rot: STB)
Overall situation of the A2 with all Belchen tunnels (red: STB)

Quelle/Credit: Bundesamt für Strassen (ASTRA)/Federal Roads Office (FEDRO)

Galerie de réfection du Belchen sur l'A2

Géologie complexe et exigences résultantes pour le projet

D'une part, le Belchen divise les cantons de Bâle-Campagne et de Soleure. D'autre part, ce sommet comprend des tunnels de grande envergure depuis des décennies. Les tunnels existants de l'A2, avec sens de circulation séparés, ont été réalisés dans les années 60 et mis en circulation en 1970. Ces tunnels traversent les montagnes du Jura composées en partie de roches aptes à gonfler comme le keuper gypseux et l'argile à Opalinus. Dès la construction des tunnels existants, des premiers dommages sont survenus dans le keuper gypseux suite à des gonflements, lesquels dommages évoluent encore aujourd'hui. Un assainissement des tunnels existants est nécessaire. C'est pour réduire les difficultés de circulation associées sur cet axe très emprunté que la galerie de réfection Belchen est construite.

A2 – galleria di risanamento del Belchen

La situazione geologicamente impegnativa e le sfide da essa derivanti per il progetto

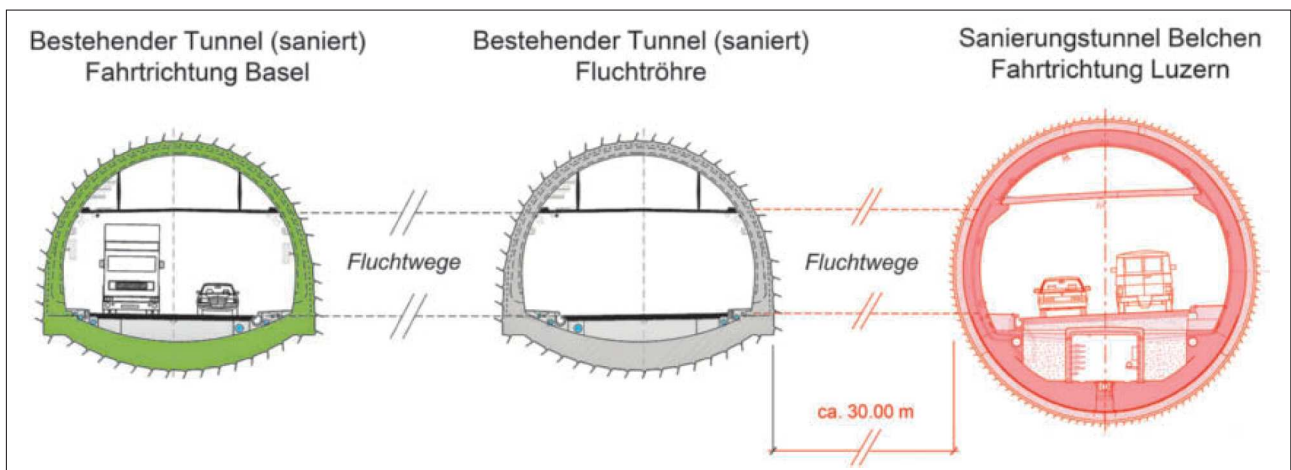
Il Belchen, che separa i cantoni di Basilea Campagna e Soletta, costituisce da decenni una montagna con delle costruzioni di gallerie ambiziose. Le gallerie della A2 esistenti, separate per senso di marcia, sono state costruite negli anni '60 e aperte al traffico nel 1970. Le gallerie attraversano il Massiccio del Giura con porzioni di rocce con capacità di rigonfiamento, come le formazioni di tipo Gipskeuper e l'argilla a Opalinus. Già al momento della costruzione del tunnel esistente, a causa dei rigonfiamenti, si sono verificati i primi danni nelle formazioni di tipo Gipskeuper, che continuano a svilupparsi ancora oggi. È necessario un risanamento della galleria esistente. Per limitare al minimo i disagi per la circolazione su questo asse viario ad alta percorrenza, verrà costruita la galleria di risanamento del Belchen (STB).

leistet sind, um möglichen Quellhebungen zu begegnen, weist der neue STB im nördlichen Abschnitt eine lange Kurve ($R = 1250\text{ m}$) mit einem daraus resultierenden vergrößerten Achsabstand von ca. 116 m zur bestehenden Weströhre auf (siehe Bild 1) und mündet mit einem Achsabstand von ca. 19 m am Nordportal wieder in die bestehende Vorzone ein.

Mit dem Abschluss der Arbeiten am STB wird der Verkehr entsprechend den Erfordernissen für weitere Sanierungsmassnahmen der bestehenden Tunnelröhren wahlweise durch zwei der drei Röhren geführt. Für periodisch auszuführende Arbeiten für den Unterhalt, allfällige Sanierungen oder im Ereignisfall ermöglicht dies eine Vielzahl von Kombinationen der Betriebszustände der drei Röhren. Die zeit-

of around 40 m (see Fig. 2). To ensure that the necessary covers are guaranteed in order to combat potential swelling-induced heave, the north section of the new STB features a long curve ($R = 1,250\text{ m}$) that results in an increased centre distance of around 116 m to the existing west tunnel (see Fig. 1). It joins back up with the existing approach zone at the north portal with a centre distance of around 19 m.

With the completion of the work on the STB, the traffic is optionally routed through two of the three tunnels in accordance with the requirements concerning additional renovation measures for the existing tunnels. This enables the operating states of the three tunnels to be combined



Quelle/credit: IG STBelchen

2 Normalprofilardarstellung STB mit BTB

Standard tunnel cross-section of the Belchen renovation tunnel (STB) with the existing Belchen tunnel (BTB)

gleiche Nutzung aller drei Röhren und eine damit verbundene Kapazitätserhöhung ist nicht vorgesehen.

Im Normalbetrieb fließt der Verkehr in Richtung Luzern durch den neuen STB (Röhre Chiasso) und Richtung Basel durch die bestehende Oströhre.

Der STB wird in maschineller Bauweise mittels einer Tunnelbohrmaschine mit Schild (TBM-S) aufgeföhren. Die spätere mittlere Röhre (Röhre Mitte) wird nach den Sanierungsarbeiten zu einer Flucht- und Rettungsröhre umfunktioniert. Dabei werden elf Querverbindungen (QV) mittels konventionellen Sprengvortriebs bzw. maschinenunterstützten Vortriebs in Spritzbetonbauweise mit Ortbetonverkleidung realisiert, fünf QV als begehbare und sechs QV als befahrbare Verbindungen. In den Drittelpunkten werden je unterirdische Zentralen mittels Spreng-/Teilschnittmaschinenvortrieb analog den QV aufgeföhren und über befahrbare Querverbindungen erschlossen.

Besonderes Gewicht wurde auf die architektonische Gestaltung und Eingliederung der beiden mehrstöckigen Betriebs- und Lüftungszentralen mit den Rauchauslasskaminen in den beiden Portalbereichen gelegt.

