Lockermaterialvortrieb im Zugwald-Tunnel

Autor(en): **Amberg, Felix / Schmid, Walter / Weidinger, Andreas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **112 (1994)**

Heft 44

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-78548

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

Lockermaterialvortrieb im Zugwald-Tunnel

Die Durchörterung der Lockermaterialstrecken des Zugwaldtunnels, die in den Rutschmassen des Gotschnahanges liegen, erfolgte im Schutze von Jetschirmen. Die Heterogenität des Lockermaterials, Wasserzutritte von bis zu 15 l/sec und die hohe Überlagerung von maximal 120 m stellen die Besonderheiten dieses Vortriebes dar. Zudem war der Installationsplatz auf der Seite Klosters nur durch ein RhB-Gleis über die Landquartbrücke erschlossen.

VON FELIX AMBERG,
REGENSDORF,
WALTER SCHMID,
KLOSTERS,
ANDREAS WEIDINGER,
KLOSTERS

Die Vereinalinie besteht aus dem Zugwald-Tunnel (2'160 m) und dem Vereinatunnel (19'058 m) und gliedert sich in mehrere Baulose.Das Baulos T1 beinhaltet die beiden Lockermaterialstrecken des Zugwald-Tunnels und ist unterteilt in das Baulos T1 a und T1 b. Ab dem Portal Klosters beginnt das Baulos T1 a mit einem 250 m langen Lockermaterialvortrieb und einem 35 m langen Felsvortrieb mit anschliessender Montagekaverne und Startröhre für die TBM. Das Baulos T1 b umfasst die Lockermaterialstrecke auf der Seite Selfranga. Der Lockermaterialvortrieb erstreckt sich hier über eine Länge von 135 m.

Geologie

Die Lockermaterialstrecken des Zugwald-Tunnels liegen im Gotschnahang. Prognostiziert wurde eine moränenartige Zusammensetzung des Lockermaterials mit Resten von Felsstürzen und mit Gehängeschutt, wobei sowohl mit «Blocknestern» als auch mit siltigen und sandigen Partien (alte Alluvionen) gerechnet werden musste. Aufgrund von Vermessungen, Slopemessungen in Bohrlöchern und der festgestellten Bewegungen im bestehenden Klosters-Tunnel der RhB, der in unmittelbarer Nähe des Zugwald-Tunnels verläuft, ist bekannt, dass sich der Gotschnahang mit rund 1 cm/Jahr talwärts bewegt.

Anhand von Sondierbohrungen konnte ein unterhalb der Tunnelsohle anstehender Hangwasserspiegel festgestellt werden, der hangeinwärts leicht ansteigt. Des weiteren wurden wasserführende Horizonte in der Form von «hängenden Wasserspiegeln» vorhergesagt, die später auch tatsächlich angefahren wurden.

Projektierungsentscheide

Grundsätze

Die geologischen Randbedingungen und Parameter führten zum Entscheid, die beiden Lockermaterialstrecken im Schutze eines Jetgewölbes aufzufahren. Auf der Seite Klosters ermöglichten Slope-Messungen die optimale Anpassung der horizontalen Linienführung an die Hangbewegungen, so dass ein elliptisches Profil zur Ausführung kam (Bild 1). Diese Querschnittsform erlaubt vor allem Deformationen in vertikaler Richtung, die den Bewegungsvektoren der Rutschmasse entsprechen. Auf der Seite Selfranga ist das Profil kreisförmig, da die Felsstrecke des Zugwald-Tunnels mit einer TBM aufgefahren wird, welche anschliessend durch diese Lockermaterialstrecke ins Freie schreiten muss. Das Schutzgewölbe für das elliptische Profil bestand aus 28 Säulen, für das Kreisprofil wurden 30 Säulen benötigt. Die Länge der einzelnen Säulen betrug 15,0 m, die Ausbruchslänge wurde auf 12,5 m festgelegt.

