

Gotthard Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun – Die druckhaften Strecken im TZM Nord – Projektierung und Realisierung

Kalman Kovári, Prof. Dr.; Beratender Ingenieur, Oberengstringen
Heinz Ehrbar, Dipl. Ing. ETH/SIA; AlpTransit Gotthard AG, Luzern

THE TUNNEL STRETCHES WITH SQUEEZING ROCK IN THE TZM-NORD OF THE GOTTHARD BASE TUNNEL – DESIGN AND EXECUTION

Traversing the approx. 1.2 km long tunnel section within the northern part of the Tavetscher Zwischenmassivs (TZM) was classified already in the phase of the preliminary project as a definite feasibility problem due to the phyllite expected there with its low strength and great depth of rock overburden. To overcome the problem of driving a tunnel with a final internal diameter of around 8 m under such geotechnical conditions there were no examples to benefit from. Based on laboratory tests the structural analyses for the tunnel even for an unusually high lining resistance predicted very large convergence. The design engineer in close cooperation with the «Working Group Construction Technology» prepared a new construction concept, which was subsequently implemented. It combined two important developments in this field of tunnelling practice known up to then in such a way that the concept lead to a completely successful conclusion. On the one hand, it relied on the method used in mining under conditions of squeezing rock utilizing steel supports with sliding connections (System Toussaint-Heintzmann) and, on the other, the method perfected in Italy of full face excavation with systematic support of the working face. Mining techno-

logy provides no data on tunnels with large cross sections and the experience made in Italy was limited to much lower depths of overburden.

The basic idea for the TZM was to install a closed circular steel ring of high resistance and high convergence capacity after each stage of excavation. The other elements of excavation support were anchors at the working face, spiling rods, steel meshes, radial anchors and shotcrete sealing. The installation of the permanent shotcrete lining was not planned until a further advance of around 40 m or after convergence of the tunnel deformations. To measure the radial displacements of up to 0.75 m a corresponding over-profile was excavated.

The paper reports on the die conceptual considerations and their successful implementation by the contractor, the deformation measurements and the most important know-how gained from the execution. In a final summing up the factors that enabled the successful excavation through the Tavetscher Zwischenmassiv are highlighted together with conclusions relevant to future projects.

1. Grundlagen

Der nördliche Teil des Tavetscher Zwischenmassivs (TZM Nord genannt) wurde im Zuge der Alpenfaltung stark tektonisch beansprucht. Seit dem Beginn der Projektierung des Gotthard Basistunnels wurden die in diesem Bereich zu durchörternden Gesteine stets als bautechnisch schwierig eingestuft. Bereits in der Phase des Vorprojektes wurde die Machbarkeit dieses Tunnelabschnitts wegen erwarteten schweren Druckerscheinungen von vielen gleich kritisch wie jene der Piora Mulde eingestuft. Es war deshalb von Anbeginn klar, dass hier zum einen ein Doppelspurtunnel auszuschliessen war

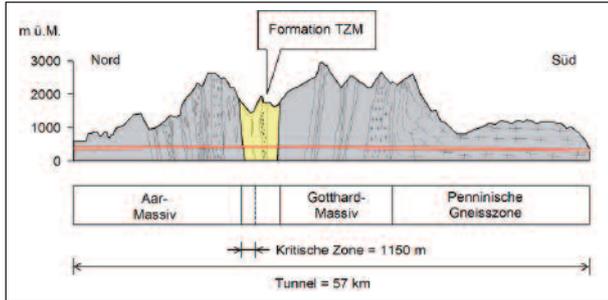
und zum anderen in dieser Gegend ein Zwischenangriff erfolgen musste.

Die erfolgreiche Überwindung der druckhaften Strecke im Nordvortrieb des Tunnelabschnitts Sedrun Ende 2007 gibt Anlass, auf die grundlegenden Überlegungen der Projektierung zurückzublicken und über deren Realisierung zu berichten [1]-[4].

Die Lage des Tavetscher Zwischenmassivs im vereinfachten Geologischen Längenprofil des Gotthard Basistunnels ist in Bild 1 ersichtlich [5]. Die Länge des bautechnisch anspruchsvollen Nordabschnittes beträgt

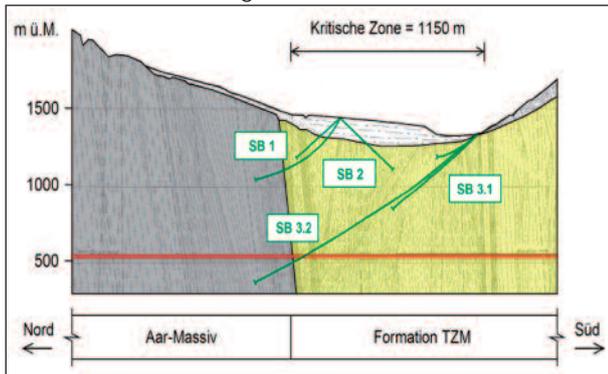
1150 m bei einer Überlagerung von rund 800 m. Das Gebirge besteht aus Schiefen, Phylliten und schiefrigen Gneisen mit unterschiedlichem Grad der Kakiritisierung.

