Das Projekt und die Bauausführung: wichtigste Erkenntnisse aus dem Vertrieb der Tunnelbohrmaschine und der angewandten Betontechnologie

Autor(en): **Chiaverio, Flavio / Rotzler, Reto / Unrath, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 49/50: **Adlertunnel**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-80014

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

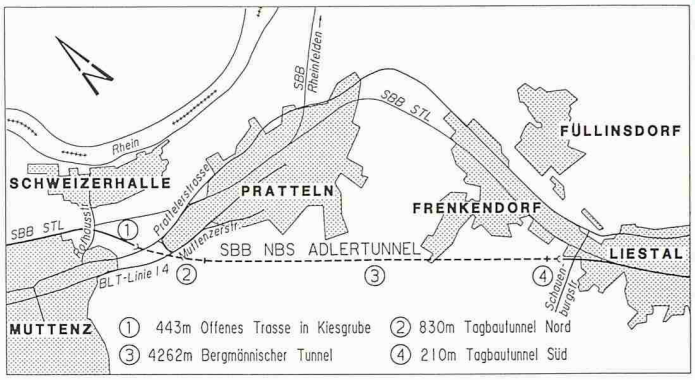
Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Flavio Chiaverio, Reto Rotzler, Peter Unrath, Carl Wieland



1
Übersicht Streckenabschnitte

Das Projekt und die Bauausführung

Wichtigste Erkenntnisse aus dem Vortrieb der Tunnelbohrmaschine und der angewandten Betontechnologie

Mit der Eröffnung der Neubaustrecke Muttenz–Liestal mit dem Adlertunnel als Kernstücke und den erneuerten Sicherheitsanlagen in Pratteln werden zwei moderne, kreuzungsfreie und leistungsfähige Doppelspuren zur Verfügung stehen. Die Strecke weist gegenüber der bisherigen eine wertvolle Kapazitätssteigerung in Pratteln auf.

Mit der neuen Umfahrung wird die schon lange gewünschte Entflechtung der Verkehrsstränge Basel–Olten–Bern und Basel–Rheinfelden–Zürich in diesem äusserst stark belasteten Raum möglich. Wird zudem zwischen Sissach und Olten die Alte Hauensteinlinie bahnbetrieblich mitbenutzt, so reduziert sich der zweispurige Abschnitt zwischen Basel und Olten nur noch auf ein kleines Stück zwischen Liestal und Sissach.

Die Neubaustrecke gliedert sich in drei Abschnitte:

- Ab Bahnhof Muttenz verlaufen auf ungefähr 600 m Länge neu vier Gleise entlang der bestehenden alten Stammlinie Richtung Pratteln. Die zwei Randgleise stellen die Verbindung nach Pratteln her und die mittleren Gleise werden als Neubaustrecke doppelspurig kreuzungsfrei über das Stammliniengleis Pratteln–Muttenz geführt (Bild 1).
- Dem offenen Teilabschnitt folgt der 5,3 km lange Adlertunnel.
- Im Südabschnitt wird die Neubaustrecke wieder an die Stammlinie Basel–Olten angeschlossen.

Die Bauarbeiten begannen im Dezember 1993 mit den Arbeiten im Bereich des Bahnhofes Muttenz. Nach rund sieben Jahren Bauzeit kann die Neubaustrecke termingerecht in Betrieb genommen werden.

Linienführung

Bahnhof Muttenz–Rothausstrasse

Für den kreuzungsfreien Anschluss der Neubaustrecke an die bestehende Stammlinie waren neben diversen Stützmauern auch drei Brückenbauwerke neu zu erstellen:

- Das Überwerfungsbauwerk für die Überführung des zweispurigen Neubaustreckentrassees über das verlegte Stammliniengleis Pratteln–Muttenz
- Die neue Brücke für das verlegte Stammliniengleis Pratteln–Muttenz über die Rothausstrasse
- Die Brücke für die zweispurige Neubaustrecke über die Rothausstrasse

Das Überwerfungsbauwerk konnte bereits 1996 in Betrieb genommen werden.

Rothausstrasse–Tunnelportal Nord

Das rund 470 m lange offene Trasseeteilstück führt in einem leicht geschwungenen S-Bogen durch das Areal einer Kiesgrube. Vom Hochpunkt bei der Überquerung der Rothausstrasse fällt das Trassee mit 13 $^0/_{00}$ Richtung Tunnelnordportal. Praktisch der ganze Abschnitt liegt im Bereich der Kiesgrube, in der Kies bis in 20 m Tiefe abgebaut und die Grube in Teilbereichen mit verschiedenen Materialien ohne Verdichtung wieder aufgefüllt wurde.