Ausbruchvorgang

Der Ausbruchvorgang (Kalottenvortrieb mit nachfolgendem Strossabbau) wurde detailliert vorgeschrieben. Der Kalottenausbruch erfolgte in Schritten von 1 m. Die hohe Überlagerung von bis zu 120 m verlangte eine Sofortsicherung mit grosser Tragkraft. Da Gitterträger diese Anforderungen nicht erfüllen, wurden TH-Glockenprofile gewählt. Diese Profile lassen sich dank längsvariablen Laschenverbindungen optimal an den grösser werdenden Querschnitt anpassen, der durch das «Stechen» der Jetetappen entsteht. Dank dieser Flexibilität genügten zwei TH-Profiltypen, um die Querschnittsvergrösserung von rund 1 m im Radius abzudecken. Zwischen den TH-Profilen wurde das Gewölbe mit armiertem Spritzbeton gesichert.

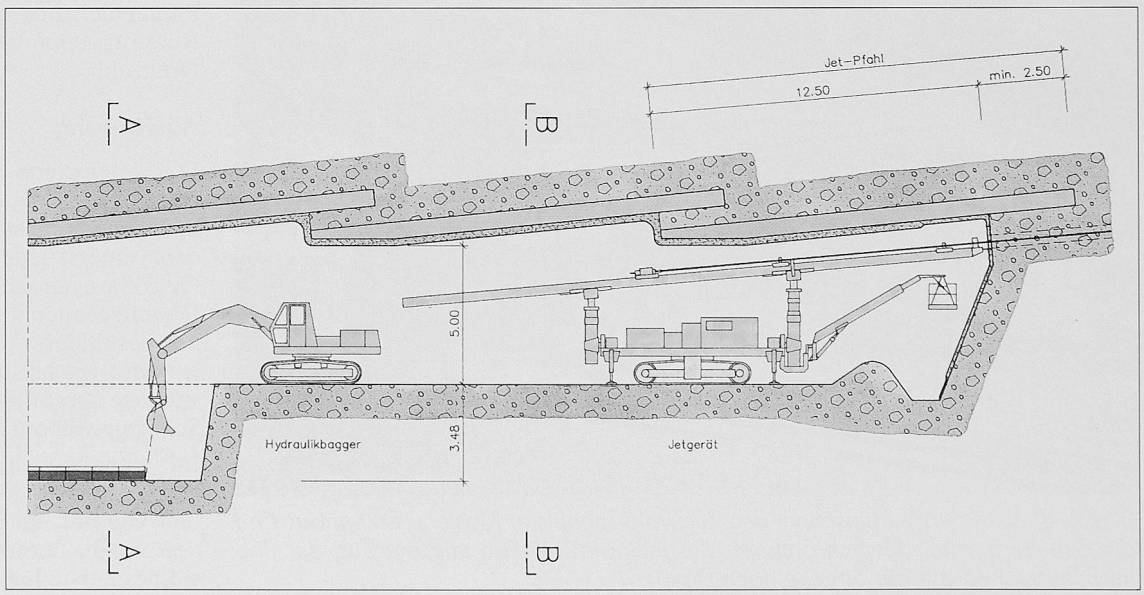


Bild 1. Ausbruchsvorgang in den Lockermaterialstrecken des Zugwald-Tunnels, Längsschnitt