1.2 Geologie und Hydrogeologie

Der Belchentunnel erstreckt sich in der tektonischen Einheit des Faltenjuras (siehe Bild 3). Das Gebirge wird durch eng gescharte Falten und Überschiebungen aufgebaut und ist das Ergebnis einer späten Verkürzung in der alpinen Gebirgsbildung zwischen Europa und Afrika. Als allgemein akzeptiertes tektonisches Modell dient hierfür die Fernschubhypothese nach Buxtdorf (1916). Demnach wurden die mesozoischen Gesteine entlang einer grossen Überschiebung in den triassischen Evaporiten vom Grundgebirge abgeschert und im Vorland der Alpen in einem Falten- und Überschiebungsgürtel – dem Juragebirge – verkürzt.

In der Linienführung des Belchentunnels wird das Gebirge durch Sandsteine, Evaporite, Dolomite und Kalke der Trias sowie Kalke, Mergel und Tonsteine der Jurazeit aufgebaut. Während der mittleren Trias lagerten sich Evaporite, Dolomite und Kalke in einem seichten Meeresarm der alpinen Tethys (germanisches Becken) ab. Eine Regression in der späten Trias (Keuper) führte kontinentale Umweltbedingungen herbei. Die Tonsteine und Anhydrite des Gipskeupers zeigen diesen Übergang von einer marinen zu einem kontinentalen Ablagerungsraum. Eine erneute Zunahme der Meerestiefe während des Unterjuras ist in ihren Kalken und Mergeln, häufig reich an Ammoniten, abgebildet. Darüber liegen die Tonsteine des Opalinuston. Zusammen mit den Schichten des unteren Doggers und des Hauptrogensteins sind in diesen Sedimentabfolgen vorwiegend Tonsteine und Mergel aufgeschlossen. Die stratigrafische Abfolge des Belchens endet mit Mergeln und Kalken des Oberen Jura.

Die aufzuföhrende Strecke durchfährt mehrfach den oben beschriebenen generellen Aufbau im Jura. Dabei sind ca.

in a variety of ways in the course of periodic maintenance work, for the purpose of renovation work of any kind or in the event of an incident. There are no plans for all three tunnels to be used simultaneously, which would be associated with an increase in capacity.

In normal operation, the traffic heading towards Lucerne flows through the new STB (Chiasso tunnel) and the traffic in the direction of Basel passes through the existing east tunnel.

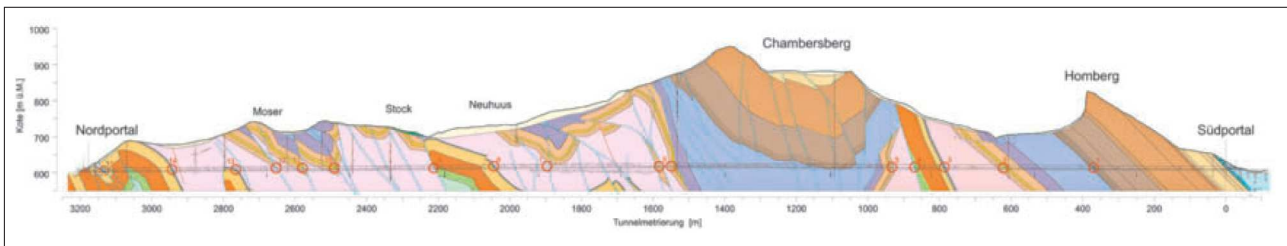
The STB is mechanically excavated using a shielded tunnel boring machine (TBM-S). Following the renovation work, the subsequent centre tunnel will be repurposed as an escape and rescue tunnel. This involves the creation of eleven cross passages by means of conventional drill and blast tunnelling as well as a machine-supported drive with a shotcrete construction featuring cast-in-situ concrete lining. Five of these cross passages will be suitable for pedestrians and six will be accessible to traffic. At each third of the way, excavation work will be performed for each of the underground control centres via the same drill and blast/roadheader tunnelling procedure used for the cross passages. Access will be ensured via cross passages that are suitable for road vehicles.

There was a particular emphasis on the architectural design and incorporation of the two multi-storey operation and ventilation control centres with the smoke outlet chimneys in both portal areas.

1.2 Geology and Hydrogeology

The Belchen tunnel extends into the tectonic unit of the Fold Jura (Fig. 3). The mountain range is made up of tightly compacted folds and thrust faults and is the result of a subsequent shortening in the Alpine mountain formation between Europe and Africa. The long-distance thrust hypothesis according to Buxtdorf (1916) is the generally accepted tectonic model in this regard. This states that the Mesozoic rock was sheared away from the bedrock along a large thrust fault in the Triassic evaporites and shortened into a belt of folds and thrust faults in the Alpine uplands – the belt being known as the Jura Mountains.

Along the route of the Belchen tunnel, the mountain range is made up of sandstones, evaporites, dolomites and limestones of the Triassic, along with limestones, marls and claystones of the Jurassic period. During the Middle Triassic, the evaporites, dolomites and limestones were deposited in a shallow estuary of the Alpine Tethys Ocean (Germanic Basin). A regression in the Late Triassic (Keuper) brought about continental environmental conditions. The claystones and anhydrites of the gypsum Keuper demonstrate this transition from a marine deposition environment to a continental one. A renewed increase in the depth of the water during the Early Jurassic is shown by the limestones and marls, which are often rich in ammonites. Above this are the claystones of



Quelle/credit: IG STBelchen

3 Geologischer Längsschnitt des STB

Geological longitudinal section of the STB

40 % der Streckenlänge im Kalkgestein (u. a. Hauptrogenstein, Liesbergschichten) und 20 % in quellhaftem Tongestein. Der Gipskeuper mit seinem stark quellfähigen Anhydrit erstreckt sich auf ca. 40 % der Tunnelgesamtlänge (BTB-Ost-röhre 1356 m, BTB-Weströhre 1308 m und STB 1296 m).

Speziell für den Belchen sind die vielfachen Wechsel der geologischen Abfolgen. Vor allem die Abfolgen zwischen Stauer und durchlässigem Gestein sind dabei als anspruchsvolle Übergänge zu beachten. Diese sind teils wasserführend, was auch die Baudokumentation der bestehenden Tunnelröhren sowie die in der bisherigen Betriebszeit festgestellten Wasserzutrittsbereiche dokumentieren. Wasserzutritte wurden für den Bau des STB mit bis zu 13 l/s sowie einem Druckniveau von bis zu 300 mWS prognostiziert.

1.3 Zustandsaufnahmen bestehende Tunnelröhren

Im Dezember 1970 wurde das Teilstück der A2 mit dem Belchentunnel dem Verkehr übergeben. Aufgrund der mit dem Bau bereits entstandenen Schäden (siehe Bild 4 oben) wurde seit der Eröffnung des Tunnels der Zustand beider Röhren periodisch erfasst. Bald stellte man eine sukzessive Zunahme der Schadstellen an Tunneltragelementen fest. Zu den bereits installierten Messungen wurden zusätzliche Messquerschnitte im Tunnel installiert, um die Entwicklung der Schäden verfolgen und deren Ursache besser verstehen zu können.

