Bauausführung des Milchbucktunnels

Autor(en): **Schmid, Leonhard R. / Ruppanner, Hansjörg / Tobler, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **103 (1985)**

Heft 23

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75808

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

Bauausführung des Milchbucktunnels

Von Leonhard R. Schmid, Hansjörg Ruppanner und Peter Tobler, Zürich

Im südlichen Moränenabschnitt kam als sicherste Bauweise das Gefrierverfahren im Vollausbruch zur Anwendung. Für die Molassestrecke wählte die Arbeitsgemeinschaft aufgrund der Gegebenheiten die Belgische Bauweise mit mechanischem Felsabbau.

Problemstellung

Der bergmännisch zu erstellende Teil des Milchbucktunnels mit einer Gesamtlänge von 1310 m durchfährt im südlichen Abschnitt auf einer Länge von rund 350 m eine glazial vorbelastete Moräne. Der Nordabschnitt liegt zur Gänze in der oberen Süsswassermolasse. Für die Wahl der Bauweise war insbesondere die geringe Überdeckung von nur 6 bis 20 m in der Moränenstrekke und das in verschiedenen Stockwerken in sandig-kiesigen Einlagerungen in der Moräne artesisch gespannte Grundwasser bedeutungsvoll. Vor der Durchörterung wurden diese Grundwassertaschen mit Kleinfilterbrunnen, deren Ergiebigkeit bei 5 bis 100 l/min lag, systematisch entwässert. Die Reichweite der Kleinfilterbrunnen war zwar bescheiden, die notwendige Entwässerung gelang aber mit der entsprechenden Brunnenzahl gut.

Ein weiteres Hauptproblem stellte die projektbedingte Hauptangriffsstelle im südlichen Voreinschnitt dar. Für den Ablauf der Bauarbeiten stand ein Schichtbetrieb ausser Zweifel. In diesem stark überbauten, gemischten Wohn- und Geschäftsviertel mussten Lösungen gefunden werden, die ein beidseitiges erträgliches Mass an Einschränkungen nicht übertraf. Mit dem Vorschlag, einen Teil des Voreinschnittes mit einer Lärmschutzhülle (Bild 1) zu umgeben, gelang die Problemlösung für alle Teile optimal.

Die sowohl geologisch, geotechnisch als auch hydrologisch äusserst unterschiedlichen Tunnelabschnitte führten zwangsläufig zu verschiedenen Tunnelbauweisen.

Im südlichen Moränenabschnitt wurde aus einer Vielfalt von Lösungsmöglichkeiten, die für alle Beteiligten – Bauherr, Bauleitung, Anwohner und Unternehmer – sicherste Bauweise, das Gefrierverfahren im Vollausbruch, gewählt, während für die Molassestrecke die Belgische Bauweise schon früh feststand.

Lockergesteinsstrecke

Aufbau und Technologie des Gefrierkörpers

Die Lockergesteinsstrecke wurde in elf Gefrierabschnitte, Länge von 30 bis 36 m, unterteilt (Bild 2). Diese Abschnittlänge ergab sich einerseits aus den Forderungen nach einem möglichst dünnen Frostkörpergewölbe und der Bohrgenauigkeit bzw. von der Abweichung der Bohrungen von der Sollage im Bohrlochtiefsten anderseits. Wie sich im Laufe der Arbeiten zeigen sollte, war die Wahl der Abschnittlänge auch im zeitlichen Ablauf optimal, so dass die Gefrierzeit und die unter anderem davon abhängigen Hebungen in vernünftigen Grenzen gehalten werden konnten.

Der Tunnel wurde am Ende jedes Abschnittes über eine Strecke von 8 m Länge vom Regelquerschnitt von 145 m² auf etwa 195 m² Ausbruchquerschnitt erweitert. Von diesen Bohrni-

Bild 1. Lärmschutzdach im Voreinschnitt Süd mit schalldichtem Tor, das nachts geschlossen blieb

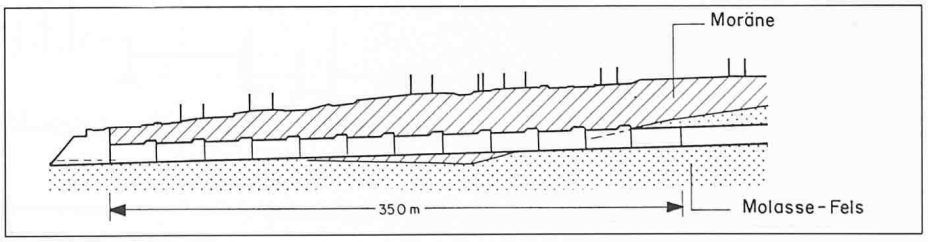
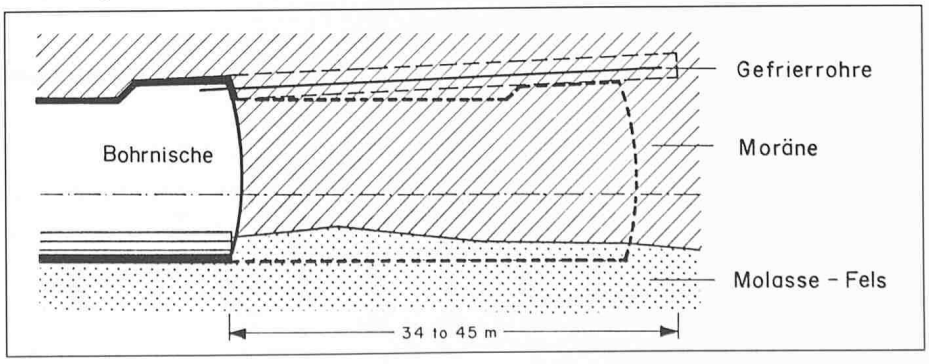