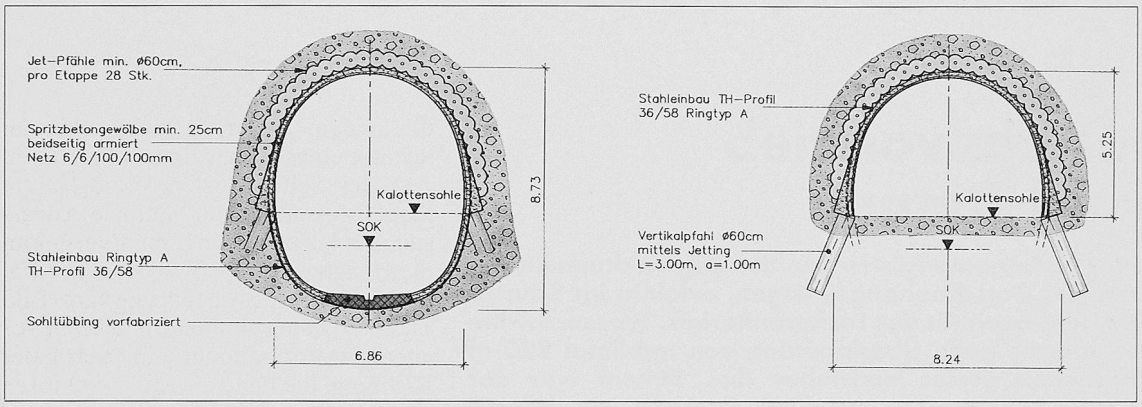


Bild 1A. Querschnitte, links A-A, rechts B-B

Der Ringschluss (Strossabbau, Plazierung eines Sohltübbings, Anschliessen der TH-Profile an den Sohltübbing und Erstellen der Spritzbetonschale) hatte nach Projekt in einem Abstand von max. 40 m hinter der Ortsbrust zu erfolgen.

Ausschreibung

Das Jetgewölbe mit der vorgegebenen Anzahl von Säulen wurde pro Laufmeter (lfm) Tunnel ausgeschrieben. Zusätzlich gab es Positionen für eine Erhöhung beziehungsweise Reduzierung der Säulenanzahl. Aufgrund der geologischen Vorhersage wurden 320 kg Zement pro lfm Säule als Kalkulationsgrundlage vorgegeben. Die Ausbruchskubatur wurde nur mit dem geforderten Minimalquerschnitt vergütet, d.h. die Mehrkubatur infolge des «Stechens» des Jetschirmes war einzurechnen. Das Entfernen von Blöcken im Jetprofil und im Ausbruchsquerschnitt wurde über Einheitspreise abgerechnet.

Installationen

Das Portal des Zugwald-Tunnels liegt in unmittelbarer Nähe des Portals des bestehenden Klosterstunnels der RhB-Strecke nach Davos. Die bestehende Portalwand und ca. 12 m des Klosterstunnels mussten im Rahmen der Erstellung des Installationsplatzes abgebrochen werden. Zur Gewährleistung eines sicheren und unterbruchslosen Bahnbetriebes wurde vorgängig der Abbrucharbeiten ein stählerner Schutzschild im Klosterstunnel erstellt. Während der gesamten Bauarbeiten am Zugwald-Tunnel verkehren die RhB-Züge in diesem Schutzschild durch den Installationsplatz hindurch (Bild 2).

Eine weitere Besonderheit des Bauloses T1a in installativer und logistischer Hinsicht bestand darin, dass es nur über einen RhB-Geleiseanschluss erreichbar war. Die sehr begrenzten Platzverhältnisse zwangen die Arbeitsgemeinschaft zur vollen Ausnutzung der vorhandenen Installationsfläche. Durch das RhB-Verladegleis und die notwendige Zwischendeponie wurde die Beweglichkeit der Baumaschinen zusätzlich stark eingeschränkt. Die Jetting-Installationen (Zementsilo, Pumpe, Mischer, EDV-Überwachung) wurden deshalb auf eine Stahlkonstruktion oberhalb der rechten Rühlwand des Voreinschnittes montiert (Bild 3). Erschwerend kam hinzu, dass die täglichen Materialtransporte dem regulären Fahrplan der RhB angepasst werden mussten.

Der Hauptumschlagplatz für das Baumaterial und die Betonanlage befanden sich beim Bahnhof Klosters.