Die Auswertung der Schadensbilder und der laufenden Messungen zeigte deutlich, dass die fortschreitende Quelldruckentwicklung im Gipskeuper (Anhydrit) und Opalinuston zu einer zunehmenden Überlastung der Tunneltragelemente führt. Die Messungen zeigten weiter, dass es keine Hinweise auf eine Beruhigung der Quelldruckentwicklung gibt.

Mitte der 1990 Jahre wurden intensive Projekt- und Variantenstudien durchgeführt, um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit langfristig sicherzustellen. In den Jahren 2000 bis 2003 wurden die grössten sichtbaren Schäden am Tunnelgewölbe sowie der Strassenbelag und der Bankettbereich saniert (siehe Bild 4 unten).

Die Gewährleistung einer langfristigen Verkehrssicherheit ist nur mit einer nachhaltig wirksamen Gesamterneuerung der Tragstruktur in den quellhaften Gesteinsstrecken gegeben. Eine solche Sanierung ist nur mit einer Totalsperrung

the Opalinus clay. Together with the layers of the Early Brown Jurassic and Hauptrogenstein, these sedimentary sequences primarily feature claystones and marls. The stratigraphical sequence of the Belchen ends with marls and limestones of the Late Jurassic.

The stretch that is to be driven repeatedly passes through the general structure of the Jura that is described above. Around 40 % of the stretch extends through limestone (including Hauptrogenstein and Liesberg layers) and 20 % through swelling claystone. The gypsum Keuper, which features anhydrite with a high swelling capacity, extends through around 40 % of the overall length of the tunnel (BTB east tunnel 1,356 m, BTB west tunnel 1,308 m and STB 1,296 m).

A special feature of the Belchen tunnel is the numerous changes in the geological sequences. The sequences changing between impermeable and permeable rock must be noted as particularly challenging transitions. Some of these are water-bearing, a fact that has also been documented in the construction documentation of the existing tunnels and the water infiltration areas determined in the operating period to date. Water inflows of up to 13 l/s and a pressure level of up to 300 mH₂O were forecast for the construction of the STB.

1.3 Status Assessment of the Existing Tunnels

In December 1970, the sub-section of the A2 featuring the Belchen tunnel was opened to traffic. As a result of the damage that occurred during the construction process (see Fig. 4 top), the state of both tunnels has been periodically assessed since the tunnel was opened. A gradual increase in the scale of the damage to the tunnel bearing elements was soon detected. In addition to the measurements that had already been installed, further measuring cross-sections were installed in the tunnel in order to track the course of the damage and to better understand its cause.

The assessment of the damage patterns and the ongoing measurements clearly showed that the swelling pressure continuously developing in the gypsum Keuper (anhydrite) and the Opalinus clay leads to an increasing overload of the tunnel bearing elements. The measurements also demonstrated that there are no signs of any easing in the development of the swelling pressure.



Quelle/credit: Aegerter & Bosshardt AG

4 Schadensbilder BTB

Damage patterns in the existing Belchen tunnel (BTB)

einer Röhre über mehrere Jahre möglich. Da dies aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens nicht durchführbar ist, wurde entschieden, eine dritte Tunnelröhre zu erstellen, den Sanierungstunnel Belchen (STB).

1.4 Erfahrungen aus dem Bau der bestehenden Tunnelröhren

Schon während der Bauzeit war man mit der Problematik des Anhydritquellens im Gipskeuper konfrontiert. Infolge der Quelldrücke im Sohlbereich wurden Teile des bereits erstellten Sohlgewölbes angehoben und z.T. massiv beschädigt. Man entschloss sich darauf, ca. 1 km des bereits erstellten

In the mid-1990s, intensive project and variant studies were carried out in order to ensure structural safety and fitness for use in the long term. The largest visible areas of damage on the tunnel vault were renovated between 2000 and 2003, along with the road surface and the walkway area (see Fig. 4 bottom).

It is only possible to ensure long-term traffic safety by means of a complete replacement of the bearing structure that is performed in the swelling rock sections and has a lasting effect. A renovation of this kind is only possible with the total closure of a tunnel for several years. As the high level of traffic means that this is not feasible, it was decided to create a third tunnel – the Belchen renovation tunnel (known as the STB).

1.4 Experience Gained from the Construction of the Existing Tunnel Tubes

The problem relating to the anhydrite swelling in the gypsum Keuper arose as early as the construction process. Due to the swelling pressure in the area of the invert, parts of the invert vault that had already been created were raised and sustained significant damage in certain cases. It was decided to perform another excavation for around 1 km of the invert vault that had already been created and to replace this with a stronger vault featuring a smaller radius.

Both of the existing Belchen tunnels had originally been created in the 'German tunnelling method' using drill and blast tunnelling, featuring side headings created in advance. Various difficulties were encountered in the transition zones between the rock formations, requiring further sub-division of the excavation cross-section. More substantial water inflows were determined in certain locations in the side heading drives. In addition, a heavy steel lining was implemented in the transition areas and also in the Opalinus clay in certain cases.

1.5 Organisation and Project Participants

The STB project is supervised by the Zofingen branch of the Federal Roads Office (FEDRO). In addition to the usual roles involved in a project of this nature, such as external overall project management/senior construction management, operational and safety equipment designer, environmental construction management and expert committees, the commissions for the design and construction management of the actual tunnel construction work were issued to two engineering consortiums comprising the same individual companies – Emch+Berger AG, Aegerter & Bosshardt AG and ILF Beratende Ingenieure AG. The "Marti Belchen Joint Venture" (AMB) was the construction company commissioned with the implementation of the main tasks (structural works for the tunnel zone/approach zone and bridge construction).

1.6 Belchen Renovation Tunnel (STB) Project

1.6.1 Tunnel System

The two-lane STB runs to the west of the existing tunnels at around the same height. As with the existing tunnels, the

Sohlgewölbes wieder abzubrechen und durch ein stärkeres Gewölbe mit kleinerem Radius zu ersetzen.

Die beiden bestehenden Tunnelröhren des Belchentunnels wurden ursprünglich in der «Deutschen Bauweise» mit vorgängig erstellten seitlichen Ulmenstollen im Sprengvortrieb erstellt. In den Übergangszonen der Gesteinsformationen traten dabei diverse Schwierigkeiten auf, die eine weitere Unterteilung des Ausbruchquerschnitts erforderten. In den Ulmenstollenvortrieben wurden lokal grössere Wasserzutritte festgestellt. Auch ein schwerer Stahlausbau wurde in den Übergangsbereichen und teilweise im Opalinuston ausgeführt.