Das neue Bahntrassee liegt streckenweise hoch über der ehemaligen Kiesgrubensohle und teilweise in der bestehenden Auffüllung. Aus wirtschaftlichen und aus Platzgründen konnte die bestehende Auffüllung unter dem künftigen Bahntrassee nicht vollständig ausgeräumt und durch eine verdichtete Kiesschüttung ersetzt werden. Zur Baugrundverbesserung wurde die Methode der Rüttelstopfverdichtung[1] angewandt. Die Kiesgrube diente als Deponie für das Tunnelausbruchmaterial. Die rund 800 000 m^3 Ausbruchmaterial aus dem Tunnel wurden im nördlichen und im westlichen Bereich

der Grube, wo die Kiesausbeutung bereits abgeschlossen ist, eingebaut. Während des Bewilligungsverfahrens sind Auflagen betreffend der Ablagerung des Gipskeupermaterials in das Projekt eingeflossen. Der Gipskeuper muss in horizontalen Lagen und gegen unten und seitlich mit Tonmaterialien aus dem Tunnel (z.B. Opalinuston) dicht abgeschlossen eingebracht werden, damit kein wassergelöstes Sulfat ins Grundwasser gelangen kann.
Die neu erstellten Böschungen wurden auf der westlichen Seite nur wenig und auf der ostorientierten Seite gar nicht humusiert, sondern als Ruderalstandort mit Wärmeinseln für Reptilien angelegt.

Adlertunnel

Nach dem Nordportal beschreibt das Trassee auf 1200 m Länge eine leichte Linkskurve mit einem Radius von 2500 m. Daran schliesst eine fast 3500 m lange gerade Strecke an, die 600 m vor dem Südportal durch eine leichte Rechtskurve abgelöst wird. Rund 200 m südlich des Nordportales liegt der Tiefpunkt des Tunnels. Das Längsgefälle von 13 $^0/_{00}$ der offenen Zufahrtsrampe auf Seite Muttenz geht im Tunnel in eine Steigung von 3 $^0/_{00}$ über. Nach weiteren 300 m erhöht sich die Steigung auf 8 $^0/_{00}$, die für die restliche Tunnelstrecke beibehalten wird. Die maximale Überdeckung des Tunnels beträgt 190 m unter dem Adlerberg und die minimale im bergmännisch zu erstellenden Abschnitt 50 m («Im Tal»). Das Wohnquartier Risch von der Gemeinde Frenkendorf wird in rund 55 m Tiefe unterfahren (Bild 2).

Tunnelportal Süd – Anschluss ans Stammgeleis

Nach dem Tunnelportal schliesst die Neubaustrecke mit einem rund 800 m langen offenen Teilstück an die bestehende Stammlinie Basel–Olten an.

Teilabschnitte Adlertunnel

Tagbaustrecke Nord

Die ersten 830 m des Tunnels haben nur eine geringe Überdeckung und werden deshalb im Tagbau erstellt. Das Tunnelprofil liegt beinahe vollständig im Niederterrassenschotter des Rheintales.
Für die Dimensionierung des Tunnelquerschnittes mussten zwei wesentliche Einwirkungen berücksichtigt werden: erstens die Doline unter dem Tunnel und zweitens grossflächige Einsenkungen im Terrain.
Aufgrund der lokalen Erfahrungen ging man bei der Bemessung von einer Normdoline mit einem Durchmesser von 22 m und von grossflächigen Setzungen von maximal 1 cm pro Jahr mit einem Muldendurchmesser von 100 m aus. Die neuesten Messungen haben überraschend hohe Einsenkungswerte bis zu 1cm pro Monat gezeigt, womit im betroffenen Tagbautunnelabschnitt spezielle Massnahmen getroffen werden mussten (siehe Beitrag «Tagbaustrecke Nord, ein Tunnel auf Pressen»).
Als Resultat der Bemessung ergab sich ein fast kreisrunder Tunnelquerschnitt, der auf den ganzen Streckenabschnitten ohne Dilatationsfugen durchgehend armiert ist. Der Tunnel vermag die Doline innerhalb der Gebrauchs- und Betriebssicherheit gleichsam als Brücke zu überspannen sowie dank der Duktilität sich den grossflächigen Einsenkungen gleichmässig anzupassen (Bild 3).

Tagbau Süd

Die 210 m lange Tagbaustrecke Süd liegt zum grössten Teil in den Hochterrassenschottern des Ergolztales. Aufgrund der Hanglage musste der Tunnel auf grosse seitliche, unsymmetrische Belastungen der Hinterfüllung bemessen werden.