Bild 1: Längenprofil des GBT mit der Lage des TZM



Der detaillierten geologischen Erkundung wurde grosse Bedeutung beigemessen, was durch die ausgeführten Sondierbohrungen belegt ist. Hervorzuheben ist die bis zum Tunnelniveau abgeteufte 1750 m lange, in den Jahren 1997/98 abgeteufte Schrägbohrung SB 3.2. Dank der steil stehenden Struktur des Gebirges erhielt man so für das ganze TZM-Nord sehr verlässliche Prognosen.

Bild 2: Sondierbohrungen im TZM Nord

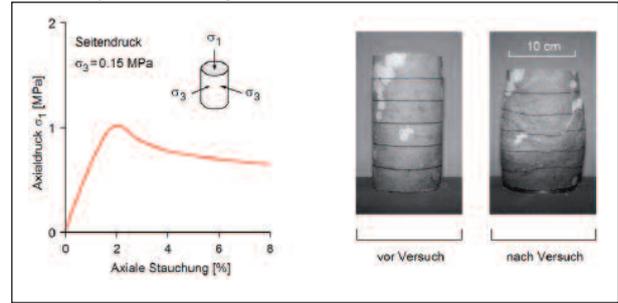


Aufgrund der Aufschlüsse aus den Bohrungen war davon auszugehen, dass ca. zwei Drittel der aufzufahrenden Strecke aus weichen, kakiritisierten Gesteinen mit duktilem Bruchverhalten bestand. Bei einem Drittel der Länge konnte man von harten, bautechnisch günstigeren Gesteinen, jedoch mit sprödem Bruchverhalten ausgehen.

Für die Charakterisierung des kakiritisierten Gesteins waren die Ergebnisse der Triaxialversuchen besonders aufschlussreich. Wie in Bild 3 ersichtlich, handelt es sich um ein ausgesprochen bildsames Material mit hoher Volumenzunahme im Bruchzustand.

Als Grundlage der tunnelstatischen Untersuchungen diente das Kennlinienverfahren. Die Gebirgskennlinie stellt unter vereinfachten Annahmen die Beziehung zwischen dem Ausbauwiderstand und der Radialverschie-

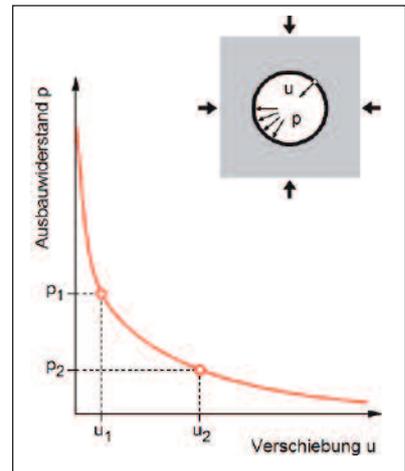
Bild 3: Typisches Ergebnis der Triaxialversuche



bung am Ausbruchrand dar. Bei einem elastisch-plastischen Material ist diese Beziehung nicht linear.

Die wichtigste, durch Beobachtung eindeutig bestätigte Aussage der Kennlinie lautet: Mit zunehmender Verschiebung nimmt der zum Gleichgewicht erforderliche Ausbauwiderstand ab (vgl. Wertepaare u_1 / p_1 bzw. u_2 / p_2 in Bild 4).

Bild 4: Gebirgskennlinie



Aufgrund dieser fundamentalen Gesetzmässigkeit lassen sich zwei Grenzfälle für den Entwurf und die Konstruktion in druckhaftem Gebirge formulieren [1]:

- das Widerstandsprinzip
- und das Ausweichprinzip.

Im ersteren Fall steht eine ausreichende Stützung des Hohlraums mit steifem Ausbau im Vordergrund, während beim Letzteren die dank Mehrausbruch zugelassenen Verformungen und eine nachgiebige Ausbruchsicherung entscheidend sind.

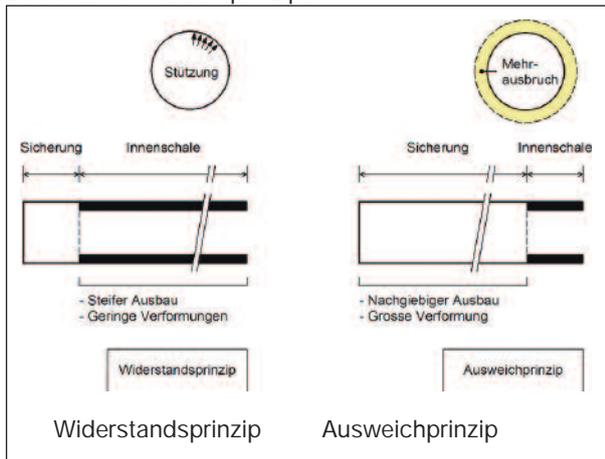
Die zwei Prinzipien unterscheiden sich auch beim Vorgehen in Tunnellängsrichtung.

Beim Widerstandsprinzip mit Vollausbuch erfolgt die Ausbruchsicherung mit schweren Stahlbögen. Die Ge-

birgsverformungen bleiben verhältnismässig gering. Die Innenschale von hoher Tragfähigkeit kann bis nahe an die Ortbrust geführt werden.