1.5 Organisation und Projektbeteiligte

Das Projekt des STB wird durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA), Filiale Zofingen, betreut. Neben den für ein solches Projekt üblichen Stabstellen wie externe Gesamtprojektleitung/Oberbauleitung, Planer BSA, Umweltfachbauleitung, Expertengremien etc. sind für die Planung und die Bauleitung der eigentlichen Rohbauarbeiten zwei aus den gleichen Einzelunternehmen bestehende Ingenieurgesellschaften mit Emch+Berger AG, Aegerter & Bosshardt AG und ILF Beratende Ingenieure AG beauftragt worden. Als ausführende Firma wurde die «Arbeitsgemeinschaft Marti Belchen» (AMB) mit der Realisierung der Hauptarbeiten (Rohbau Tunnel-/Vorzone und Brückenbauarbeiten) beauftragt.

1.6 Projekt Sanierungstunnel (STB)

1.6.1 Tunnelsystem

Der zweispurige STB wird westlich der bestehenden Tunnelröhren in ungefähr gleicher Höhenlage geführt. Analog den bestehenden Tunnelröhren steigt der STB von Norden her mit 0,85 % bis zum Kulminationspunkt ungefähr in Tunnelmitte und fällt Richtung Südportal mit ca. 0,49 %. Die Trassierung basiert auf einer Ausbaugeschwindigkeit von 100 km/h. Das erforderliche Lichtraumprofil weist eine lichte Höhe von 4,50 m und eine Fahrbahnbreite für die beiden Spuren von 7,75 m auf.

Unter der Fahrbahn befindet sich ein durchgehender Werkleitungskanal, mit dem die einzelnen über die gesamte Tunnellänge verteilten Betriebs- und Sicherheitselemente erschlossen werden. Zugänge zum Werkleitungskanal für die Installation sowie den Betrieb und Unterhalt der Ausrüstung bestehen in den vier Betriebszentralen (zwei unter Tage und je eine an den Portalen). Die Reinigung und die Kontrolle der Bergwasserdrainage sowie die Ableitung erfolgen ebenfalls über Schächte in der Sohle des Werkleitungskanals.

Mit der Zwischendecke über dem Fahrraum wird im Firstbereich des Tunnelquerschnitts der Abluftkanal abgetrennt. Im Abstand von 100 m sind gesteuerte Abluftklappen eingebaut, die im Störfall ein konzentriertes Absaugen von Rauchgasen aus dem Fahrraum ermöglichen. Mit einem Portalabstand von ca. 90 m im Süden und ca. 200 m im Norden endet die Zwischendeckenkonstruktion und die Abluft wird

STB features an inclination of 0.85 % from the north to the culmination point located approximately in the centre of the tunnel and a 0.49 % downward gradient in the direction of the south portal. The route is based on a designed speed of 100 km/h. The unobstructed space profile that is required features a clear height of 4.50 m and a road width of 7.75 m for both lanes.

Beneath the road is a continuous service channel that is used to access the individual operating and safety elements distributed throughout the entire length of the tunnel. The service channel can be accessed for the purpose of installation, operation and maintenance of the equipment via the four operation control centres (two below ground and one at each of the portals). The cleaning, monitoring and discharge of the water drainage are also performed via shafts in the invert of the service channel.

The intermediate ceiling above the driving area is used to separate the exhaust duct in the ridge area of the tunnel cross-section. Controlled exhaust flaps are fitted at intervals of 100 m, enabling concentrated extraction of smoke gases from the driving area in the event of an incident. The intermediate ceiling construction ends with a portal clearance of around 90 m in the south section and around 200 m in the north, and the exhaust air is conveyed in the direction of the respective portal via the exhaust tunnels that run parallel to the tunnel. The actual extraction of the smoke gas is performed via the smoke gas outlet chimneys with the help of fans in the two portal control centres.

Combined SOS and hydrant niches are constructed every 150 m along the west walkway as an additional safety element. The supply to the hydrants takes place via a compressed-air line that is mounted in the service channel and is connected to an existing reservoir located above the north portal.

The STB is implemented in the separating system, with the process water – which normally consists of the meteoric water brought in by the vehicles – being collected via continuous slotted channels on one side and fed to the wastewater pipe every 50 m via siphon shafts.

1.6.2 Standard Tunnel Cross-Section – Resistance Principle

The crucial load case for measuring the supporting structure is a foreseeable swelling pressure from the gypsum Keuper. Working together with the client and a committee of experts, the resistance principle was specified as the lining concept. The supporting elements in this context are the segment lining ring, which acts as a permanent supporting element, and the inner vault itself (see Fig. 5).

The installation of the segment lining ring creates an initial ring closure, which makes it possible to counteract the developing swelling pressure with resistance at an early stage.

in parallel zur Tunnelröhre verlaufende Abluftstollen je Richtung Portal überführt. Die eigentliche Rauchgasabsaugung erfolgt mit Hilfe von Ventilatoren in den zwei Portalzentralen über die Rauchgasauslasskamine.

Als weiteres Sicherheitselement werden am westlichen Fahrbahnbankett alle 150 m kombinierte SOS- und Hydrantenischen gebaut. Die Versorgung der Hydranten erfolgt über eine im Werkleitungskanal angebrachte Druckwasserleitung, die an einem über dem Portal Nord liegenden bereits bestehenden Reservoir angeschlossen ist.

Der STB wird im Trennsystem realisiert, wobei das Betriebswasser, das im Regelfall aus dem durch die Fahrzeuge eingeschleppten Meteorwasser besteht, über einseitig durchgehende Schlitzrinnen gesammelt und alle 50 m über Siphonschächte der Schmutzwasserleitung zugeführt wird.

1.6.2 Normalprofil – Widerstandsprinzip

Der massgebende Belastungsfall für die Bemessung der Tragkonstruktion ist ein zu erwartender Quelldruck aus dem Gipskeuper. Als Ausbaukonzept wurde gemeinsam mit der Bauherrschaft und einem Expertengremium das Widerstandsprinzip festgelegt. Als Tragelemente wirken dabei der Tübbingring als dauerhaftes tragendes Element sowie das Innengewölbe selbst (siehe Bild 5).

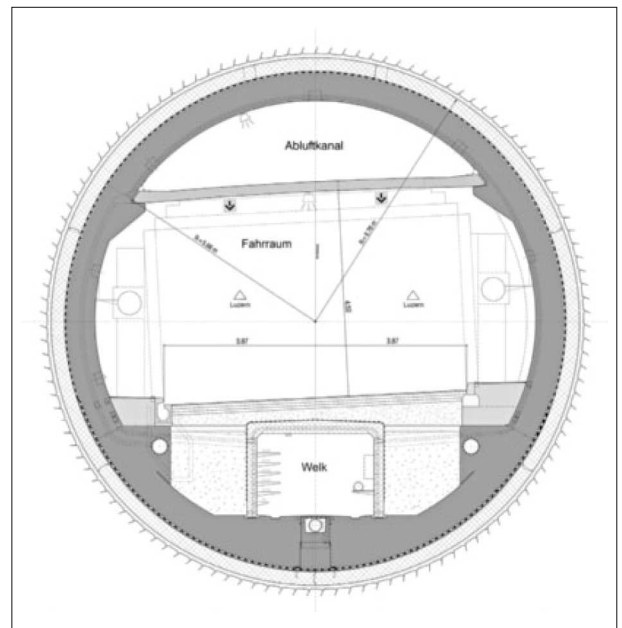
Mit dem Einbau des Tübbingrings erfolgt ein erster Ringschluss, womit dem sich entwickelnden Quelldruck frühzeitig ein Widerstand entgegengesetzt wird. Mit dem zweiten Ringschluss, dem Einbau des Innengewölbes spätestens vier Monate nach dem Ausbruch, wirkt der definitive Widerstand (Sandwich-Lösung) dem Quelldrücken entgegen.