Bild 2. Blick in den Voreinschnitt des Zugwald-Tunnels in Klosters. Erkennbar sind die Schuttergeräte, der Schrämkopf, die Jettinginstallation und ein Zug der RhB im Schutzschild auf der Strecke nach Davos

Horizontal-Jetting

Vorversuche

Zur Überprüfung der gewählten Produktionsparameter wurden im Portalbereich drei Versuchspfähle erstellt. Die Versuchspfähle wurden anschliessend vor allem auf den erreichten Pfahldurchmesser hin untersucht. Nach Auswertung aller Prüfresultate wurden folgende Produktionsparameter festgelegt:

Wasser/Zementfaktor	: 0.8
Injektionsdruck	: 500 bar
Düsen	: 2 x 2,2 mm
Pumpenleistung	: 110 l/min
Rückzugsgeschwindigkeit	: 0.30 m/min
Drehzahl	: 15 U/min

Ausführung

Das Jetgewölbe wurde aufgrund der einseitigen Lafettenabstützung jeweils halbseitig hergestellt. Man produzierte dabei zuerst jeden zweiten Pfahl des Gewölbes, anschliessend die dazwischenliegenden Pfähle. Dieses Vorgehen verhindert das Auslaufen der Säulen und gewährleistet somit die vollständige Ausbildung eines tragfähigen Schutzgewölbes (Bild 4).

Im Standbereich des Horizontal-Jetgerätes musste die theoretische Kalottensohle um rund 1 m abgesenkt werden, um die untersten Pfähle des Jetgewölbes herstellen zu können. Dies war

möglich, ohne dass zusätzliche Risiken hätten eingegangen werden müssen, da der Kalottenfuss im Bereich des arbeitenden Jetgerätes bereits eine Etappe vorher durch Vertikal-Jetpfähle abgesichert war.

Die Bohrungen für jeden einzelnen Jetpfahl wurden verrohrt ausgeführt. Dies ermöglichte eine erhebliche Reduzierung der Bohrabweichung. So konnte auch gegen Etappenende ein relativ geschlossenes Jetgewölbe produziert werden. Ein weiterer Vorteil der Verrohrung liegt in dem kontrollierten Rückfluss des überschüssigen Zement-Boden-Gemisches. Die während dem Ausbruch kurzzeitig freigelegten Jetpfähle gaben Aufschluss über die gewählten Produktionsparameter in Verbindung mit dem angetroffenen Boden. Anhand der erreichten Säulendurchmesser konnten dann die Produktionsparameter für die nächste Etappe festgelegt werden.

Der Lockermaterialpfeiler im Portalbereich zwischen dem Zugwald- und dem Klosterstunnel wurde vorgängig der Arbeiten des Horizontaljettens mit vertikalen Jetsäulen verstärkt.



Bild 3. Blick in den Voreinschnitt des Zugwald-Tunnels in Klosters. Erkennbar sind die Portale des Zugwald- und des Klosterstunnels und die hochgelagerten Jettinginstallationen an der rechten Baugrubenwand

Ausbruchvorgang

Lockermaterialstrecke

Für den Kalottenausbruch wurde anstelle einer Teilschnittmaschine ein Liebherr-Bagger R 952 mit einem Eickhoff ET 110-Schrämmkopf eingesetzt. Die Wahl für dieses Gerät erfolgte aufgrund der vorgegebenen Profilhöhe. Der Schrämmbagger wurde hauptsächlich zum Nachprofilieren der Jetpfähle eingesetzt, um ein exaktes und sauberes Ausbruchsprofil zu erreichen. Je nach den angetroffenen geologischen Verhältnissen wurde der Kern des Kalottenprofils mit einem Hydraulik-Bagger ausgebrochen. Der anschliessende Abtransport des Ausbruchmaterials wurde mit einem Pneulader vorgenommen, der das Material entweder im Voreinschnitt zwischendeponierte oder direkt in einen bereitstehenden RhB-Muldenwagen verladen konnte (Bild 5).

Der Schutterbetrieb in der Lockermaterialstrecke konnte aufgrund der engen Platzverhältnisse nur mit einer Maschine ausgeführt werden.