Bergmännische Tunnelstrecke

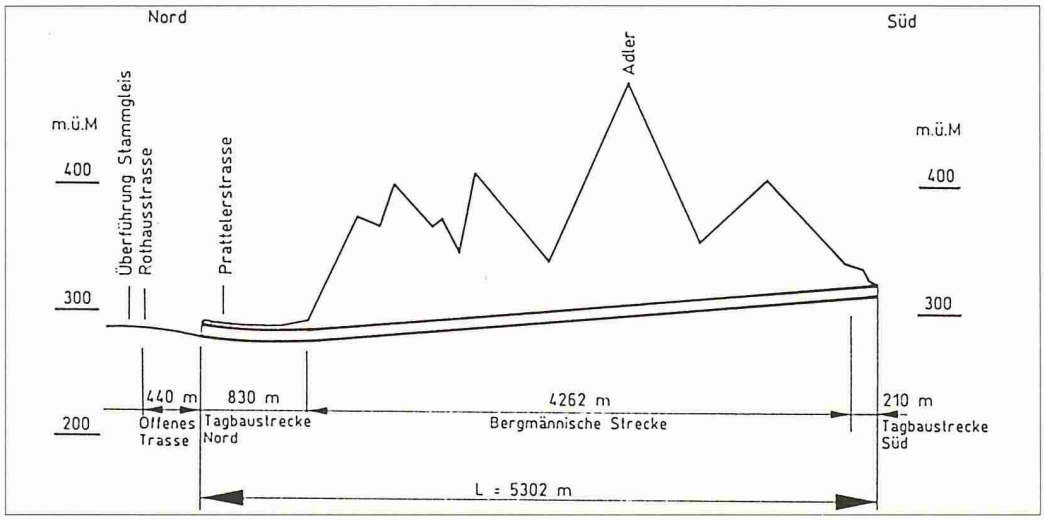
Die 4,26 km lange bergmännische Tunnelstrecke durchfährt die typischen Gesteine des Juras, wie sie im geologischen Abriss beschrieben sind. Die ersten 170 m und die letzten 100 m des Tunnels verlaufen im Lockergestein.

Randbedingungen für die bergmännische Tunnelkonstruktion

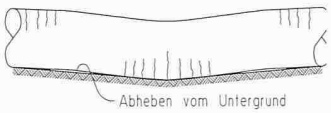
Die zu durchfahrenden Gesteinsformationen und die zu erwartenden Gebirgswässer hatten einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung der Tunnelkonstruktion. Im Gegensatz zu anderen Tunnels boten Geologie und Hydrologie einige besondere «Knacknüsse», die es bei der Bemessung und Auslegung des Tunnelgewölbes zu lösen galt, um die vorgesehenen Nutzungsziele und die Nutzungsdauer gewährleisten zu können.

Technische Daten der Tunnelbohrmaschine

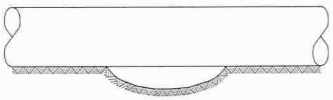
Allgemein	
Ausbruchdurchmesser:	12,58 m
Länge der gesamten Vortriebsanlage:	195 m
Einsatzgewicht der gesamten Anlage:	2000 t
Total installierte elektr. Leistung:	5000 kW
Stromversorgung:	13,6 kV
Schwerster Teil bei Montage (Antrieb):	180 t
Belüftung mit Lutten:	115 m 3/Sek. (inst. Leistung: 740 kW)
Bohrkopf	
Gewicht:	290 t
Anzahl Rollenmeissel:	77 Stk.
Durchmesser der Einzelrolle (17):	430 mm
Gewicht der Einzelrolle (17):	165 kg
Schneidspurabstand:	89 mm
Max. Fräsdurchmesser mit ausgef. Randrolle:	12,64 m
Antrieb/Schild	
Gewicht des Schildes, ohne Antrieb:	600 t
Gewicht des Antriebsteiles:	180 t
Antrieb hydrostatisch, Leistung:	9 Motoren à 400 kW = 3600 kW
Anzahl Hydraulikmotoren mit Getriebe:	12 Stk.
Anzahl TBM-Pressen:	12 Stk.
Anpressdruck Bohrkopf:	max. 1800 t
Drehzahl Bohrkopf:	bis 4,3 U./Min
Max. Drehmoment:	2000 mt
Vorschubpressen:	40 Stk.
Total Vorschubkraft:	8000 t
Max Vorschubgeschwindigkeit:	0 bis 120 cm/Min.
Gewicht Erektor:	50 t



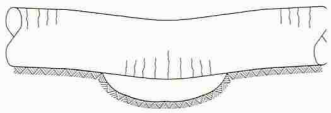
(a) Grossflächige, langfristige Einsenkung