Beim Ausweichprinzip wird mit einem Mehrausbruch Raum für die erwarteten Konvergenzen geschaffen. Die Ausbruchsicherung entsprechend nachgiebig sein. Um Der Einbau der Innenschale kann in grossem Abstand von der Ortbrust und nach Monaten oder Jahren erfolgen.

Bild 5: Konstruktionsprinzipien



Das Widerstandsprinzip wurde im druckhaftem Gebirge bei den Tunnelbauten der Eisenbahnverbindung «Altà Velocità» zwischen Bologna und Florenz in den 90-er Jahren erfolgreich angewendet [6]. Dabei kam der Vollausbuch mit Ausbruchsflächen von 100 bis 120 m² mit den typischen Ortbrustankern zum Einsatz. Diese Tunnelbaumethode bedeutete damals eine zukunftsweisende Entwicklung.

Bei der Projektierung des Tunnelabschnittes TZM-Nord stellte sich für den Projektingenieur und für die am Projekt intensiv mitwirkende «Arbeitsgruppe Bautechnik Basistunnel» die Frage, ob die in Italien bestens bewährte Methode des Vollausbuchs mit dem Widerstandsprinzip übernommen werden könnte. Es galt aber zu berücksichtigen, dass dort unter ähnlichen geotechnischen Verhältnissen wie im TZM-Nord die Gebirgsüberlagerung nur 200 bis 300 m und nur mit wenigen Ausnahmen 500 m erreicht hat.

Das Ausweichprinzip, unter Anwendung von TH-Stahlprofilen mit Gleitverbindungen ist im Bergbau ein übliches Verfahren. Seit den 30-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden dabei Förderstrecken mit Durchmessern von bis zu 6 bis 8 m bei hohen Überlagerungen von 1000 m und mehr aufgeföhren. Grössere Durchmesser sind selten.

Es wurde bald klar, dass die grosse Überlagerungshöhe von 800 m im TZM-Nord gepaart mit dem erforderlichen

grossen Ausbruchdurchmesser von maximal 13 m die entscheidenden Faktoren für die Entwicklung eines geeigneten Baukonzeptes darstellten. Zur quantitativen Untersuchung dieser Fragen wurden umfangreiche tunnelstatische Untersuchungen durchgeführt.

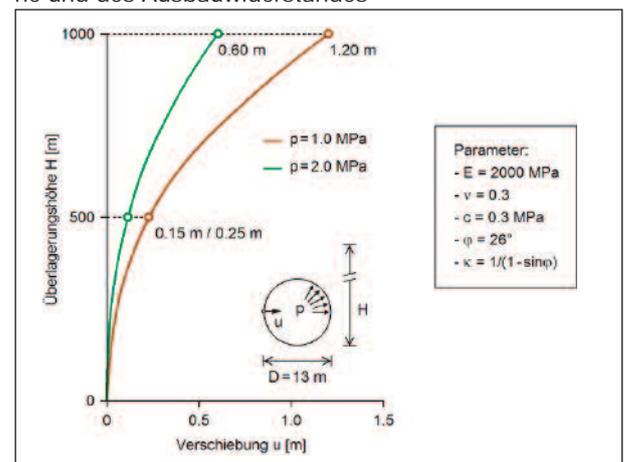
Bild 6: Anwendung des Ausweichprinzips im deutschen Steinkohlebergbau (Bild Bochumer Eisenhütte)



2. Tunnelstatik

Der Einfluss der Überlagerungshöhe H auf die Gesamtverschiebung des Gebirges u bei einem Ausbauwiderstand von 1 MPa ist in Bild 7 für die dort angeführten typischen Materialparameter mit den geringen Festigkeitswerten ersichtlich.

Bild 7: Konvergenzen in Funktion der Überlagerungshöhe und des Ausbauwiderstandes

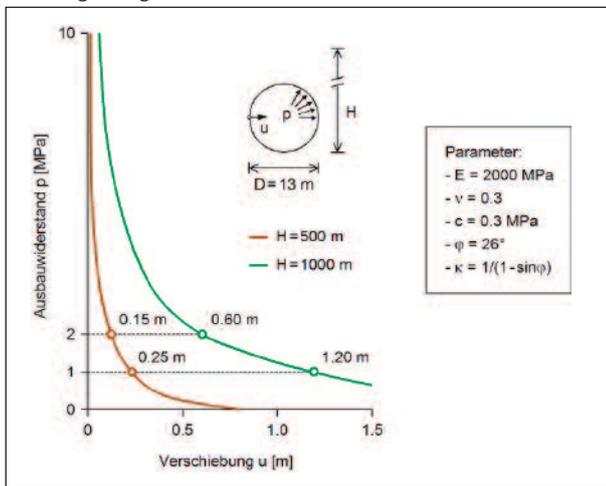


Bei einer Überlagerungshöhe von 500 m beträgt die Verschiebung 0.25 m. Bei einer Verdoppelung der Überlagerungshöhe auf 1000 m erhöht sich die Verschiebung auf den nahezu fünffachen Wert, nämlich 1.2 m.

Bei einem Wert des Ausbauwiderstandes von 2 MPa fallen die Verschiebungen auf etwa die Hälfte ihrer vorherigen Werte. Bei einer Überlagerungshöhe von 1000 m betragen sie immer noch 0.6 m.