Nach Fertigstellung einer 12,5 m langen Ausbruchsetappe wurde der Kalottenfuss auf beiden Seiten mit 3 m langen Vertikal-Jetpfählen im Abstand von 1 m unterfangen. Diese Massnahme diente zur Stabilisierung des Kalottengewölbes bis zur Fertigstellung des Ringschlusses.

Anschliessend wurde mit dem Horizontal-Jetting für die nächste Etappe begonnen. Parallel dazu wurde im rückwärtigen Bereich der Strossabbau vorangetrieben (Bild 6).
Hierbei wurden die TH-Profile mit je einem Element verlängert und an Stahlplatten, die in den vorgängig versetzten Sohltübbing eingelassen waren, angeschweisst. Der Ringschluss konnte dabei nur bis auf 30 m hinter der Ortsbrust ausgeführt werden, da sowohl das Horizontal-Jetgerät als auch der auf der Strosse arbeitende Hydraulikbagger einen engeren Abstand zur Ortsbrust verhinderten. Wenn ein früherer Ringschluss notwendig wurde, so konnten das Horizontal-Jetgerät und der Hydraulikbagger nicht mehr parallel arbeiten (Bild 1).



Bild 4. Horizontal-Jetgerät im Einsatz

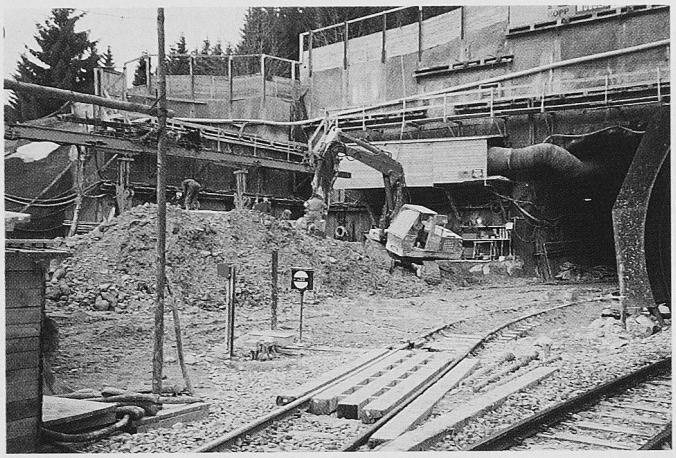


Bild 5. Material-Zwischenlager im Voreinschnitt

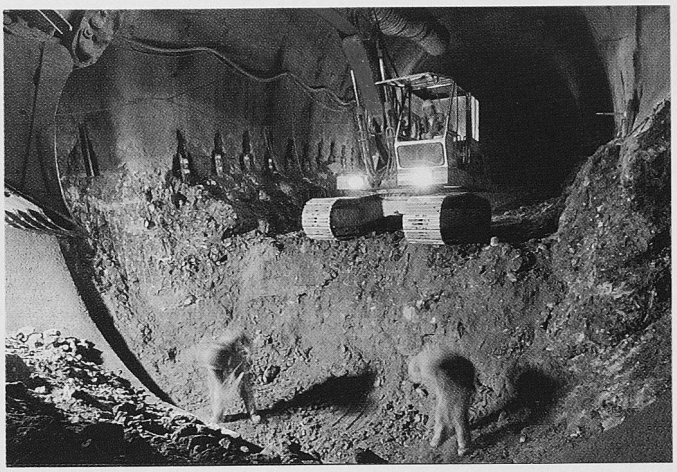


Bild 6. Strossabbau mit Hydraulikbagger

Nach der Durchörterung der Lockermaterialstrecke und dem Erreichen der Felslinie bei Tm 250 wurden die Jetting-Installationen und der Schrämmbagger auf die Ausgangsseite des Zugwald-Tunnels nach Selfranga (Baulos T1 b) verschoben. Während dort der Lockermaterialvortrieb aufgenommen wurde, begann in Klosters der sprengtechnische Vortrieb.