1.6.3 Abdichtungs- und Entwässerungssystem

Der STB wird mit einer vollflächigen druckentlastenden Abdichtung, bestehend aus einer 3 mm starken PVC-Abdichtungsbahn in der Sohle und im Gewölbe, mit einer Schutzfolie im Sohlbereich sowie zusätzlich in Abschnitten mit Bewehrung im Gewölbe, ausgeführt (siehe Bild 5). Die Annexbauteile wie SOS-Nischen und Querverbindungen sind analog dem Haupttunnel abgedichtet. Die Abdichtung wird als kaschierte Folie in Bahnen aufgebracht. Schutzstreifen in Block- sowie längslaufender Sohlschalung sind zusätzlich vorgesehen.

Das Entwässerungssystem sieht ein druckentlastendes Abdichtungssystem mittels systematischer Entlastung alle 30 m in Tunnellängsrichtung vor. Über Druckentlastungsschächte wird das allfällig anfallende Bergwasser in die Bergwassersammelleitung eingeleitet. Der Tübbing selbst ist ohne Dichtprofile ausgebildet und lässt das Eindringen von Bergwasser in den Fugen zu.

Basierend auf den Erfahrungen aus den bestehenden Tunnelröhren konnte eine optimierte Anordnung des Entwässerungssystems bereits in der Planung berücksichtigt



Quelle/credit: IG STBelchen

5 Normalprofil STB

Standard cross-section of the Belchen renovation tunnel (STB)

Once the inner vault lining has been installed within four months of the excavation at the latest, the second ring closure is in place and the swelling pressure is counteracted by the definitive resistance (sandwich solution).

1.6.3 Waterproofing and Dewatering System

The STB is constructed with an all-round pressure-relieving waterproofing system consisting of a 3 mm thick PVC sealing membrane in the invert and in the vault, together with protective membrane in the area of the invert and in the sections that feature reinforcement in the vault (see Fig. 5). The annexe components, such as the SOS niches and cross passages, are sealed in the same way as the main tunnel. The waterproofing system is applied in strips of laminated membrane. Protective strips are also provided in the block lining and in the longitudinal invert lining.

The dewatering system features a pressure-relieving waterproofing system with systematic relief every 30 m in the longitudinal direction of the tunnel. Incoming water that is accumulated for whatever reason is directed into the water collection pipe via pressure relief shafts. The segment lining itself does not feature sealing profiles and allows water to enter through the joints.

On the basis of the experience gained with the existing tunnels, it was possible to account for an optimised arrangement of the dewatering system as early as the design stage. In addition, horizontal seepage slits are created in the invert immediately before and after the transition areas of the gypsum Keuper and the Opalinus clay located outside of the excavation profile. These prevent longitudinal flow on the outside of the segment lining and interrupt the flow channels along the tunnel via drains featuring a radial arrangement.

werden. Zusätzlich werden in der Sohle direkt vor und nach den Übergangsbereichen des Gipskeupers bzw. Opalinuston ausserhalb des Ausbruchprofils liegende Sickerschlitzte erstellt. Diese verhindern eine Längsläufigkeit auf der Aussenseite des Tübbings und unterbrechen über radial angeordnete Drainagen die Fliesswege entlang des Tunnels. Die Schächte reichen bis ca. 2 m unter die Tübbingssohle und sind mit schwimmergesteuerten Pumpen ausgerüstet.

1.7 Termine und Baukosten

Der Baubeginn für den STB war im Herbst 2014. Die Übergabe des Tunnels an den Verkehr ist für 2022 vorgesehen. Das Projekt ist in folgende Hauptphasen unterteilt: In den Jahren 2014 und 2015 erfolgten Vor-massnahmen sowie Installations- und Trasseebauarbeiten, die eigentlichen Tunnelhauptarbeiten starteten im Februar 2016 und dauern bis voraussichtlich 2019, der Durchschlag ist Mitte 2017 geplant. Im Zeitraum 2019 bis 2022 erfolgen die Rohbauarbeiten sowie die Ausbauarbeiten und die Montage der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA). Für 2022 ist die Inbetriebnahme des Sanierungstunnels vorgesehen. Anschliessend können die Sanierungsarbeiten der bestehenden alten Röhren beginnen. Der Gesamtkredit für das Projekt beläuft sich auf ca. 500 Millionen Franken, wobei ca. die Hälfte auf die eigentlichen Rohbauarbeiten entfällt. Per Ende 2016 befindet sich das Projekt im vorgesehenen Zeit- und Kostenplan.

2 Bautechnische Aspekte und Herausforderungen

2.1 Vortriebskonzept – vergleichende Ausschreibung

Bereits in einer frühen Planungsphase für den STB erfolgte eine technische Beurteilung der möglichen Vortriebsmethoden. In der Beurteilung kamen die Projektverfasser zum Schluss, dass sowohl ein TBM-Vortrieb mit einer Schildmaschine als auch ein schonender Sprengvortrieb machbar sind. Eine Risikoanalyse der Vortriebsmethoden zeigte, dass aber für einen TBM-Vortrieb wie auch für einen Sprengvortrieb zusätzliche Massnahmen zur Risikoverminderung zu ergreifen sind. Für einen TBM-S-Vortrieb umfassen diese Massnahmen insbesondere Vorgaben zur Bewältigung der insgesamt 15 prognostizierten Übergangs- bzw. Störzonen.

Für den konventionellen Sprengvortrieb umfassten diese Massnahmen unter anderem eine Unterteilung des Querschnitts in Kalotte, Strosse und Sohle, einen kurzfristigen Ringschluss innerhalb eines Monats bzw. bei Störzonen innerhalb von 50 m, die Vorgabe des Ausbruchverfahrens für die Sohle mittels TSM und damit verbunden die vorgängige Erstellung eines Pilotstollens (TBM) zu Lüftungs- und Erkundungszwecken bzw. zur vorgängigen Realisierung von Bauhilfsmassnahmen.

In der Folge wurde festgelegt, dass die beiden folgenden Vortriebsmethoden in zwei gleichwertigen Ausschreibungen submittiert werden:

The shafts extend up to around 2 m below the segment lining invert and are fitted with float-controlled pumps.