In Bild 8 ist die Gebirgskennlinie für die Überlagerungshöhe von 500 m, bzw. 1000 m zu sehen. Für die praktisch relevanten Werte des Ausbauwiderstandes von 1 bzw. 2 MPa ergeben sich bei 500 m Überlagerung zugehörige Verschiebungen von 0.25 bzw. 0.15 m.

Bild 8: Variation der Gebirgskennlinie in Funktion der Überlagerungshöhe



Für die Überlagerungshöhe von 1000 m erhält man eine Kennlinie völlig anderer Form mit einem flachen Verlauf im interessierten Wertebereich des Ausbauwiderstandes von 1 bis 2 MPa und den bereits genannten Verschiebungswerten von 1.2 bzw. 0.6 m.

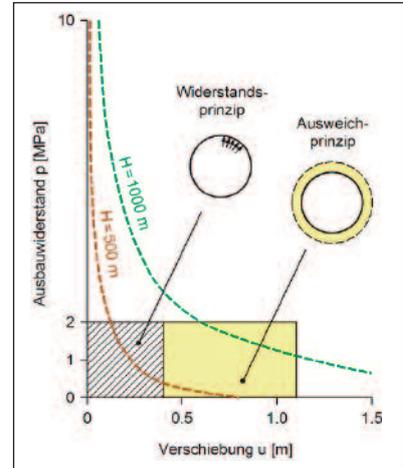
Die Vergrößerung der Überlagerungshöhe in diesem Ausmass zeigt somit nicht nur eine graduelle, sondern eine sprunghafte Änderung im Bauwerksverhalten.

Die bautechnischen Konsequenzen eines solch extremen Einflusses der Überlagerungshöhe bei dem grossen Ausbruchdurchmesser liegen auf der Hand.

Das Widerstandsprinzip ist bei Gebirgsdrücken von bis etwa 2 MPa technisch machbar, allerdings nur bei beschränkten Verschiebungen. Bei grösseren Deformationen muss es vom Ausweichprinzip abgelöst werden. Es galt nun diese Erkenntnis bei der Projektierungsarbeit für

den Gotthard Basistunnel praktisch umzusetzen. Das Ergebnis war eine Verschmelzung der italienischen Baume-thode mit Vollausbuch und Ortbrustankerung mit der im Bergbau üblichen nachgiebigen Ausbruchsicherung und Mehrausbuch.

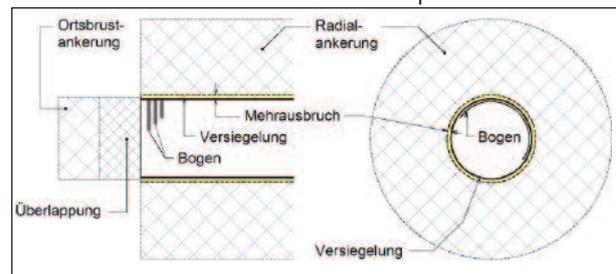
Bild 9: Anwendungsbereich der verschiedenen Konstruktionsprinzipien



3. Ausbaukonzept

Bild 10 zeigt das gewählte Ausbaukonzept für das TZM-Nord [2]-[4]. Dieses beinhaltet den systematischen Mehrausbuch von bis zu 0.7 m für die Aufnahme der Konvergenz, die Ankerung der Ortbrust mit Überlappung, die Versiegelung der Ausbruchsfläche durch Spritzbeton und Netze, die TH-Profile und eine Radialankerung. Um die hohe erforderliche Konvergenz zu gewährleisten, wurden zwei vollständige Ringe von TH-Profilen ineinander gelegt, deren jeweils acht Einzelsegmente nach dem Erschöpfen des Gleitweges stumpf auf stumpf aufeinander stossen.

Bild 10: Schematisches Ausbaukonzept



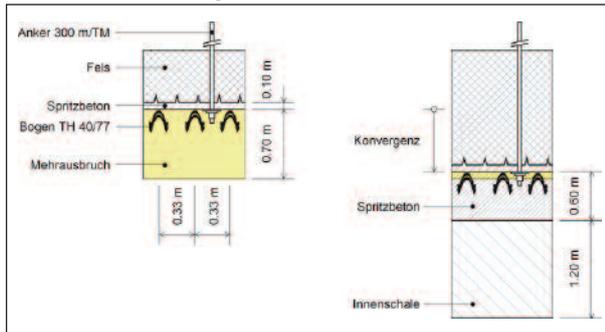
Als schwersten Ausbautyp (vgl. Bild 11) sah das Projekt maximal drei solche Bögen je Tunnelmeter, einen Mehrausbuch von 0.7 m und eine Gesamtlänge der Radialanker von ca. 300 m je Tunnelmeter vor [2]-[4]. Das effektive Tragverhalten der Radialanker bei den prognostizierten grossen Gebirgsverschiebungen konnte in der Projektierungsphase nicht restlos geklärt werden.

Nach dem Eintreten der dem Mehrausbuch entsprechenden Konvergenz stossen die Segmente der inneren

und äusseren Stahlbögen aufeinander und erhöhen so den Tragwiderstand. Um weitere Konvergenz zu verhindern, war eine 0.6 m starke Spritzbetonschale in einem Mindestabstand von rund 40 m von der Ortbrust entfernt vorgesehen.