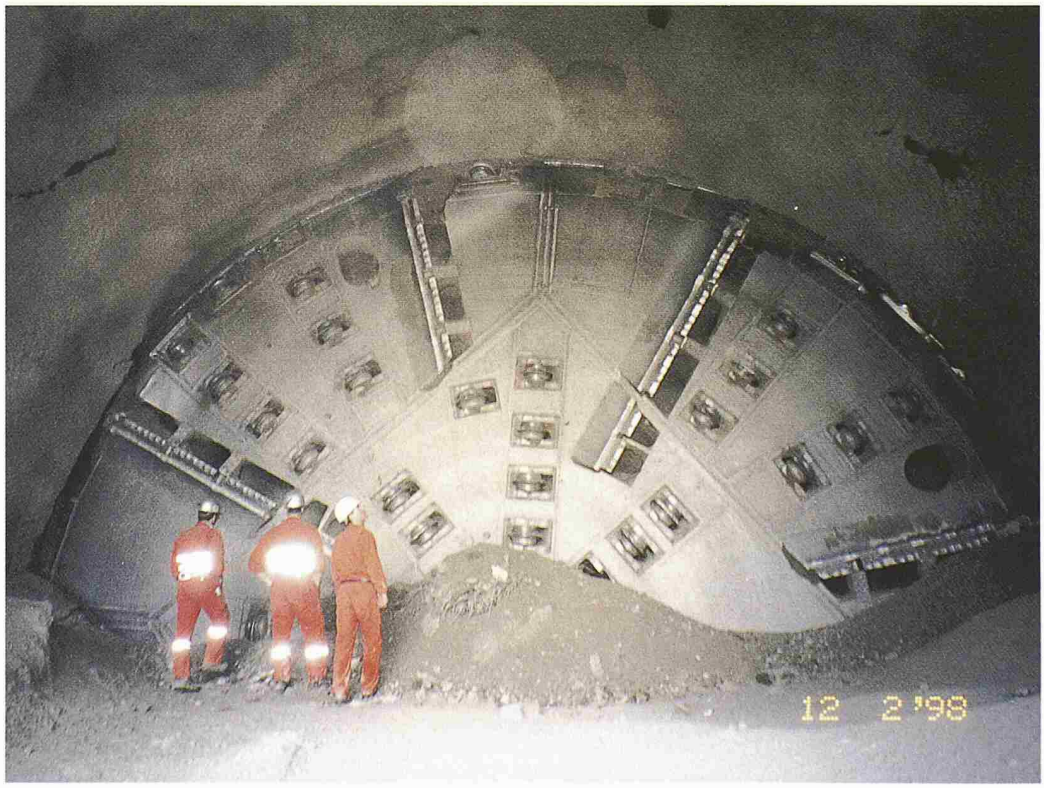


(b) Doline



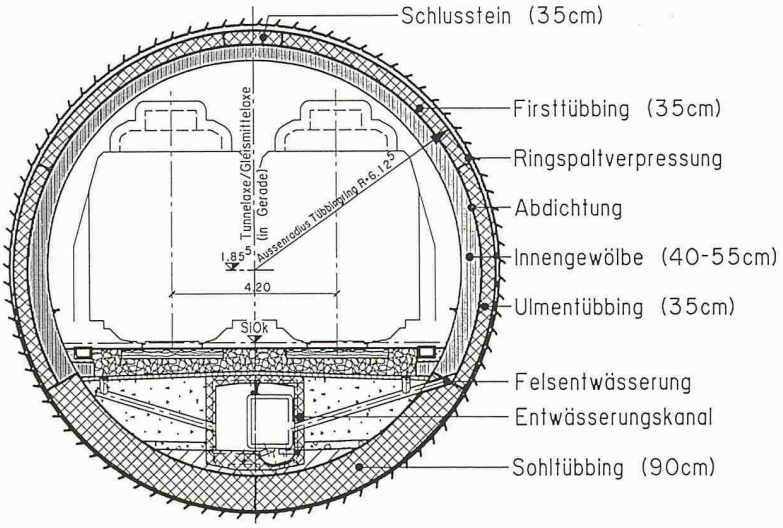
(c) Einsenkung mit Doline

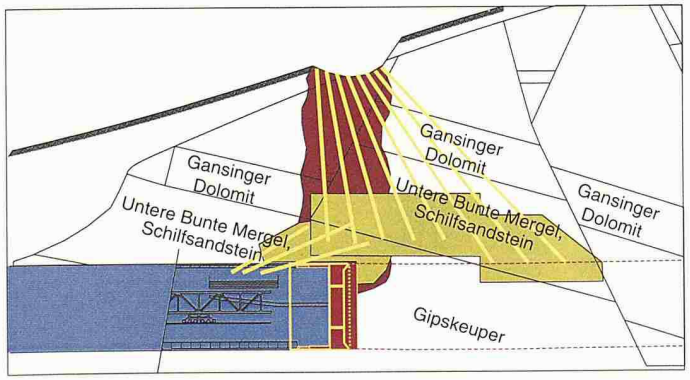




AM BAU BETEILIGTE

BAUHERR
Schweizerische Bundesbahnen (SBB) AG, I-GP-NBS, Infrastruktur-Gross-projekte-Neubaustrecken
PROJEKT- UND BAULEITUNG
Aegerter & Bosshard AG, Basel
GEOLOGIE/GEOTECNNIK
Prof. Dr. Hauber, Basel