1.7 Schedule and Construction Costs

Construction of the STB commenced in autumn 2014. The tunnel is set to be opened to traffic in 2022. The project is divided into the following key phases: preliminary measures, installation work and route construction took place in 2014 and 2015, the actual main work in the tunnel started in February 2016 and is scheduled to last until 2019, and the breakthrough is planned for mid-2017. The tunnel construction work, the lining work and the installation of the operational and safety equipment will take place between 2019 and 2022. The commissioning of the renovation tunnel is scheduled for 2022, after which the renovation work in the existing old tunnels can begin. The total funding for the project comes to around 500 million Swiss francs, with the actual tunnel construction work accounting for half of this amount. As of the end of 2016, the project remains on schedule and on budget.

2 Construction-Related Aspects and Challenges

2.1 Drive Concept – Comparative Tender

The potential drive methods were subject to a technical assessment at an early stage while designing the STB. In this assessment, the project authors came to the conclusion that a TBM drive with a shield machine and careful drill and blast tunnelling are both feasible options. However, a risk analysis of the drive methods demonstrated that additional risk prevention measures are required in both cases, not only for a TBM drive but also for drill and blast tunnelling. For a TBM-S drive, these measures particularly include specifications for managing the 15 forecast transition and fault zones.

In the context of conventional drill and blast tunnelling, these measures included sub-dividing the cross-section into the top heading, bench and invert, deploying a temporary ring seal lining within a month or within 50 m in the case of fault zones, specifying the excavation procedure for the invert using a roadheader and the related process of creating a pilot tunnel (TBM) in advance for the purpose of ventilation, identification and preliminary implementation of auxiliary construction methods.

It was subsequently decided that both of the following drive methods were to be submitted in two equivalent tenders:

- TBM-S drive with measures
- Conventional drill and blast tunnelling with measures

The providers were given the option of submitting a tender for both of these methods or for only one of the two.

Contractor variants could be handed in only if a tender was also submitted for one of the official solutions. The tender documentation clearly defined the additional drive methods that were permitted as contractor variants.

- TBM-S-Vortrieb mit Massnahmen
- konventioneller Sprengvortrieb (SPV) mit Massnahmen

Den Anbietern wurde freigestellt, ob sie nur für eine dieser beiden oder für beide Methoden ein Angebot einreichen wollen.

Die Eingabe einer Unternehmervariante bedingte ein Angebot von mindestens einer der beiden Amtslösungen. In den Ausschreibungsunterlagen wurde klar definiert, welche zusätzlichen Vortriebsmethoden als Unternehmervarianten zulässig sind.

Insgesamt wurden neun Angebote eingereicht. Eine Arbeitsgemeinschaft bot beide Amtslösungen an, drei Arbeitsgemeinschaften boten nur die Amtslösung mit einer TBM an und eine Arbeitsgemeinschaft bot nur die Amtslösung mit einem konventionellen SPV an. Die restlichen drei Angebote basierten auf Unternehmervarianten.

2.2 Beherrschung der Übergangszonen

2.2.1 Ausgangslage

Das geologische Profil des STB ist geprägt durch eine Vielzahl von geologischen Formationswechseln, wie sie im Faltenjura üblich sind. Diese Übergänge präsentieren sich oft als tektonisierte Zonen mit gebrächem Felsmaterial. Häufig, gerade bei steilstehenden Schichtstrukturen, sind in diesen Zonen auch Wasserzuflüsse vorhanden. Bei TBM-Vortrieben in ähnlichen geologischen Verhältnissen wie z. B. beim Vortrieb des Adlertunnels waren solche Zonen schwierig zu durchdringen. Auch beim Bau der bestehenden Tunnelröhren wurden in den Übergangsbereichen die schwersten Sicherungsklassen und Bauhilfsmassnahmen dokumentiert. Lokale Ausbrüche aus der Brust infolge mangelnder Bruststabilität sowie Überbrüche des gebrächem Materials, vielfach in Kombination mit Wasser, können zu Vortriebsstillständen von Tagen bis Wochen führen. In Kenntnis solcher Gefährdungsbilder wurden entsprechende Anforderungen an die Ausrüstung der TBM-S selbst sowie an den Vortrieb gestellt.

2.2.2 Bauhilfsmassnahmen

Die nachfolgend aufgeführten wesentlichen Bauhilfsmassnahmen sind im Projekt, neben den allgemein bekannten und üblichen maschinentechnischen Anforderungen an die TBM-S (z. B. Bohrkopfauslegung), berücksichtigt worden: systematische Möglichkeit der Vorauserkundung mittels Bohrungen mit oder ohne Kerngewinnung durch den Bohrkopf (trocken und nass); Möglichkeit zur Anordnung von GFK-Ankern in der Ortsbrust wie auch über dem Schild direkt im Ansatzbereich oberhalb des Bohrkopfes als Spiessschirm (siehe Bild 6); Möglichkeit des Erstellens eines Rohrschirms über dem Schild in den Vortriebsbereich durch Öffnungen im Schildmantel.

Im Weiteren wurden auch organisatorische Massnahmen zur Überwindung der Übergangszonen als ununterbrochener Vortrieb vorgegeben. Die Übergangsbereiche zwischen komplett standfesten Gesteinsschichten wurden mit einer

Nine tenders were received in total. One consortium offered both official solutions, three consortiums offered only the official solution with a TBM and one consortium offered only the official solution featuring conventional drill and blast tunnelling. The other three tenders were all based on contractor variants.

2.2 Mastering the Transition Zones

2.2.1 Initial Situation

The geological profile of the STB is characterised by a number of geological formation changes, as is typical of the Fold Jura. These transitions often take the form of tectonically fractured zones with brittle rock material. These zones often also feature water inflow, particularly in the case of steeply sloping layered structures. Such zones have proven difficult to excavate through in the course of TBM drives performed in similar geological conditions, such as the drive of the Adler tunnel. In addition, the most serious supporting classes and auxiliary construction measures were documented in the transition areas during the construction of the existing tunnels. Local excavations from the face due to insufficient stability of the face and incidents involving the break-up of the brittle material, frequently in combination with water, may bring the drive work to a standstill for days or weeks at a time. Based on the knowledge of hazard patterns such as these, corresponding requirements were specified for the equipment of the TBM-S itself and for the drive.

2.2.2 Auxiliary Construction Measures

The key auxiliary construction measures listed below have been taken into account in the project in addition to the generally familiar and typical mechanical engineering requirements relating to the TBM-S (such as the design of the cutterhead): the systematic option of preliminary identification by means of boreholes with or without core recovery by the cutterhead (dry and wet), the option of arranging GFRP rock bolts in the face and via the shield directly in the attachment area above the cutterhead as a spile canopy (Fig. 6),



6 Bohrarbeiten Bauhilfsmassnahme GFK-Anker vom 8. Juli 2016 ab Erektor

Boring as part of the auxiliary construction measure involving GFRP rock bolts on 8 July 2016 from the erector

Quelle/credit: IG BL-STB

Längenausdehnung inkl. entsprechender Prognoseunsicherheit vorgegeben.

