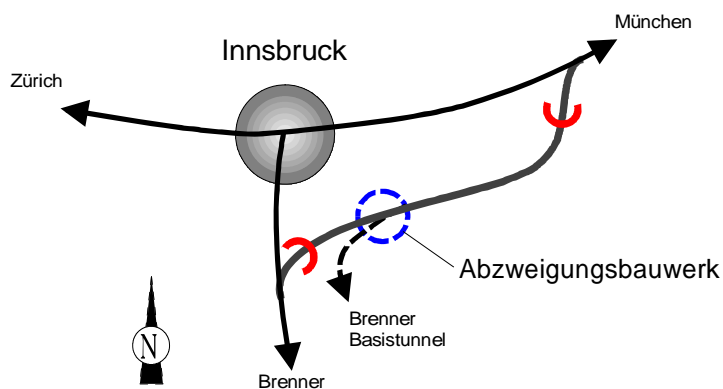


Inntaltunnel - Vortrieb des Abzweigbauwerkes Brenner

von o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont Wulf Schubert, Dipl.-Ing. Uwe Siding und Dr. Wilfried Leimser*

Das Bauwerk

Die derzeitige Einbindung des Inntaltunnels in die bestehende Brennerstrecke im Wipptal stellt eine Übergangslösung dar. Längerfristig ist geplant, die Kapazität dieser für den Nord-Süd Transit so wichtigen Alpentransversale durch den etwa 50 km langen, derzeit in der Studienphase befindlichen Brennerbasistunnel weiter zu erhöhen (Bild 1). Um eine künftige Einbindung der Umfahrung Innsbruck in den Brennerbasistunnel zu ermöglichen war es erforderlich, ein Abzweigbauwerk bereits im Zuge des Vortriebes des Inntaltunnels bergmännisch zu errichten.



Eine Studie zeigte, daß eine nachträgliche Anbindung - sollte die Entscheidung für den Bau des Brennerbasistunnels fallen - technisch äußerst schwierig und kostspielig sein würde.

Da die Verbindung zwischen Inntaltunnel und Brennerbasistunnel ebenso wie der Inntaltunnel zweigleisig hergestellt werden soll, ergibt sich ein Abzweigbauwerk von ca. 550m Länge und einem maximalen Ausbruchsquerschnitt von rund 310 m². Die Breite des

größten Querschnittes im Ausbruch beträgt ca. 27 m, bei einer Höhe von rund 15 m.

Bild 1: Übersichtslageplan Inntaltunnel/Abzweigbauwerk

Das Abzweigbauwerk ist in fünf Abschnitte mit jeweils verschiedenen Querschnitten unterteilt (Bild 2).

Von der geplanten Verbindung zum Brennerbasistunnel wurden im Zuge des Bauvorhabens Inntaltunnel 200 m hergestellt, um später einen problemlosen Anschluß zu ermöglichen. Durch die Englage der Röhre des Inntaltunnels mit der Röhre des Verbindungstunnels ergibt sich eine minimale Stärke des Felspfeilers zwischen den Röhren von nur rund 1,5 m.

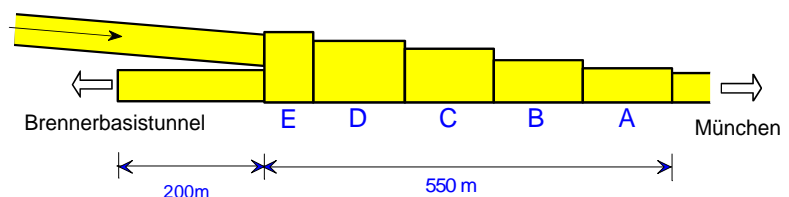


Bild 2: Schema Abzweigbauwerk (nicht maßstäblich)

Der Inntaltunnel wurde von der Arbeitsgemeinschaft Inntaltunnel, bestehend aus ILBAU, AST, und G. Hinteregger & Söhne (AIT) hergestellt.

Die Vertretung des Bauherrn auf der Baustelle wurde von ILF (Projektmanagement) und GEOCONSULT (Örtliche Bauaufsicht) wahrgenommen. Baubeginn für den Tunnel war September 1989, der Durchschlag erfolgte Ende 1992, der Betrieb wird im Sommer 1994 aufgenommen.