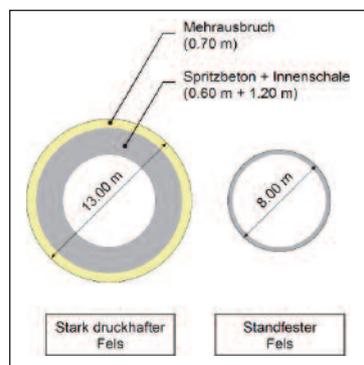
Die Stärke der mit grosser zeitlicher Verzögerung einzubringenden Innenschale betrug im Projekt maximal 1.2 m. Diese musste aber nirgends eingesetzt werden.

Bild 11: Stärkst möglicher Ausbau im TZM Nord



Die Gegenüberstellung des Profils beim schwersten Ausbautyp mit jenem in einem stabilen Fels zeigt klar, mit welchem ungewöhnlichen Problem man sich hier auseinandersetzen musste, nämlich der Beherrschung eines Ausbruchprofils von 13 m Durchmesser in extrem stark druckhaftem Gebirge.

Bild 12: Vergleich Ausbruchprofile in stark druckhaften Fels, bzw. im standfesten Fels



Die Projektverantwortlichen waren sich einig, dass hiermit Neuland betreten wurde wo auf keine direkten Vorbilder im internationalen Tunnelbau zurückgegriffen werden konnte. Deshalb war ein äusserst umsichtiges Vorgehen angezeigt. So wurde unter anderem beschlossen, das Verhalten der Stahlbögen bei dem aussergewöhnlich grossen Profil und den grossen Belastungen durch Versuche zu überprüfen.

Auf Vorschlag der Verfasser wurden die Belastungsversuche statt in einer Versuchshalle in einer Felsnische in situ durchgeführt. Mittels Wasser gefüllte Schwerlast-

Druckkissen dienten dem Erzwingen der Deformationen, bzw. der Simulation des Gebirgsdrucks. Die ausgeführte schematische Versuchsanordnung mit einer Radialbelastung von bis zu 3 MPa und einer maximalen Konvergenz von 0.7 m ist in Bild 13 ersichtlich [7].

Bild 13: Schema «in situ Stahlleinbauversuche»

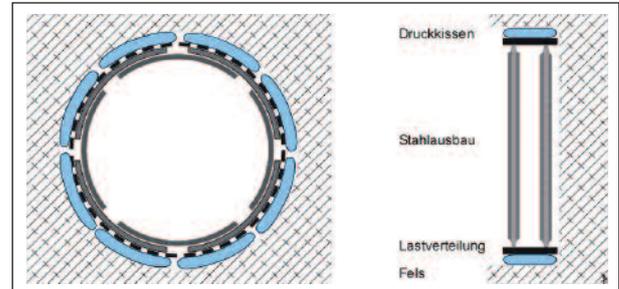


Bild 14 gibt einen Blick in die Versuchsnische mit 13 m Durchmesser, wobei der umgebende Fels die Reaktion aus der Belastung aufzunehmen hatte. Der Versagensmechanismus ist gekennzeichnet durch das Ausknicken der Bögen.

Bild 14: «In situ Versuche» für den Stahlleinbau (Versuchsstand, Versagensmechanismus)



Das wichtigste Ergebnis der Versuche bestand darin, dass diese noch vor dem Erschöpfen des Einschubweges bereits ausgeknickt waren und so ihre volle theoretische Tragfähigkeit nicht erreicht haben. Für den Ausgleich dieses Mangels mussten im Bedarfsfall andere Lösungen vorbehalten werden.

4. Bauausführung

Die praktische Umsetzung des neuen Baukonzepts stellte für den Unternehmer eine grosse Herausforderung dar. Das Einrichten einer zweiten Arbeitsebene mittels Hänginstallationen als Antwort auf die knappen Platzverhältnisse in der Sohle war der Kernpunkt seiner Lösung [8]. Der Hängekran und die Streckenausbaumaschine für den Stahleinbau waren Schlüsselgeräte im Vortriebszyklus, die eine industrielle Fertigung der Felssicherung ermöglichten.

Bild 15: Installationskonzept (Bild Transco Sedrun)

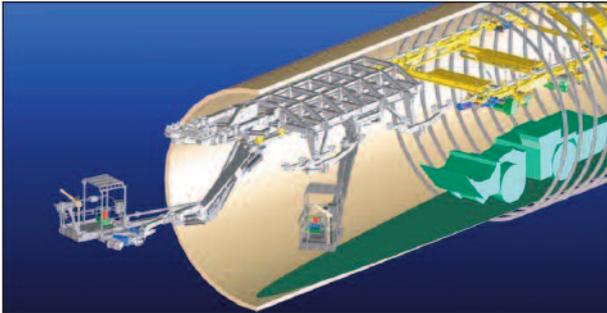


Bild 16 zeigt den Einsatz der aufgehängten Streckenausbaumaschine der Firma GTA für den Stahleinbau. Die Ortsbrustanker aus Stahl mussten jeweils abgetrennt werden, wie man auf dem Bild unten rechts sieht. Der mechanische Abbau des stark kakiritisierten Materials bot in der Regel keine Probleme. In diesen Bereichen konnte man teilweise sogar den Daumen in das Material eindrücken.