2.2.3 Lessons learned – NPK 267 „Bauhilfsmassnahmen“

Im Zuge der Detailprojekt- und Ausschreibungsbearbeitung wurde grosses Gewicht auf die Beherrschung der Übergangsbereiche gelegt. Die daraus resultierenden Massnahmen wurden in der Ausschreibung definiert. Bedingt durch die grosse Anzahl der Übergänge wurden die «Bauhilfsmassnahmen» (NPK 267) sowohl im Vorausmass als auch in den Sollbauzeitentabellen beschrieben und definiert. Die Kalkulation, der Offertvergleich und die spätere Ausführungsumsetzung sind von allen Parteien unterschiedlich beurteilt worden. Dies spiegelte sich auch in den Angebotssummen der Anbieter wieder. Die mit dem Projekt verbundene Kopplung des TBM-Vortriebs und der 4-Monats-Vorgabe für die Verkleidung stellt dabei einen besonders komplexen Sachverhalt dar.

Der bisherige Einsatz der technischen Vorausmassnahmen vor dem Auffahren der prognostizierten Übergangszonen hat sich bewährt. Alle Übergänge wurden vorauserkundet und in ihrer Ausdehnung und Charakterisierung für weitere Massnahmen festgelegt. Zudem konnten auch Störzonen ohne technische Massnahmen mit kleineren Schwierigkeiten, aber ohne Vortriebsstillstände durchfahren werden. Die organisatorischen Massnahmen haben sich ebenfalls bewährt. Die Drainagewirkung der bestehenden zwei Tunnelröhren auf den Bergwasserhaushalt zeigte sich positiver als erwartet. Es wurden weniger Wasserstellen und mit geringerer Ergiebigkeit angefahren – wobei der Wasserhaushalt infolge der zuvor beschriebenen Geologie und Hydrologie auch stark und direkt von den äusseren Witterungsverhältnissen abhängig ist.

2.3 Ringschlussvorgabe Verkleidung

Es gibt bzw. gab zum Planungszeitpunkt keine anerkannte und gesicherte Erkenntnis, die es erlaubt, den zeitlichen Verlauf der Quelldruckentwicklung herzuleiten. Basierend auf Erfahrungswerten aus bereits ausgeführten Vortrieben wie Belchentunnel, Adlertunnel Tunnel du Mont-Terri und Chienbergtunnel wurde festgelegt, dass innerhalb von nur vier Monaten der kraftschlüssige Ringschluss der Innenverkleidung im Gipskeuper und Opalinuston zu erstellen ist.

Für den ersten Ringschluss wurde ebenfalls vorgegeben, dass die Ausbruchsicherung im konventionellen Vortrieb im geschlossenen Kreisprofil bereits einen Monat nach Ausbruch eingebaut sein muss. Dies erfordert ein getaktetes Vorgehen und stellt bezüglich Bauablauf, Logistik und Arbeitssicherheit komplexe Anforderungen. In Störzonen musste es zusätzlich möglich sein, lokal einen Ringschluss bereits nach 50 m zu erreichen. Bei einem TBM-S-Vortrieb kann diese Anforderung mit einer entsprechenden Ring-spalthinterfüllung des Tübbingrings systembedingt eingehalten werden.

and the option of using the shield to create a pipe roofing umbrella in the drive area via openings in the shield skin.

Organisational measures were subsequently specified for overcoming the transition zones in an interrupted drive. The transition areas between fully stable rock layers were specified with a longitudinal expansion featuring the corresponding forecast uncertainty.

2.2.3 Lessons Learned – 'Auxiliary Construction Measures' (NPK 267)

In the course of processing both the project requiring a detailed design and the tender, considerable emphasis was placed on mastering the transition areas. The resulting measures were defined in the tender. Due to the large number of transitions, the 'auxiliary construction measures' (NPK 267) were described and defined in the preliminary estimates and in the target construction time tables. The calculation, the comparison of the tender offers and the subsequent implementation of the construction were assessed differently by all parties. This was also reflected in the totals for the tenders as specified by the providers. The combination of the TBM drive associated with the project and the four month stipulation for the lining are particularly complex matters in this regard.

To date, the deployment of the technical preliminary measures prior to the excavation of the forecast transition zones has proven a reliable method. All transitions were identified in advance and defined in terms of their extent and characteristics for the purpose of further measures. It was also possible to pass through fault zones without technical measures, experiencing minor difficulties but never bringing excavation to a standstill. The organisational measures have also proven their worth. The drainage effect that the two existing tunnels had on the water balance was more positive than expected. Fewer water holes were struck and the yield itself was lower – however, the geology and hydrology as described above mean that external weather conditions have a significant and direct influence on the water balance.

2.3 Ring Closure Specification for the Lining

There are, or were during the design period, no recognised and verified findings that make it possible to work out the development of the swelling pressure over time. On the basis of empirical values from previous drives such as the Belchen tunnel, Adler tunnel, Tunnel du Mont-Terri and the Chienberg tunnel, it was determined that the force-locking ring closure of the inner lining is to be created in the gypsum Keuper and Opalinus clay within only four months.

In the case of the first ring closure, it was also specified that the excavation support needed to be installed in a conventional drive in the closed circular profile within a month of excavation being performed. This requires a clocked procedure and poses complex challenges in terms of the



Quelle/credit: IG BL-5TB

7 Blick in den Bauabschnitt des Innengewölbes der AMB
View into the construction section of the inner vault of the AMB

Die Erfahrung bei der sich in Ausführung befindenden TBM-S-Vortriebsmethode zeigt, dass schwergewichtig die erforderliche Logistik aller parallel laufenden Einzelbaustellen (siehe Bild 7) zur Sicherstellung der Ringschlussvorgabe grosse Ansprüche stellt und von der ausführenden ARGE innovative Lösungen verlangt. Bis dato kann hier das von der ARGE gewählte Vorgehen trotz den anspruchsvollen Anforderungen als sehr positiv beurteilt werden.

2.4 Ausbaukonzept Verkleidung mit Bewehrung

Um im Widerstandsprinzip die erwarteten Quelldrücke aufnehmen zu können, ist auf der Strecke des maximal anzusetzenden Quelldrucks im Gipskeuper (ca. 1,5 km des Tunnels) das Innengewölbe (Sohlgewölbe und Kalottengewölbe) bewehrt auszuführen. Der Bewehrungsgehalt beträgt rund 230 kg/m^3 (siehe Bild 7).

Die Bewehrung in Ringrichtung (ausser und innen) besteht aus Eisen $\varnothing 26 \text{ mm}$ alle 15 cm. Die hohe Druckbelastung verlangt eine durchgehende Verbügelung der Ringbewehrung.

Das Sohlgewölbe wird auch in Längsrichtung durchgehend bewehrt. Das Gewölbe hingegen wird in 10-m-Etappenlängen gefügt. Auf den restlichen Strecken (ohne Quelldruckbelastung) ist das Innengewölbe, bis auf den Bereich der Konsole für das Zwischendeckenaufleger, unbewehrt.