* Der erstgenannte Autor war von 1989 bis 1992 Leiter der Bauaufsicht (Geoconsult), der zweite Losbauleiter Süd (G.Hinteregger & Söhne, Salzburg), der dritte verantwortlich für die geologische Dokumentation (ILF)

Geologische Verhältnisse

Der Inntaltunnel liegt in der NW - Ecke des mächtigen Gesteinskomplexes des Innsbrucker Quarzphyllites. Dabei handelt es sich um schwach metamorphe kristalline Schiefer der aufsteigenden, unteren Grünschieferfacies. Die den Innsbrucker Quarzphyllit aufbauenden Gesteine sind vorwiegend Quarzphyllit, untergeordnet Chlorit-, Serizit-, Kalkphyllite, sowie Grünschiefer- und Karbonatkörper.

Im Südvortrieb traten davon alle Gesteinsarten mit Ausnahme der Karbonate auf.

Der Typus Quarzphyllit ist ein grauer, feinkörniger, serizitischer, dünnplattiger bis dünnbankiger Schiefer mit ebenen bis welligen Schieferungsflächen, die bei stärkerer tektonischer Beanspruchung glatt und schmierig werden.

Chlorit- und Serizitphyllite weisen eine Glimmervormacht auf, Kalkphyllite unterscheiden sich makroskopisch nicht vom Quarzphyllit.

Grünschieferkörper sind in der Regel von mehreren kleinen Störungen begleitet, obwohl sie primäre Einlagerungen im Phyllitkomplex darstellen. Der Grünschiefer bildet teils massige Körper bis zu 100 m Länge und über 15m Mächtigkeit, teils auch Wechsellagerungen mit den Phylliten im Dezimeterbereich. Im ungestörten Zustand ist er ein wenig geschiefertes, bankiges bis massiges, geklüftetes Gestein großer Festigkeit. Große Trennflächen sind oft tonig verwittert.

Schieferungsorientierung: Die Gesteine sind flach gelagert und fallen bis 30° nach Norden, Westen oder Süden ein. Die Schieferungsflächen zählen zu den wichtigsten Trennflächen.

Tektonische Trennflächen: Klüfte, Scherflächen und Störungen weisen weitgehend ähnliche Orientierungen auf. Häufig kommen dabei Trennflächen vor, die etwa diagonal bis spitzwinklig zur Tunnelachse streichen. Entsprechend ihrer Erstreckung, Lage und Ausbildung haben sie einen wechselnd großen Einfluß auf die Stabilität des Tunnels und das Verformungsverhalten des Gebirges.

Obwohl bis zum Aufweitungsbereich keine Großstörungen angetroffen wurden, konnte das Auftreten solcher Störungen im Abzweigungsbereich auf Grund der Erfahrungen im Nordvortrieb nicht ausgeschlossen werden.

Bauvertrag

Für das baubetriebliche Konzept zur Herstellung des Ausbruchs des Abzweigungsbereiches waren unter anderem folgende Punkte aus dem Bauvertrag von besonderer Bedeutung:

Vortriebsleistung: mit der Abgabe des Angebotes garantierte der Unternehmer (zur Ermittlung der Soll-Bauzeit) eine von den Gebirgsgüteklassen abhängige Leistung für den Regelquerschnitt der Kalotte. Der Bauvertrag sieht für den Abzweigungsbereich vor, daß diese auf den Normalquerschnitt bezogene Leistung linear nach den Flächen der Kalottenquerschnitte des Aufweitungsbereiches umgerechnet wird. Weitere Abminderungen für Anfahrvorgänge, Stirnwände, bzw. Behinderungen durch die Zwischenbaustadien waren nicht vorgesehen.

Sprengerschütterungen: im Vertrag sind für die Durchführung der Sprengarbeiten Grenzwerte für die resultierenden Schwinggeschwindigkeiten an Gebäudefundamenten vorgeschrieben:

von 6.00 bis 22.00 h $v_{\max} = 8,80 \text{ mm/s}$
von 22.00 bis 6.00 h $v_{\max} = 0,35 \text{ mm/s}$

Zur Überprüfung der Einhaltung der maximal zulässigen Erschütterungen wurden mit zwei Geräten laufend Messungen durchgeführt.

Operative Planung

Die Planung für das Ausführungskonzept des Aufweitungsbauwerkes erfolgte in enger Zusammenarbeit von Unternehmung, Bauaufsicht und Baumanagement, wobei die bereits bis zu diesem Zeitpunkt gemachten Erfahrungen mit dem Gebirgsverhalten eine entscheidende Rolle spielten.