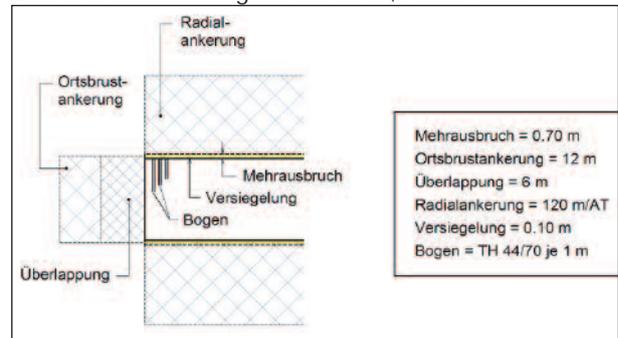
Am Beispiel des Tunnelmeters 1177 in der Weströhre soll das typische beobachtete Bauwerksverhalten illustriert werden.

Der Mehrausbruch betrug dort 0.7 m, die Länge der Ortsbrustanker war 12 m mit einer Überlappung von 6 m. Die Gesamtlänge der Radialanker beschränkte sich auf 120 m und es wurde je Tunnelmeter nur ein Bogen gestellt. Es handelte sich somit um einen verhältnismässig bescheidenen Ausbauwiderstand, aber um einen grossen Mehrausbruch für die Aufnahme der Gebirgsverformungen.

Bild 16: Stahleinbau (oben) und Ablängen der Ortsbrustanker (unten)



Bild 17: Felssicherung bei Tm 1177, Röhre West

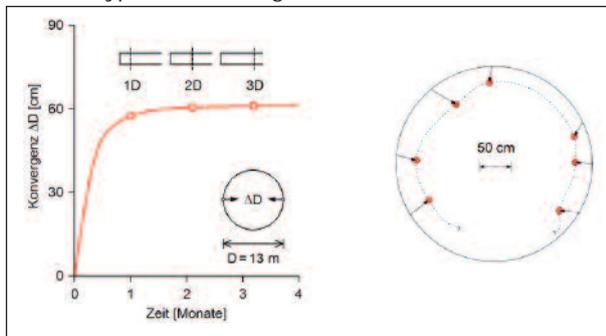


Bei den annähernd gleichmässig aufgetretenen Konvergenzen wurden bis zu 0.6 m radiale Deformationen gemessen. Bemerkenswert ist der für das gesamte TzM-Nord typische Verlauf der Konvergenz in Funktion des Abstandes von der Ortsbrust. Man sieht, dass in einer Entfernung von einem Tunneldurchmesser über 90% der Konvergenz stattgefunden haben und die in diesem Material befürchteten grösseren Langzeitverformungen ausblieben.

Die Anschlüsse der TH-Bögen zeigten denn auch ein mehr oder weniger regelmässiges Schliessen. Es ist nicht verwunderlich, dass bei solchen Verformungen die Versiegelung durch Spritzbeton je nach der Schichtung und

Schieferung örtlich versagt hat. Deshalb waren speziell starke Netze (sog. Verbundmatten) als Kopfschutz unverzichtbar (vgl. Bild 19).

Bild 18: Typische Konvergenzen



Die stark wechselhafte Kakiritisierung des Gebirges und das Vorhandensein fester Gesteinspakete hat sich auf das Gesamtbild der Konvergenz entlang der Tunnelachse sehr stark ausgewirkt.

Bild 19: Deformierte Felssicherung

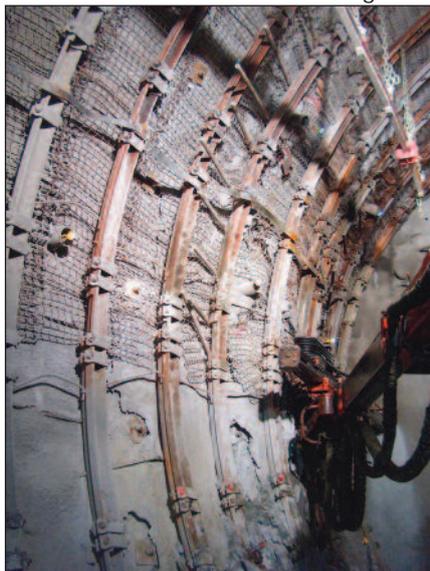


Bild 20 zeigt einen ausgewählten Tunnelabschnitt von rund 200 m Länge mit dem Versuch einer Korrelation zwischen dem Grad der Kakiritisierung des Gesteins und der gemessenen Konvergenz. Es handelt sich hier um den Verlauf der im Tunnelprofil gemittelten Werte und um jenen der Spitzenwerte. Während die mittleren Werte der radialen Konvergenz zwischen 10 cm und 40 cm variierten, ergaben sich im betrachteten Tunnelabschnitt lokale Konvergenzen bis zu 70 cm.

Neben dem messtechnischen Erfassen des Gebirgsverhaltens sind natürlich die bautechnischen Belange von grösstem Interesse.