Die Bewehrungskörbe für die Verkleidung wurden in einer Fabrikationshalle des Unternehmers segmentweise vorkonfektioniert. Das Sohlgewölbe besteht aus drei Segmenten und das Gewölbe aus vier Korbsegmenten. Der Standardkorb weist eine Breite von 2,10 m auf. Jeweils am Blockende ist ein schmales Element vorgesehen, welches auch den Einbau der Schutzrohre für die Kabelrundschläge aufnimmt. Total sind somit 35 vorgefertigte Körbe für einen 10 m langen bewehrten Gewölbeblock erforderlich.

Die Bewehrungskörbe des Kalottengewölbes werden mit einem speziellen Verlegewagen (siehe Bild 7) montiert. Sobald die Körbe miteinander verbunden sind, ist die Bewehrung selbsttragend und es braucht keine zusätzlichen Befestigungen.

construction workflow, logistics and occupational safety. In fault zones, it must also be possible to reach a local ring closure after as little as 50 m. In the case of a TBM-S drive, the corresponding backfilling of the segment lining ring ensures that this requirement can be met, depending on the system.

The experience gathered with regard to the TBM-S drive method found in the construction shows that it is predominantly the logistics required for all individual sites running in parallel (see Fig. 7) to ensure compliance with the ring closure specification that represents a significant challenge and requires the constructing consortium to deploy innovative solutions. Despite the challenging requirements, the procedure selected by the consortium has been very positive thus far.

2.4 Lining Concept: Lining with Reinforcement

In order to absorb the expected swelling pressures in the resistance principle, the inner vault (invert and top heading vault) must have a reinforced design in the stretch that features the maximum swelling pressure to be applied to the gypsum Keuper (around 1.5 km of the tunnel). The reinforcement content amounts to around 230 kg/m^3 (see Fig. 7).

The reinforcement in the direction of the ring (outside and inside circumference) is made of iron ($\varnothing 26 \text{ mm}$) and is deployed every 15 cm. The high pressure load demands a continuous hooping of the ring reinforcement.

The invert is also reinforced throughout in the longitudinal direction. In contrast, the vault is grouted in stages with a length of 10 m. The inner vault is not reinforced along the other stretches (without swelling pressure load), except for the area of the recess for the intermediate ceiling abutment.

The reinforcement cages for the lining were pre-assembled in a segment-by-segment process at a production hall owned by the contractor. The invert consists of three cage segments and the vault comprises four cage segments. The standard cage has a width of 2.10 m. A small element is provided at each end of the block; this also accommodates the installation of the conduits for the cable radials. A total of 35 prefabricated cages are therefore required for a 10 m long reinforced vault block.

The reinforcement cages of the top heading vault are mounted with a special placing carriage (see Fig. 7). Once the cages have been connected to one another, the reinforcement is self-supporting and does not require any additional mountings.

Thanks to the high level of prefabrication, it is possible to guarantee compliance with the installation cycle required for the four month regulation. In this regard, the transport to the construction site, the storage and the intermediate

Dank dem hohen Vorfertigungsgrad kann der Einbautakt zur Sicherstellung der 4-Monats-Regelung gewährleistet werden. Dabei stellen der Transport zur Baustelle, die Lagerung sowie der Zwischentransport zur Einbaustelle der vorgefertigten Korbbögen ein weiteres Bindeglied im Gesamtlauf dar.

3 Stand der Arbeiten

Bis zum Jahreswechsel 2016/17 wurden ca. 60% der Vortriebsstrecke mit der TBM aufgefahren. Die Arbeiten der Verkleidung bis und mit Fertigstellung der provisorischen Fahrsole auf Niveau Werkleitungskanal folgen der TBM und stehen bei ca. 52% für die Sohle, ca. 25% für das Gewölbe und ca. 10% für die Zwischendecke. Die Arbeiten für die Abluftstollen Nord und Süd, die Brücke Süd sowie ein grosser Teil der Trasseebauarbeiten sind abgeschlossen. Die zu erstellenden Querverbindungen wurden im Zuge der zeitkritischen Verkleidungsarbeiten nur angeschlagen. Der eigentliche Ausbruch und der Betonbau erfolgen erst ab Mitte erstes Quartal 2017. Die Arbeiten für die obertägigen Zentralen wurden Ende 2016 gestartet und weisen aktuell einen Fertigstellungsstand von ca. 20% auf. Die Arbeiten erfolgen nach Plan. Gegenüber dem Werkvertragsprogramm liegt ein ca. halbjähriger Vorsprung vor, bedingt durch den früheren Baubeginn im gleichen Umfang.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die beauftragte Vortriebsmethode der TBM-S sowie die im Rahmen der Ausführung von der ARGE umgesetzten Vorgaben der 4-Monats-Regelung haben sich für den Bau des STB bewährt. Die intensiven Arbeiten in den Verkleidungsbaustellen sind sehr anspruchsvoll und bedingen von allen Beteiligten innovative Ansätze, einen frühen und hohen Planvorlaufstand sowie von ARGE und Bauleitung eine weit vorgezogene AVOR der Innenausbauarbeiten. Die Bauherrschaft hat im Rahmen der Ausschreibung hierfür eine zusätzliche Vergütungsregelung der AVOR umgesetzt, dank deren alle Beteiligten bereits früh gezwungen waren, sich in die Aufgabenstellung (Vortrieb und Ausbau) einzubringen.

Die Arbeiten des Vortriebs und des Ausbaus sind auf Kurs und werden Ende 2017 für den Haupttunnel abgeschlossen.

transport to the installation site of the prefabricated cage arches represent an additional link in the overall process.

3 Current State of Work

Around 60% of the drive had been excavated with the TBM by the turn of the year 2017. The lining work up to and including the completion of the temporary driving invert at the level of the service channel follows the TBM and is currently at around 52% for the invert, around 25% for the vault and around 10% for the intermediate ceiling. The work on the north and south exhaust tunnels, the south bridge and a large proportion of the route construction have already been completed. In the course of the time-critical lining work, the cross passages that are to be created only had their foundations laid. The actual excavation and concrete construction will only be performed from the middle of the first quarter of 2017. Work was started on the above-ground control centres at the end of 2016 and is currently around 20% complete. The work is being performed according to plan. It is proceeding approximately half a year ahead of the construction schedule specified in the contract, since construction was started this far in advance.

4 Summary and Outlook

The commissioned drive method of the TBM-S and the specifications for the four month regulation that were implemented by the consortium in the course of the construction have proven themselves for the building of the STB. The intensive work at the lining sites is very demanding and requires innovative approaches from all those involved, makes it necessary to be considerably ahead of the design schedule from an early stage, and demands that work planning for the inner lining activities be decided a long time in advance by the consortium and construction management. Within the scope of the tender, the client implemented an additional remuneration regulation in relation to the work planning for this purpose. As a result, all those involved were required to participate in the task (drive and construction) at an early stage.

The drive and construction work is on course and will be completed by the end of 2017 for the main tunnel.



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 Eppenber



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