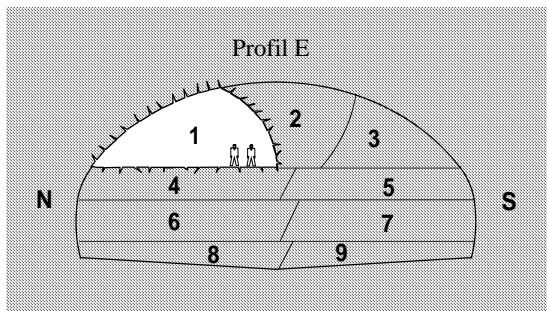
Randbedingungen

Folgende maßgebliche Randbedingungen prägten die operative Planung für das Abzweigungsbauwerk :

- Auffahren der Verziehungsstrecke beginnend mit dem größten Querschnitt
- kein detaillierter geologischer Aufschluß, daher die Möglichkeit des Antreffens von Störungszonen im Abzweigungsbereich nicht auszuschließen.
- die Notwendigkeit, bei Antreffen auch von schlechten Gebirgsverhältnissen mit demselben Auffahrkonzept fortfahren zu können.
- möglichst optimale Ausnutzung von Gerät und Mannschaft, bei gleichzeitig minimierter Bauzeit
- möglichst geringer Aufwand an temporären Sicherungsmaßnahmen

Baubetriebliches Konzept

Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren entschloß man sich zu einer Dreiteilung des Kalottenquerschnittes in den zwei größten Querschnitten (E und D), wogegen die beiden mittleren Abschnitte (C,B) zweiteilig, und der letzte einteilig ausgeführt wurde.



Die Kalottenhöhe ergab sich aus dem Arbeitsbereich des Bohrwagens, bzw. aus der maximal erreichbaren Höhe des vorhandenen Hebeegerätes. Bei den beiden größten Querschnitten (D und E) wurden zwei Strossen ausgeführt (Bild 3).

Die Teilvortriebe 2 und 3 sollten im Normalfall dem voreilenden Vortrieb am Nordulm in einem Abstand von je 15 bis 20 m folgen.

Bild 3: Abbaufolge Querschnitt E

Das gewählte Konzept des Vorauseilens des Nordulmes hätte im Fall des Antreffens von schlechten Gebirgsverhältnissen, welche zusätzliche zeitaufwendige Maßnahmen - wie das Versetzen von schweren Ankern, oder ähnlichem - die Möglichkeit geboten, die Teilvortriebe zu entkoppeln und die nachfolgenden Aufweitungsschritte parallel zum voreilenden Vortrieb mit geringerem Zeitdruck herzustellen.

Bedingt durch das Anfahren der Kaverne mit dem Normalvortrieb am Nordulm war auch anzustreben, daß die Versorgungseinrichtungen und -leitungen ohne aufwendigen Umbau am selben Ulm in kurzem Abstand nachgeführt werden können.

Außerdem bietet diese Lösung gegenüber z.B. einer vorauseilenden Auffahrung des Mittelteils den gebirgsmechanisch wichtigen Vorteil, daß zumindest an einem Ulm die endgültige Sicherung sofort eingebaut werden kann.

Zudem dient der vorauseilende Vortrieb auch zur Detailerkundung der geologischen Verhältnisse und erlaubt eine Extrapolation auf die noch aufzufahrenden Restquerschnitte.

Zur Einsparung von Bauzeit entschloß man sich, den 200 m langen Stichtunnel gleichzeitig mit dem Abzweigungsbereich herzustellen.

Baustelleneinrichtung

Für den Vortrieb im Normalprofil war die Kalotte mit einem dreiarmligen Bohrwagen (Atlas Copco H185), einem Radlader (Liebherr 551), einer Spritzbühne und einer Trockenspritzanlage mit drei Maschinen ausgerüstet. Der Strosse stand ein zweiarmliger Bohrwagen, eine Laderaupe, und eine mit zwei Maschinen bestückte Spritzanlage zur Verfügung.

Die Bewetterung erfolgte über einen Belüftungsschacht und eine Lutte mit 260 cm Durchmesser, bzw. 160 cm im Kalottenbereich. Der eingesetzte Lüfter (AL 18) erlaubt die Förderung von einer Maximalmenge von rund 4000m³/min.

Zur Bewältigung der vermehrten Angriffsstellen und der größeren Kubatur im Abzweigungsbereich wurde das Gerät entsprechend ergänzt. Zusätzlich wurden ein zweiarmliger Bohrwagen (alternierend im Stichtunnel und in der Kalotte der Kaverne eingesetzt), eine Hebebühne und nach Bedarf angemietete Schutterfahrzeuge, sowie eine Spritzanlage für den Stichtunnel bereitgestellt.