Geotechnisches Institut AG, Basel
UNTERNEHMUNG
ARGE Adlertunnel
Pitsch AG, Infra 2000 SA, Stamm AG, Wenk AG



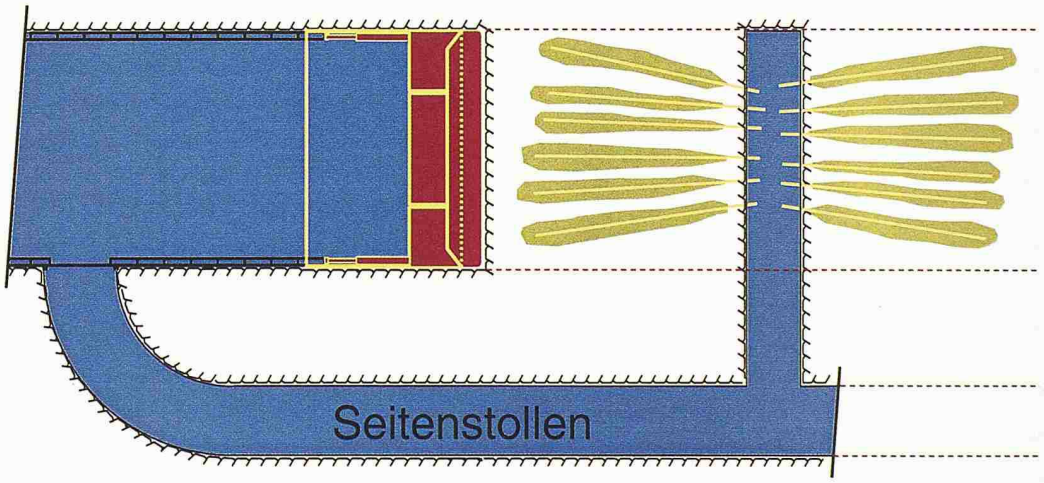




Linke Seite:
2
Längenprofil
3
Grundlegende Fälle des Tragverhaltens
4
TBM beim Durchbruch

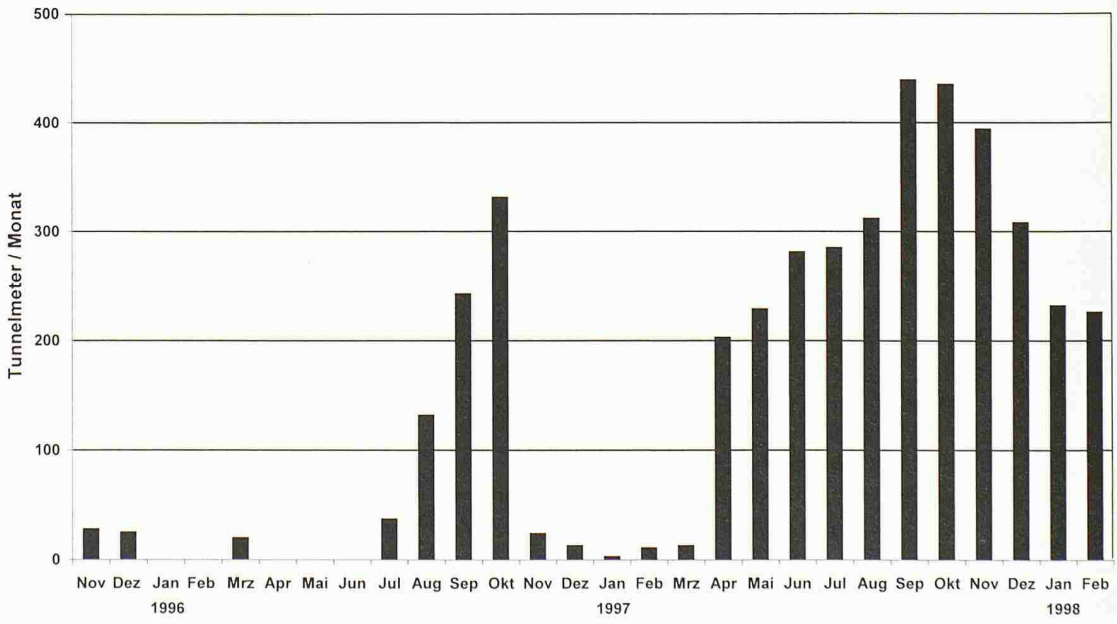
Rechte Seite:
5
Profiltyp II
6/7
Tagbruch Skizze Querschnitt. Bruch an Oberfläche