Felsvortrieb

Für den Sprengvortrieb mussten diverse Uminstallationen vorgenommen werden. Die 250 m lange Trockenspritzbeton-Förderleistung wurde demontiert und die gesamte Spritzbeton-Installation in den Tunnel verlegt. Zusätzlich wurde der Schutterbetrieb mit einem Fahrlader verstärkt. Somit konnte ein Teil der durch den Sprengvortrieb erhöhten Ausbruchskubatur im Tunnel zwischengelagert werden. Der Erfolg dieser Massnahme bestand in einer Steigerung der Vortriebsleistung und einer Entzerrung des gesamten Schutterbetriebes. Während der Pneulader in verkürzter Zeit das Haufwerk von der Ortsbrust wegräumen konnte, transportierte der Fahrlader das Material über die längere Strecke in den Voreinschnitt. Gleichzeitig konnte der Auflad auf den RhB-Muldenwagen mit einem Hydraulik-Bagger durchgeführt werden.

Durch die permanente Kontrolle der Felsüberlagerung anhand von Sondierbohrungen konnte die TBM-Montagekaverne bereits nach 25 m Felsvortrieb in Angriff genommen werden. Nachdem die beinahe 400 Festkubikmeter Fels für die Kaverne ausgebrochen waren, bildete der Vollausbruch der 10 m langen TBM-Startröhre (Ø 8,30 m) den Abschluss der Ausbruchsarbeiten .

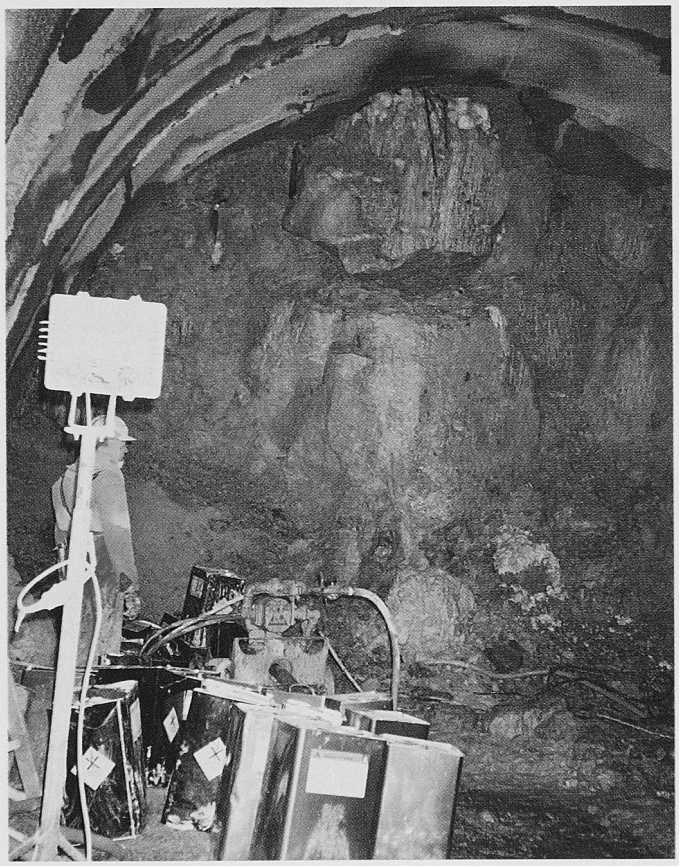


Bild 7. Sicherung eines Felsblockes im Scheitelbereich durch PU-Injektionen

PU-Injektionen

Die von der Oberbauleitung vorgeschriebene Lagerhaltung von rund 5 t Polyurethan-Material ab Vortriebsbeginn erwies sich bereits im Laufe der sechsten Ausbruchsetappe als ausserordentlich zweckdienlich.