Stützmittelkonzept

Wie in Österreich meist üblich, wurde vom Planer auch für dieses Bauwerk keine starre Vorgabe der einzubauenden Stützmittel gemacht. Dies ermöglichte eine optimale Anpassung der Stützmittel an die angetroffenen geologischen Verhältnisse vor Ort.

Bereich Englage: im Bereich der Englage wurde relativ gutes Gebirge angetroffen, das unter normalen Umständen eine Abschlagslänge von 2 bis 3 Metern erlaubt hätte. Zur Schonung des im Endzustand hoch beanspruchten Pfeilers wurde ab einer Pfeilerstärke von etwa 6 m die Abschlagslänge auf 1,5 m zurückgenommen und generell, besonders aber im Pfeiler mit dem Vortrieb bereits eine verstärkte Ankerung eingebaut.

Überschlägige Berechnungen zeigten, daß der Felspfeiler bis zu einer Stärke von etwa 4m ohne Sondermaßnahmen nicht in der Lage sein würde, die Spannungen zur Gänze aufzunehmen. Das Ziel des Ausbaues mußte es daher sein, den Felspfeiler durch Ankerung soweit zu vergüten, daß

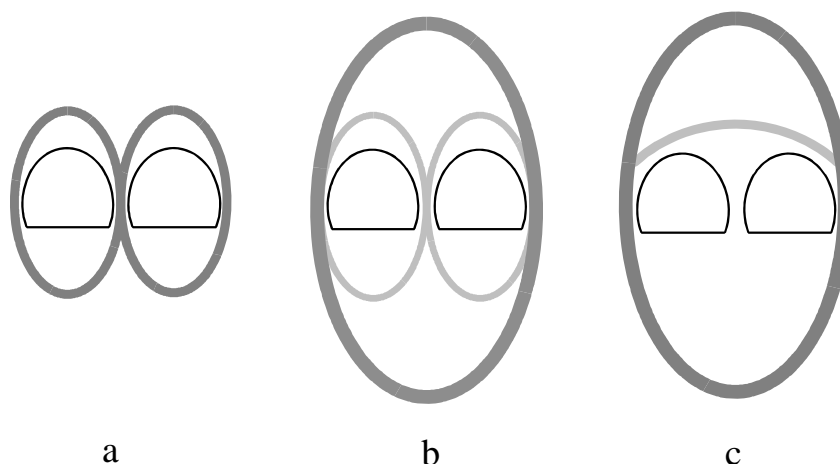


Bild 4: Schematische Darstellung der "Gebirgstragringbildung": a) bei "steifem" Pfeiler; b) bei nachgiebigem Pfeiler; c) nach Überlastung des Pfeilers Ausbildung eines "Sekundärgewölbes"

keine Gefahr des Durchscherens an bestehenden Trennflächen bestand. Auf der anderen Seite

mußte eine gewisse Nachgiebigkeit gewahrt bleiben, um die Ausbildung eines die beiden Röhren überspannenden Gebirgsgebölbes zu ermöglichen und damit den Pfeiler zu entlasten (Bild 4).

Kavernenbereich: um bei Kavernen dieser Spannweite sicherzugehen, auch bei ungünstiger Kluftkombination die maximal möglichen Kluftkörper in ihrer Lage zu halten, wären aus rein geometrischen Gründen Anker hoher Tragkraft in dichtem Raster mit einer Mindestlänge von 12 m, besser noch 15 m vorzusehen (Bild 5).