8/9
Grundriss und Foto des Seitenstollens





10
Monats-Vortriebsleitstungen TBM
(November 1995 bis Februar 1998)



Quellfähige Gesteinszonen

In der Projektphase wurde eine intensive Bohr- und Beprobungskampagne durchgeführt. Allein entlang der bergmännischen Tunnelstrecke wurden 24 Bohrungen abgeteuft. Die resultierenden Quelldrücke aus Laborversuchen zeigten mittlere Quelldrücke in den Tongesteinen und hohe Quelldrücke im Gipskeupergestein. Die Versuche liefen zum Teil einige Jahre, so dass auch die langfristige Quelldruckentwicklung erfasst werden konnte.

Beton- und armierungsaggressive Bergwässer

Die in den Bohrungen analysierten Bergwässer zeigten streckenweise hohe Sulfatkonzentrationen (SO_4-Ionen; Probe P: 2990 mg/l). Kommt der Beton in Kontakt mit Sulfatwasser, zeigen sich ab einer bestimmten Sulfatkonzentration Zerstörungserscheinungen im Betongefüge. Ettringit- und Taumasitbildung im Beton führen zu einem Aufsprengen, d.h. zu einer Zerstörung des Betons und damit auch zu einer Verminderung seiner Tragkraft. Das aus dem tiefliegenden Salzlager zum Tunnelniveau aufsteigende chloridhaltige Bergwasser (Cl; Probe P: 310 mg/l) dringt in den Beton ein, was zu Korrosionserscheinungen an der Armierung und zu Betonabplatzungen führen kann, wodurch die Gebrauchsfähigkeit und die Traglast des Betontragelementes ebenfalls vermindert werden.

Wahl der Vortriebsmethode

Lockergesteinsstrecken Nord und Süd

In den Schottern auf der Südseite wurde das Horizontaljettingverfahren angewendet. Dabei wurden vor dem Tunnelausbruch entlang dem Tunnelprofil horizontale Betonpfähle hergestellt, indem mit Drücken bis zu 500 bar Zementinjektionsgut unter Rotation in den Boden eingepresst wurde. Im Schutze des Säulenschirmes wurde dann konventionell die Kalotte ausgebrochen. Der Strossen- und Sohlausbruch im anstehenden Tongestein erfolgte anschliessend mit der herausfahrenden Tunnelbohrmaschine (Bild 4). Da die dicht gelagerten Mergel im Norden das Jettingverfahren nicht zuliessen, wurde auf dieser Strecke die vorauseilende Gewölbesicherung mittels Spiesschirmen (Stahldurchmesser D = 36 mm) realisiert. Wie im Süden erfolgte auf einer Länge von 100 m der Ausbruch der Kalotte konventionell und der Ausbruch der Strosse und Sohle mit der TBM.

Felsstrecke

Die Wahl der Vortriebsmethode beim Adlertunnel hatte einen hohen Stellenwert für die Dauerhaftigkeit des Tunnels. Eine Risikoanalyse[2] hat gezeigt, dass unter den gegebenen geologischen und hydrologischen Randbedingungen ein TBM-Vortrieb einem konventionellen Vortrieb in der Spritzbetonbauweise vorzuziehen ist. Dabei wurden die möglichen Szenarien, welche u.a. die Dauerhaftigkeit des Tunnels beeinflussen können (Sulfate und Chloride im Bergwasser, hohe Quelldrücke), die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und deren Schadenfolgen definiert und für beide Vortriebsvarianten bewertet. Aus den Quellbelastungen ergaben sich zwei Profiltypen:

- Profiltyp I in quellhaftem Tongestein (Quelldruckannahme q = 1,2 MPa)
- Profiltyp II im Gipskeuper (Quelldruckannahme q = 6,0 MPa)

Nischen

Zwei mal 98 Fluchtnischen und zwei mal neun technische Nischen mit bahntechnischen Anlagen sind über die ganze Länge des Tunnels angeordnet. Die Fluchtnischen sind als Kastennischen (vorfabrizierte Elemente) innerhalb des Tunnelprofiles angeordnet.