Die Injektionen, die von Tunnelmeter 67 bis 135 nötig waren, lassen sich in drei verschiedene Anwendungsbereiche unterteilen:

- Ortsbruststabilisierung
- Verbindung des zum Teil unvollständig hergestellten Jetting Gewölbes
- Gebirgsstabilisierung hinter Blöcken, die im Firstbereich die Säulenausbildung verhinderten.

Ortsbruststabilisierung

Schon zu Beginn des sehr wechselhaften Vortriebes konnte eine gewisse Kohäsionslosigkeit des Lockermaterials festgestellt werden. Dies hatte eine dementsprechend kurze Standfestigkeit der Ortsbrust zur Folge. Auch durch eine geringe Neigung der Brust konnte keine ausreichende Stabilität erreicht werden. Vor allem durch die vorgegebene maximale Ausbruchslänge von rund 1 m war die gesamte Vortriebsequipe permanent in unmittelbarer Nähe der Ortsbrust mit Sicherungsarbeiten beschäftigt. Zur Aufrechterhaltung der Arbeitssicherheit wurden deshalb die Firste beziehungsweise falls notwendig die gesamte Ortsbrust mit einer 2–5 cm starken Spritzbetonschicht versiegelt. Dadurch war ein sicheres Arbeiten im Brustbereich möglich.

Die ersten Anzeichen von Bergwasser im Lockermaterial wurden während dem Erstellen der sechsten Jetting-Etappe festgestellt. Dabei wurde während dem Bohren Wasser angefahren, welches sich durch das Bohrloch seinen Weg bahnte und an der Ortsbrust austrat.

Nach Fertigstellung des Jet-Gewölbes wurden deshalb durch die armierte und gunitierte Brust PU-Injektionen vorgenommen, um beim Abbruch der Spritzbetonwand ein unkontrolliertes Nachrutschen der Ortsbrust zu verhindern. Die Injektionstiefe betrug dabei 3 m.

Diese Massnahme der Ortsbruststabilisierung erwies sich als absolut notwendig. Mit diesen Injektionen wurde auch in den weiteren wasserführenden Zonen ein sicherer Vortrieb gewährleistet. Unterstützt wurde diese Massnahme mit regelmässig angebrachten Entlastungsbohrungen, um einen eventuellen Druckanstieg durch sich anstauendes Bergwasser zu vermeiden.

Verbindung des unvollständigen Jetting-Gewölbes

Trotz der sehr guten Arbeit des Jetting-Unternehmers konnte in schwierigen geologischen Zonen teilweise kein durchgehendes Gewölbe hergestellt werden. Die Gründe hierfür waren:

- Auswaschen der Jetsäulen infolge Bergwasser
- nicht Erreichen des erforderlichen Durchmessers der Säule infolge wechselhafter Geologie
- Abweichen der Bohrrichtung infolge starkem Blockanteil im Profil.

Ein nicht geschlossenes Jetgewölbe konnte bei den Vortriebsarbeiten meist erst dann festgestellt werden, wenn die Säulen bereits freigelegt waren. Die einmetrigen Vortriebsarbeiten wurden deshalb generell von Bauführung und Bauleitung begleitet. So konnten bei plötzlich auftretenden Problemen sofort die notwendigen Massnahmen getroffen werden. Dem Firstbereich wurde dabei besondere Beachtung geschenkt, da mit jedem Tunnelmeter die Überdeckung stark zunahm.

Bei vorhandenen Lücken im Jetgewölbe wurde das PU-Material mit kurzen Lanzen direkt in den offenen Bereich injiziert, wodurch ein Gewölbeverbund wiederhergestellt werden konnte.

Gebirgsstabilisierung im Firstbereich

In den geologischen Zonen mit hohem Blockanteil war die Herstellung eines geschlossenen Jetgewölbes technisch nicht ausführbar. Die in den Profilbereich hineinragenden Blöcke stellten somit eine erhöhte Einbruchgefahr dar. Beim Anfahren einer solchen Situation wurde das dahinterliegende Lockermaterial mit einem Schutzschirm aus PU-Material verfestigt. Anschliessend konnte der Block bis an den Profilrand schonend abgebaut werden. Ein sprengtechnischer Abbau der Blöcke konnte nicht verantwortet werden, da ein Versagen der unarmierten Jetpfähle oder der gunitierten Ortsbrust unter allen Umständen zu vermeiden war (Bild 7).