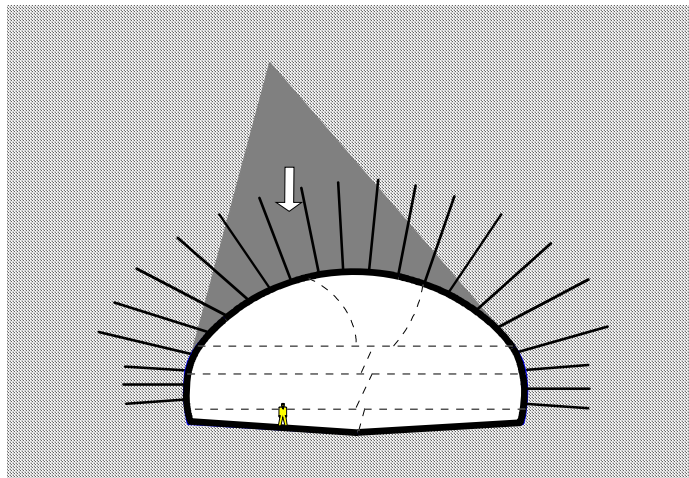


Bild 5: Möglicher Kluftkörper über der Kaverne

Zur Erreichung einer wirtschaftlichen und zeitsparenden Lösung wurde bei diesem Bauwerk - dem ursprünglichen Geist der NÖT folgend - ein auf die angetroffenen Verhältnisse maßgeschneidertes Stützmittelkonzept angewandt: basierend auf den Erfahrungen der im Südvortrieb bereits aufgefahrenen 5500 m Normalprofil wurde für den vorausseilenden Vortrieb des nördlichen Ulmzwickels eine Systemankerung mit 8 m langen SN-Ankern in einer Dichte von etwa 1 Anker je 2,5 m² vorgesehen. Diese Ankerdichte wäre für die Stabilisierung der Kalotte bei günstigen geologischen Verhältnissen ausreichend, wobei die Ankerlänge bereits auf den vollen Querschnitt ausgelegt ist. Nur teilweise würde dieser Ausbau in der Lage sein, ungünstig liegende Trennflächen oder Störungen ausreichend zu verdübeln, um die Ausbildung eines Sekundärgewölbes zu ermöglichen.

Ganz bedeutend für die Durchführbarkeit des maßgeschneiderten Stützmittelkonzeptes war die intensive geologische Aufnahme mit besonderer Berücksichtigung der Trennflächen- und Störungsorientierungen und -eigenschaften. Die gewonnenen Aufschlüsse und Gefügedaten sollten kontinuierlich ausgewertet und auf ungünstige Lagen und Kombinationen untersucht werden. Nach Analyse der Ergebnisse sollte daraufhin, unter Berücksichtigung der geodätisch gemessenen Absolutverformungen und der Daten aus Extensometermessungen die endgültig erforderliche Ankerung bestimmt werden.

Ziel der Ankerung war, die Defekte des Gebirges unter Ausnützung der natürlichen Rauigkeit und Welligkeit der vorhandenen Trennflächen hohlraumnah soweit zu verdübeln, daß die Bildung eines tragfähigen Gewölbes direkt über der Firste möglich wurde. Es wurden also auch bei der Ergänzung der Ankerung, je nach Lage der zu verdübelnden Trennflächen nur 6- und 8m SN-Anker versetzt.

Da mit diesem Konzept dem Gebirge die überwiegende Tragfunktion zugewiesen wurde, wobei es in seiner Aufgabe nach Kräften unterstützt wurde, kam den anderen Ausbauelementen - Tunnelbögen und bewehrtem Spritzbeton - wesentlich geringere Bedeutung zu. Leichte Tunnelbögen (Glockenprofile E 21) wurden primär eingebaut, um eine möglichst günstige Geometrie des Hohlraumes zu erreichen. Einlagig bewehrter Spritzbeton wurde durchwegs in einer Nominalstärke von 20cm vorgesehen.

Die Ausführung

Aufweitung

Der Anfahrvorgang in die Kaverne war durch die unterschiedlichen Kalottensohlenhöhen des Normalquerschnittes und des ersten Aufweitungsquerschnittes erschwert. Über eine Rampe wurden wenige Meter in den Abzweigungsbereich - mit teilweise temporärer Sicherung im Ulm und in der Firste - die höhere Kalottensohle des Querschnittes E erreicht. Nach Schaffung von genügend Arbeitsraum wurde daraufhin auf den Querschnitt E1 aufgeweitet und die endgültige Sicherung eingebaut. Nach Vortrieb von etwa 40 m des Querschnittes E1 wurde parallel die Queraufweitung der Abschnitte E2 und E3 in Angriff genommen und beide Querschnitte gestaffelt bis zur Stirnwand zurück und nach vorne ausgebrochen.

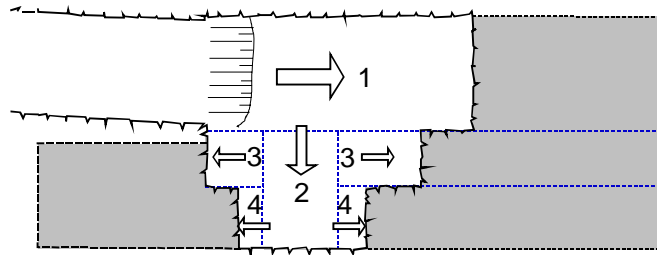


Bild 6: Anfahrvorgang im Abschnitt E

Der anschließende Regelvortrieb in den drei Kalottenteilquerschnitten und der ersten Strosse verlief weitgehend nach Plan.