Vortrieb mit der Tunnelbormaschine

Aufgrund der statischen Vorgaben aus dem Quelldruck ergab sich ein kreisrundes Ausbruchprofil, das die bisherigen Durchmesser für Hartgesteinstunnelbohrmaschinen übertraf.

Die Tunnelkonstruktion besteht aus einem 6-teiligen 1,40 m breiten Tübbingring mit einem Schlussstein, der im First eingesetzt wurde. Bei Profiltyp II (Bild 5) im Bereich des Gipskeupers weisen die Sohltübbinge eine Stärke von 0,90 m auf. Zwischen Ortbetoninnengewölbe und Tübbingring wurde eine 2 mm starke lose Abdichtungsfolie verlegt. Die gewählte Tunnelbohrmaschine «Atalanta» weist einen Bohrdurchmesser von 12,58 m auf. Ihr Gewicht beträgt etwa 2000 t und die Länge der gesamten Anlage misst 195 m.

Der Vortriebbeginn im November 1995 stand unter keinem guten Stern. Bereits nach rund 30 m Vortrieb ereignete sich ein Niederbruch vor dem Bohrkopf, der sich als Tagbruch bis an die etwa 25 m über den Tunnel liegende Oberfläche fortsetzte (Bild 6 und 7). Mittels Injektionsbohrungen vom Nachläufer Eins aus über den Bohrkopf konnte der lockere Firstbereich stabilisiert werden. Die vorausliegende Zone war jedoch derart stark tektonisiert, dass die Bunten Mergel als kohäsionslose Gesteinsbrocken gegen dass Schneidrad der TBM fiel und dieses blockierte. In mühsamer Handarbeit mussten die Felsbrocken im Schneidrad entfernt werden. War das Schneidrad wieder frei drehbar, konnte nur wenig Vortrieb gemacht werden, bis es zur nächsten Blockage kam. Deshalb entschied man sich, im Nachläuferbereich durch die eingebauten Tübbinge einen Seitenstollen (Bypass) bis vor den Bohrkopf zu erstellen. Aus diesem Seitenstollen wurde der instabile Bereich vor der TBM mit Zementsuspension injiziert und mit Glasfaserankern zusätzlich vernagelt. Diese Zone konnte anschliessend ohne Probleme durchfahren werden.

Die Bewältigung dieses Ereignisses dauerte rund vier Monate. Danach konnte der Vortrieb wieder aufgenommen werden. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden an der TBM die folgende Anpassungen festgelegt:

- Verbesserung der Möglichkeit zur Erstellung eines Injektionsschirmes aus dem Bereich hinter der TBM-Staubwand bis etwa 15 m vor den Bohrkopf
- Möglichkeit von Vernagelungen durch den Bohrkopf zur Erhöhung der Bruststabilität (GFK-Anker)

Als weitere Verbesserungsmassnahme wurde der Einbau von verstellbaren Räumerklappen diskutiert, damit in aufgelockertem Material nicht mehr Felsmaterial in die