Bild 20: Gebirgstragverhalten von Tm 1150 bis Tm 1350

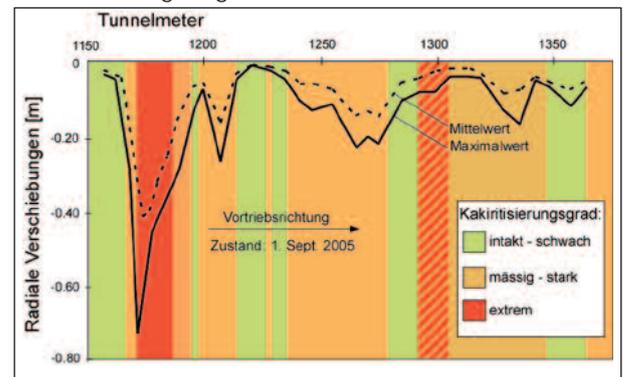
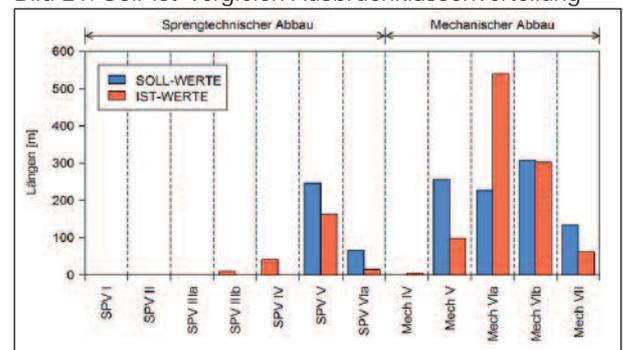


Bild 21 zeigt den Soll-Ist-Vergleich der Verteilung der Ausbruchsklassen im Tunnelrohr West. Es gab 7 Klassen für sprengtechnisches Lösen des Gebirges und 5 solche für einen mechanischen Abbau. Bemerkenswert ist die verhältnismässig gute Übereinstimmung der Prognose mit den wirklichen Verhältnissen.

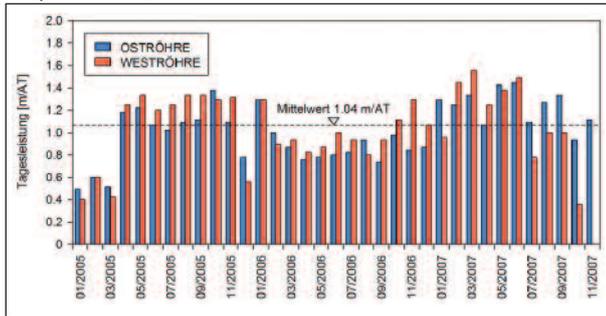
Auffallend ist die Klasse AK VIa mit mechanischem Abbau, die für rund 50% des Tunnelabschnittes Gültigkeit hatte. Einige Angaben zur Ausbruchssicherung in dieser Klasse: Der Mehrausbruch betrug 0.5 m. Bei einer Abschlagslänge von 1.3 m wurden jeweils zwei Bögen eingebaut. Die Radialankerung war mit einer Gesamtlänge von rund 100 m je Tunnelmeter bescheiden – so auch die Ortbrustankerung mit 50 Stück von 12 m Länge und 6.5 m Überlappung.

Bild 21: Soll-Ist-Vergleich Ausbruchklassenverteilung



Die aufgefahrene mittleren Tagesleistungen pro Monat in den Tunnelröhren Ost und West sind in Bild 22 ersichtlich. Nach einer anfänglichen Lernphase anfangs 2005 wurden bald einmal kontinuierliche Arbeitszyklen erreicht, die zu annähernd konstanten Vortriebsleistungen führten. Die werkvertraglich vereinbarte durchschnittliche Leistung betrug 1.1 Meter pro Arbeitstag. Diese wurde auch annähernd erreicht. Damit konnte das geplante Bauprogramm für diesen aussergewöhnlichen Tunnelabschnitt eingehalten werden.

Bild 22: Mittlere Tagesleistung in der Ost- und Weströhre (pro Monat)



5. Schlussfolgerungen

Aus der Sicht des Bauherrn ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen:

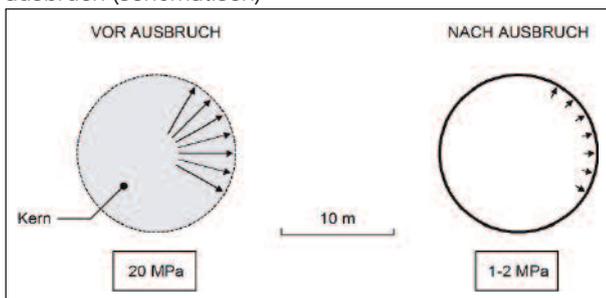
Bei der Projektierung des Gotthard Basistunnels stellte sich bereits Mitte der 90-er Jahre Frage nach der technischen Machbarkeit eines rund 1 km langen Tunnelabschnittes mit 800 m Überlagerung in stark kakiritisiertem Gebirge.

Die zu beantwortende Fragestellung lautete:

Ist es möglich, in einem Tunnel von 13 m Ausbruchdurchmesser mittels eines Ausbauwiderstands von höchstens 2 MPa ein neues Gleichgewicht herzustellen und dieses für eine Betriebszeit von 100 Jahren aufrecht zu erhalten, wenn im unverritzten Gebirge Spannungen von rund 20 MPa vorherrschen (vgl. Bild 23)?