Foto 2

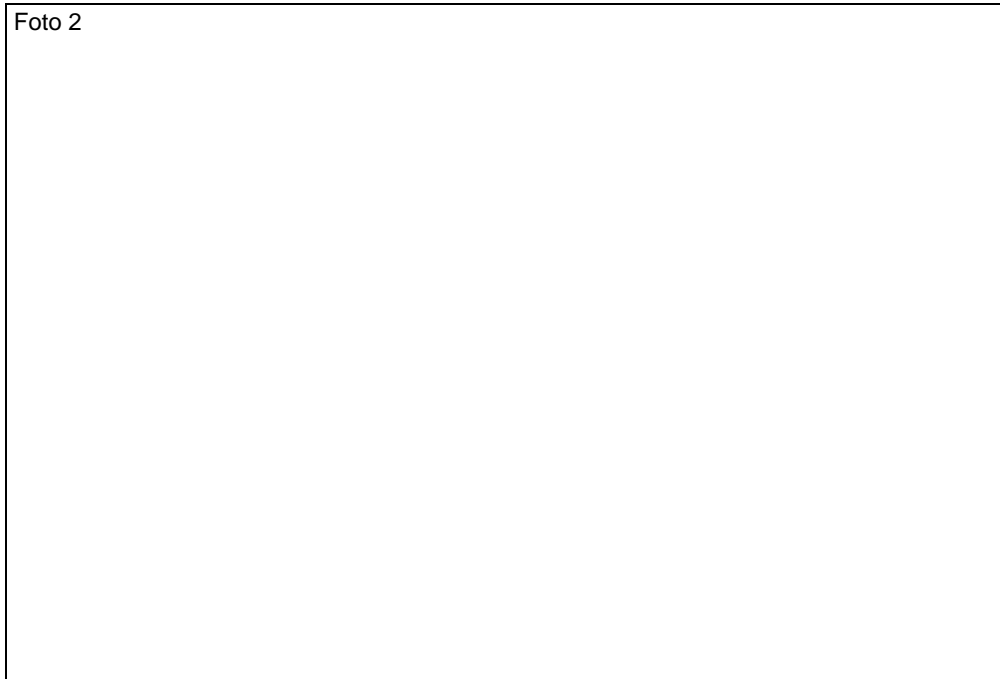


Bild 7: Geteilter Kalottenausbruch im Abschnitt E

Die Erfahrungen zeigten, daß die Erschütterungswerte am Tag bei sorgfältiger Bohr- und Schießarbeit leicht eingehalten werden konnten. Der für die Nachtstunden vorgeschriebene Wert konnte dagegen nur in Ausnahmefällen unterschritten werden, wodurch sich im Aufweitungsbereich (Gemeinde Aldrans) die Notwendigkeit der Verhängung eines Nachtsprengverbotes ergab.

Dieses wirkte sich besonders in den kleineren Profilen (C,B,A) nachteilig auf einen optimalen Zyklus aus, da getrachtet werden mußte, bis 22 Uhr genug Arbeit für die Nacht zu schaffen.