Räumer eindringen als abgefördert werden kann.
Nach rund 800 m erfolgreichem Vortrieb in gutem, standfesten Fels mit Vortriebsleistungen bis über 20 m pro Arbeitstag bei zweischichtigem Vortrieb gelangte der Vortrieb in eine nicht prognostizierte Störungszone mit erheblichem Wasseranfall. Stabilitätsprobleme im First und Ortsbrustbereich führten zu wiederholtem Blockieren des Bohrkopfes. Mit den neu ausgedehnt möglichen Injektions- und Vernagelungsmassnahmen konnte der Vortrieb allmählich fortgesetzt werden. Vorausbohrungen zeigten, dass die Störzone eine Länge von über 40 m aufwies, eine Strecke für dessen Bewältigung dieses Vorgehen als nicht zweckmässig beurteilt wurde. So wurde ein weiterer Seitenstollen vor die TBM bis in den sogenannt guten Fels erstellt. Quer zur Stollenachse wurde ein Querschlag erstellt, aus welchem in Richtung TBM und in Richtung Vortrieb die aufgelockerte Zone mit 20 m langen Bohrungen, Zementinjektionen bis 40 bar und GFK-Litzenanker vergütet wurde. Nach rund drei Monaten Stillstand konnte der Vortrieb wieder aufgenommen und diese Zone erfolgreich durchfahren werden (Bild 8 und 9).
Um möglichen weiteren Störungszonen im voraus entgegenzutreten, wurde von Süden her gegen die Vortriebsrichtung der TBM ein 800 m langer Pilotstollen (Durchmesser D = 3,80 m) mit einer Teilschnittmaschine aufgefahren. Weitere für den TBM-Vortrieb kritische Zonen hätten dann aus diesem Stollen heraus vorbehandelt werden können. Dies wurde schliesslich nicht mehr notwendig, da die TBM nach der Bewältigung der beschriebenen zweiten Störungszone problemlos die restlichen rund 3 km auffahren konnte. Beim Vortrieb konnten sehr gute Leistungen erziehlt werden (Bild 10).
Der Vortrieb beim Adlertunnel hat einige Erkenntnisse in der maschinellen Vortriebstechnik speziell bei der Bewältigung von gestörten Felszonen gebracht:
- Die angefahrenen Mergelgesteine zeigten sich vor allem in Stör- und Bruchzonen sehr wasserempfindlich. Auch nur kleine Wasserdrücke und Wassermengen führten beim Vortrieb zu lokalen Instabilitäten im First- und Brustbereich, die sich rasch zu grösseren Niederbrüchen ausweiten konnten.
- Solange der Firstbereich beim Vortrieb stabil war, konnte die TBM selbst bei lokalen Ausbrüchen aus dem Brustbereich Vortrieb machen. Um den Hohlraum zwischen standfester Felslinie und Schild infolge kleinerer Firstablösungen zu füllen, wurde auf einigen Strecken PUR-Schaum durch den Schildmantel gepresst. Diese Massnahme war bei kleineren Ablösungen ein taugliches Mittel, verfehlte jedoch seine Wirkung bei grösseren im Bereich der Schildschneide.
- Bohrungen vom Nachläufer Eins aus durch den Schild und durch den Bohrkopf, um den Fels vor dem Bohrkopf zu behandeln (Injektionen, Vernagelungen), sollten zukünftig bei Vortrieben in schwierigen Gesteinsschichten noch rascher und umfassender realisierbar sein.
- Mit variablen Räumerklappen kann der Materialfluss von eindringendem und förderndem Felsmaterial noch besser geregelt und damit Blockagen des Schneidrades verhindert werden.
- Vorausbohrungen, um den vorhanden Wasserdruck für die TBM-Durchfahrt zu reduzieren, sei es mittels Bohrungen aus der TBM heraus (z.B. an Wochenenden) oder von der Oberfläche aus, haben sich beim Adlertunnel bewährt.

Spezielle Erkenntnisse

In einigen Bereichen wurde beim Adlertunnel Neuland beschritten und entsprechende Erfahrungen für weitere Eisenbahntunnels konnten gemacht werden.
- Trotz teilweiser erheblicher Probleme beim Vortrieb in den Stör- und Bruchzonen hat sich das TBM Vortriebskonzept für die stark quellhaften Gesteinszonen bewährt. Da mit dem Tübbingverbau und der Vermörtelung des Ringspaltes ein sofortiger Rundumabschluss der Felsoberfläche erzielt wird, konnte das Aktivieren des vorhandenen Quellpotentials verzögert werden.
- Die Bauzeit in der TBM-Bauweise inklusive aller Stillstände infolge Schwierigkeiten betrug rund 27 Monate. Der vorgegebene Gesamtterminrahmen konnte eingehalten werden. Ein konventioneller Vortrieb hätte – ohne Berücksichtigung eventueller Schwierigkeiten – einige Monate länger gedauert.
- Die Verwendung neuer Betontechnologien beim Tunnelgewölbe ermöglicht einen dauerhaften Widerstand gegen Sulfat- und Chloridangriff und gegen die zu erwartenden hohen Quelldrücke im Gipskeuper und im Opalinuston.
Als zusätzlicher Schutz und integraler Bestandteil der Nachbehandlung hat sich die Beschichtung der Tübbinge unmittelbar nach Verlassen des Dampfkanals mit einem neuartigen Epoxidharz-Material bewährt.
- Der begehbare Entwässerungskanal unter dem Gleis gewährleistet eine hohe Verfügbarkeit der Bahnlinie, da der Unterhalt der Entwässerungsrigolen und -leitungen ohne Unterbrechung des Bahnbetriebs ausführbar ist.

Flavio Chiaverio, dipl. Ing. ETH, Reto Rotzler, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Hochstrasse 48, 4002 Basel, Peter Unrath, dipl. Ing. TH, Schweizerische Bundesbahnen AG, Projektleiter Adlertunnel, Centralbahnstrasse 24, 4051 Basel, Carl Wieland, dipl. Ing. HTL, ARGE Adlertunnel, c/o Batigroup AG, Burgelderstrasse 211, 4025 Basel

Literatur
1 Bodenverbesserungen durch Rüttelstopfverdichtung, F. Keller, SI+A Nr. 18/1996
2 Risikoanalyse beim Adlertunnel, F. Chiaverio, H.H. Einstein, U. Köppel, SI+A Nr. 4/1995

Bilder
SBB-NBS und Projektbeteiligte