Bauzeiten und Belegschaft

Durch die Nähe des Bauloses T1 a zum Kurort Klosters waren die Arbeitszeiten auf die Zeit zwischen 06.00–24.00 Uhr eingeschränkt. Die Jettingarbeiten und der Kalottenvortrieb wurden daher im Zweischichtbetrieb ausgeführt. Der Strossabbau hingegen konnte im Einschichtbetrieb bewältigt werden. Der Personaleinsatz variierte je nach Arbeitsvorgang und lag zwischen 14 und 18 Mann.

Im Durchschnitt wurden sieben Arbeitstage für das Horizontaljetting und zwei Arbeitstage für das Vertikaljetting benötigt. Die Vortriebsleistungen für eine Kalottenetappe waren stark abhängig von den angetroffenen geologischen Verhältnissen. Je nach Aufwand der Ausbruchs- und Sicherungsmassnahmen lagen die erreichten Leistungen zwischen fünf und zwölf Arbeitstagen pro Etappe. Die Vortriebsleistungen beim Strossabbau lagen nicht auf dem kritischen Weg und variierten zwischen zwei bis vier m/Arbeitstag.

Beteiligte Firmen

Projekt und Bauleitung:
Amberg Ingenieurbüro AG, Chur

Ausführung:
Arge Selfranga Klosters, bestehend aus:
Walo Bertschinger AG,
Kopp AG
Schafir und Mugglin AG
H.R. Schmalz AG
Theiler + Kalbermatter AG

Jetting:
GU Tiefbau AG

Adressen der Verfasser: *F. Amberg*, dipl. Ing. ETH/SIA, Amberg Ingenieurbüro AG, Trockenloostrasse 21, 8105 Regensdorf. *W. Schmid*, dipl. Ing. HTL, Amberg Ingenieurbüro AG, Ringstrasse 18, 7007 Chur. *A. Weidinger*, dipl. Bauing., ARGE Vereinatunnel Nord, 7250 Klosters

TBM-Vortrieb im Zugwald-Tunnel

Der Zugwald-Tunnel durchquert die Ostflanke des Gotschnahanges. Diese ist durchgehend von der sogenannten Gotschnarutschmasse überdeckt, welche vor allem aus Moräne, Hangschutt und Bergsturzmaterial besteht. Ihre Mächtigkeit beträgt bis 200 m, und es war deshalb nicht möglich, den Zugwald-Tunnel an einem Felsportal anzusetzen. Aus diesem Grund wurden die beiden Portalstrecken vorab im Rahmen eines separaten Bauloses (Baulos T1) erstellt.

VON HANS CHRISTIAN SCHMID, SARGANS, BRUNO RÖTHLISBERGER, CHUR, WALTER KREBS, BASSERSDORF

Das Baulos T 1 umfasst die folgenden Tunnelabschnitte:

☐ ab Portal Klosters: 240 m Tunnel im Lockermaterial, 30 m Tunnel im Fels und den Ausbruch der 30 m langen Montagekaverne für die Tunnelbohrmaschine (TBM) sowie der 10 m langen Startröhre für den mechanischen Vortrieb

☐ ab Portal Stützbach: 110 m Tunnel im Lockermaterial und 25 m Tunnel im Fels

Die obenerwähnten Arbeiten wurden Mitte 1991 in Angriff genommen und Ende 1993 fristgerecht abgeschlossen.

Projekt

Baulos mechanischer Vortrieb Zugwald-Tunnel

Die mechanisch aufgefahrene Felsstrecke des Zugwald-Tunnels (Baulos