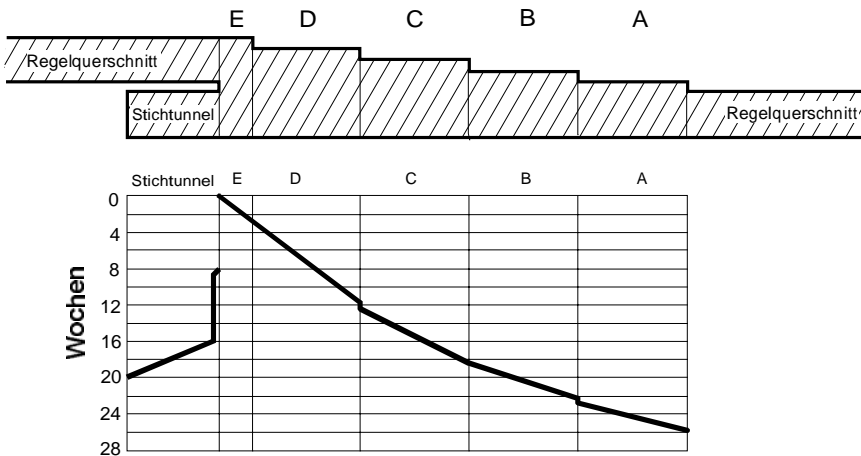


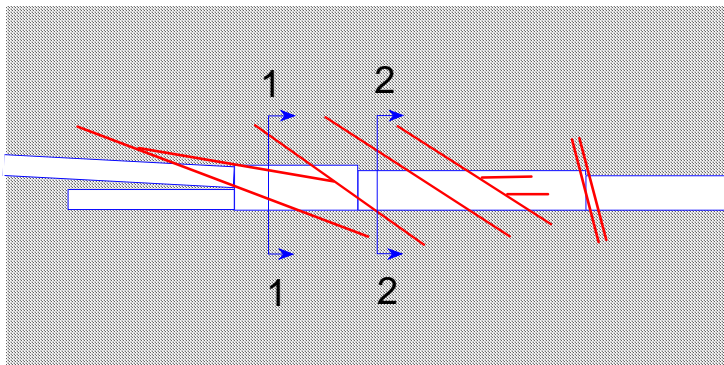
Bild 8: Zeitplan Ausbruch Kalotte

D auf Abschnitt C mußte nicht nur der Kalottenteil 2 bis zur Stirnwand vorgezogen werden, sondern auch das Erreichen dieses Punktes mit der ersten Strosse abgewartet werden, bevor genug Lichtraum für den weiteren Vortrieb geschaffen war.

Weitere Störungen des Ablaufes bewirkten mehrere im Kalottenbereich auszubrechende Nischen für Fahrdrabtension und Nachspannung.

In größerem Maß hinderlich als ursprünglich angenommen, erwiesen sich die Stufen bei den Übergängen zwischen den einzelnen Querschnitten. Beim Übergang von Abschnitt

Gebirgsmechanisch besonders relevant waren mehrere 50 bis 75° einfallende und rund 30° zur Tunnelachse streichende



Scherbahnen (Bild 9 und Bild 10), die praktisch den gesamten Bereich der Abschnitte E und D ungünstig beeinflussen.

Aufgabe der Ankerung war es, diese Scherflächen soweit zu verdübeln, daß sie mechanisch nicht wirksam werden konnten. Durch gezielten Einsatz von zusätzlichen, der Lage der Flächen im Verhältnis zum Hohlraum

Bild 9: Lage der Hauptstörungen

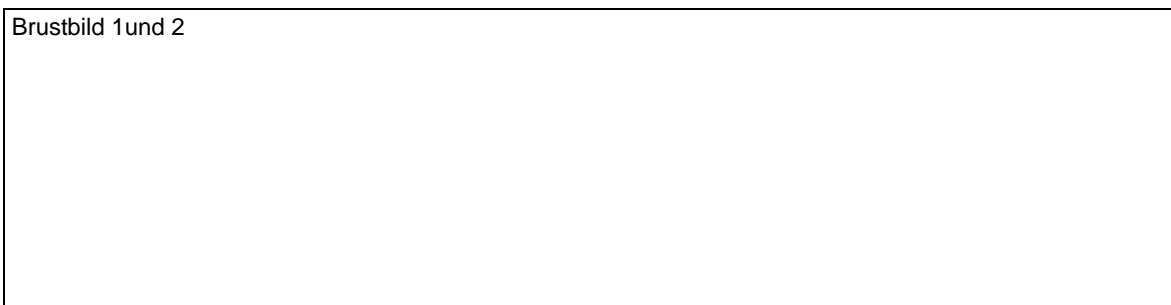


Bild 10: Geologische Brustaufnahmen, Sta.4581 (Schnitt 1-1), Sta.4638 (Schnitt 2-2)

angepaßten Ankern, konnte der gewünschte Effekt erreicht werden.

Diese auf das Gefüge abgestimmte, zur Regelankerung zusätzliche Ankerung wurde möglichst so rechtzeitig bestimmt, daß sie mit dieser im selben Arbeitsgang eingebaut werden konnte.

Das Ausbruchsvolumen des gesamten Aufweitungsgebietes betrug rund 100.000 m³. Einschließlich temporärer Sicherung und Sicherung der Stirnwände wurden in diesem Bereich

rund 9.400 Anker in Längen von 3 bis 8m (rund 62.400 lfm) versetzt, was einer durchschnittlichen Ankerdichte von rund $2,3 \text{ m}^2$ je Anker entspricht.