Gestützt auf frühere Erfahrungen unter vergleichbaren geotechnischen Verhältnissen, wie etwa im Mesozoikum des Gotthard Strassentunnels bei einer Überlagerung von nur 300 m, waren Zweifel an der technischen Machbarkeit der Durchörterung des TZM-Nord durchaus berechtigt. Man konnte sich in der Tat auf keine der bis anhin bekannten Bau- und Betriebsweisen und der Mittel der Ausbruchsicherung abstützen.

Bild 23: Gleichgewichtszustände vor und nach Tunnelausbruch (schematisch)



Ausgehend von der in Italien gerade zu dieser Zeit zur Perfektion entwickelten Vorgehensweise des Vollaubruchs [6] und unserer konzeptueller Modifizierung mit den Mitteln des Bergbaus konnte aber eine vielversprechende Lösung gefunden werden. Diese Lösung entstand auf wissenschaftlicher Grundlage, wobei die Erkenntnisse der Tunnelstatik den Beweis der technischen Machbarkeit geliefert haben. Für die derart ausgeschriebene Amtslösung wurden keine vollständigen Unternehmervarianten eingereicht.

Dass der Tunnel schliesslich den Erwartungen entsprechend realisiert werden konnte, hing von mehreren Faktoren ab:

- Als primärer Erfolgsfaktor ist das in sich konsistente tunnelstatische Konzept zu nennen.
- Von grösster Bedeutung ist aber auch die Tatsache, dass sich der Unternehmer der Herausforderung einer völlig neuen Baumethode stellte. Mit dem höchsten Grad der Mechanisierung wurden kontinuierliche Leistungen sichergestellt.
- Die Projektgeologen lieferten aufgrund systematischer Voraussondierungen laufend zutreffende praxisgerechte Prognosen des Bauwerkverhaltens.
- Die Begleitung des Ingenieurs, seine differenzierten Gefährdungsbilder, das Messwesen sowie die Bauleitung und die Experten trugen auf ihre Weise zum Erfolg bei.

Woran lässt sich der stipulierte Erfolg messen? Massgebend sind primär sicher die Erfüllung der Termin-, Kosten- und Qualitätsziele. Dazu kann folgende Bilanz gezogen werden:

- Das Terminziel wurde erreicht und mit einem um neun Monate früheren Durchschlag sogar übertroffen.
- Die Vortriebsleistungen wiesen nur geringe Schwankungen auf.
- Das Kostenziel wurde erreicht.
- Nachprofilierungen wurden auf den insgesamt 2 km langen Tunnelvortrieben nirgends notwendig. Dies ist ein starkes Zeichen der konzeptuellen Geschlossenheit des tunnel-statischen Konzepts.

Speziell zu erwähnen ist die Tatsache, dass von der ersten Stunde der Projektentwicklung bis zum Durchschlag von allen Projektbeteiligten mit einem hohen Mass an Verantwortung am gleichen Strick gezogen wurde. Trotz aufgetauchter Probleme unterschiedlicher Art blieb das sachliche, lösungsorientierte Gespräch immer erhalten. In

diesem Sinne gilt die Überwindung der druckhaften Strecke im TZM-Nord als Vorbild für partnerschaftliche Zusammenarbeit bei aussergewöhnlich schwierigen Aufgaben.

Literaturverzeichnis

- [1] Kovári, K. (1998): Tunnelbau in druckhaftem Gebirge, Tunnel 5/98; Bauverlag Gütersloh München.
- [2] Ehrbar H., Pfenninger I. (1999): Umsetzung der Geologie in technische Massnahmen im Tavetscher Zwischenmassiv Nord, Tagungsband GEAT99 , ETH Zürich. Balkema , Rotterdam
- [3] Kovári K., Amberg F., Ehrbar H. (1999): Tunnelbau in druckhaftem Gebirge – Eine Herausforderung für die neuen Alpentransversalen, X. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik, Ruhr-Universität Bochum, Balkema, Rotterdam
- [4] Ehrbar H., (2004): Vortriebskonzept in den druckhaften Zonen, Vom Projekt zur Ausführung, Tagungsband EUROCK 2004, 53. Geomechanik Kolloquium, Salzburg. Balkema, Rotterdam
- [5] Guntli, P. (2005): Vortrieb Gotthard Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun, geologisch-geotechnisch-hydrogeologische Verhältnisse im Tavetscher Zwischenmassiv und in der Ursern-Garvera-Zone, Tagungsband GEAT2005, vdf Hochschulverlag AG ETHZ
- [6] Lunardi, P. (1998): Storia del collegamento ferroviario tra Bologna e Firenze. Gallerie e grandi opere sotterranee, No. 54
- [7] Kovári, K., Ehrbar, H., Theiler, A. (2005): Druckhafte Strcken im TZM Nord: Projekt und bisherige Erfahrungen, Tagungsband GEAT2005, vdf Hochschulverlag AG ETHZ
- [8] Theiler, P. (2005): Umsetzung der bautechnischen Massnahmen im Tavetscher Zwischenmassiv Nord, Tagungsband (GEAT), vdf Hochschulverlag AG ETHZ