Stichtunnel

Zur größtmöglichen Schonung des äußerst schmalen Felspfeilers, welcher zusätzlich noch durch mehrere Nischen geschwächt war, wurde die Kalotte in zwei Abschnitten gesprengt, wobei der dem Pfeiler zugewandte Restzwickel sehr schonend herausgelöst werden konnte. Durch den guten Aufschluß aus dem vorher in der Gegenrichtung aufgefahrenen Haupttunnel konnten die wenigen vorhandenen bedeutenderen und ungünstig liegenden Trennflächen gezielt durch verstärkte Ankerung verdübelt werden.

Durch die Überlastung des schmalen Felspfeilers in der Nähe der Kaverne wurde die Spritzbetonschale des Haupttunnels, besonders während des Strossenvortriebes des Stichtunnels starken Zwängungen unterworfen und es kam über einen Bereich von etwa 15 m zu zahlreichen Abplatzungen und Überschiebungen, ohne daß ein Einfluß auf die Gesamtstabilität festzustellen war. Hier wäre sicherlich eine Ausführung mit Deformationsschlitz in der Spritzbetonschale zweckmäßiger gewesen.

Geotechnische Messungen

Wie am gesamten Projekt wurden auch im Abzweigungsbauwerk die Verformungen der Laibung geodätisch gemessen. Im größten Querschnitt wurden im Abstand von rund 15 Metern an je neun Punkten - 5 in der Kalotte und 4 in den Strossen - die Verformungsvektoren ermittelt.

Zusätzlich wurden in drei Querschnitten (einer im Bereich der Englage, je einer in den Abschnitten E und D) Extensometer mit einer Maximallänge von 15 m, Druckmeßdosen, sowie Dehnungsaufnehmer im Spritzbeton eingebaut.

Die maximale Firstsetzung im Abschnitt E betrug rund 20 cm, die maximale Horizontalverformung im selben Querschnitt rund 4 cm. Die Einflüsse der einzelnen Teilvortriebe überlagerten sich, was sich in einem relativ gleichförmigen Verlauf der Zeit-Verformungskurve widerspiegelte. Aus den Meßergebnissen der Extensometer ließen sich teilweise sehr gut Scherbewegungen an ausgeprägten Trennflächen erkennen.

Für die Gesamtstabilität der Kaverne spielte der Spritzbeton in der hier vorgesehenen Stärke eine eher untergeordnete Rolle, weshalb die teilweise dubiosen Werte der Messungen der Radial- und Tangentialdrücke nicht weiter zur Beunruhigung Anlaß gaben.

Die durch die vielen Teilausbrüche lange Dauer der Verformungen führte stellenweise zu Zwängungen im "alten" Spritzbeton und damit in manchen Bereichen zu Rissen und Überschiebungen, ohne daß ein Einfluß auf die Gesamtstabilität erkennbar gewesen wäre. Da sich diese lokalen Zerstörungen manchmal negativ durch Herabfallen kleinerer und größerer Platten bemerkbar machten, wäre eine Auskleidung mit höherem Arbeitsvermögen, auch im erhärteten Zustand, für solche in mehreren Abschnitten ausgeführten und zeitlich gestaffelten Vortriebe empfehlenswert gewesen.

Zusammenfassung

Das im Zuge des Vortriebes des Inntaltunnels errichtete Abzweigungsbauwerk zur späteren Anbindung an den Brennerbasistunnel - mit Ausbruchquerschnitten bis 310 m^2 - stellte erhöhte Anforderungen sowohl in gebirgsmechanischer, als auch besonders in baubetrieblicher Hinsicht. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Unternehmung, Bauherrnvertretung, Geologen und Meßteam ermöglichte eine wirtschaftliche und ablauftechnisch günstige, und auch mit Hinblick auf unvorhergesehene geologische Verhältnisse relativ robuste Lösung unter Berücksichtigung der

komplexen Randbedingungen. Die Ausführung nach dem gewählten Stützmittelkonzept stellte hohe Anforderungen an die geotechnische Betreuung und an die Flexibilität der Ausführenden.

Summary

The future connection to the planned Brenner Basistunnel required the construction of a mined junction with excavation areas up to 310 m². As well rock mechanical as organizational considerations required a close cooperation between contractor, site supervision, geologist, and the measuring group. A flexible approach was used for the support concept. The multiple division of the heading allowed good utilization of equipment and staff, and adaptability to changing geological conditions. The jointed and faulted rock required utmost attention of the geotechnical staff and a certain degree of flexibility of the contractor.