Bild 2. Längsschnitt durch die Möränenzone mit den Gefriersabschnitten

Bild 3. Gefrierabschnitt, Schema



schen aus wurden die Gefrierrohre den Folgeabschnitt um etwa 4–6 m überragend gebohrt (Bild 3). Die gewünschte Form und Temperatur des Frostkörpers können nur durch eine entsprechend genaue Lage der Gefrierrohre erreicht werden. Die zulässige Abweichung von der Sollage war mit ±1% der Bohrlochlänge sehr eng begrenzt. Beim horizontalen Bohren auf 34 bis 45 m Länge in der kompakten, mit Steinen und Blökken durchsetzten Moräne stellte dieses Toleranzmass hohe Anforderungen an das Bohrverfahren. Die Gefrierrohre mit einem Durchmesser von 140 mm und einem Abstand von 1,00 bis 1,25 m wurden von einem Bohrgerüst aus mit Hilfe einer Bohrschablone gebohrt, welche die Lage des Bohrlochmundes und die Bohrrichtung jedes Loches bestimmte (Bild 4). Das Bohrrohr diente gleichzeitig als Gefrierrohr. Die Lage der Bohrrohre wurde mit entsprechenden Geräten vermessen. Obwohl vereinzelt Bohrungen neu angesetzt werden mussten, hat sich das zur Anwendung gebrachte Verfahren bewährt.

Nach Anschluss aller Gefrierleitungen an das Kälteaggregat konnte der Aufbau des Frostkörpers einsetzen. Die installierte Kälteanlage war für eine Leistung von rund 500 000 kcal/h bei −20 °C Soletemperatur ausgelegt. Der gesamte elektrische Anschlusswert betrug etwa 600 kW. Mit der gewählten Kälteanlage war es möglich, den Frostkörper von 1,50 m Dicke und einer Mitteltemperatur von −10 °C innert 10 Tagen zu erzeugen. Die beim Abschnittanfang näher beieinander liegenden Rohre bewirkten einen beschleunigten Frostkörperaufbau; dadurch war es möglich, mit dem Ausbruch im Schutze des Frostkörpers schon nach 5–7 Tagen zu beginnen. Der Temperaturverlauf im und am Rande des Frostkörpers wurde mittels Temperatursonden laufend überwacht.

Ist die Aufgefrierphase des Frostkörpers beendigt, gilt es, ihn in seiner Form und Temperatur über die gewünschte Zeit zu erhalten. Eine weitere Ausdehnung der Frostgrenze würde die Hebungen und die dem Auftauen folgenden Setzungen ungünstig beeinflussen. In der Aufbauphase des Frostkörpers betrug die im geschlossenen Kreislauf umgewälzte Temperatur der Calziumchlorid-Sole stets etwa −40 °C. Für den Unterhalt des Frostkörpers wurde anfänglich die Soletemperatur im stetigen Kreislauf auf −20 °C angehoben. Dieser kontinuierliche Abkühlungsprozess im Frostkörper brachte ein ständiges Ausdehnen der Nullgradgrenze mit sich. Der Frostkörper wuchs damit laufend an. Als Ergebnis verschiedener Versuche in situ wurde das «Frostprogramm» nach dem zweiten Gefrierabschnitt umgestellt. Nachdem der Frostkörper gebildet war, blieb für die Unterhaltsphase – Phase des Tunnelausbruches – die Anlage während 24 Stunden ausser Betrieb. In den folgenden 24 Stunden führte man unter voller Auslastung der Anlage bei einer Vorlauftemperatur von −35 °C dem Boden soviel Wärme ab, dass der Frostkörper seine Tragfähigkeit behielt. Durch dieses stossweise Einbringen der Kälte gelang es in der Folge, die mittlere Frostkörpertemperatur tiefzuhalten, ohne den Frostkörper weiter wachsen zu lassen. Dies führte zusammen mit den wesentlich gesteigerten Ausbruchleistungen zu relativ geringen Hebungen von nur etwa 5 mm und anschliessenden Setzungen.

Hebungen und Setzungen

Die Hebungen und Setzungen an der Oberfläche wurden verursacht durch:

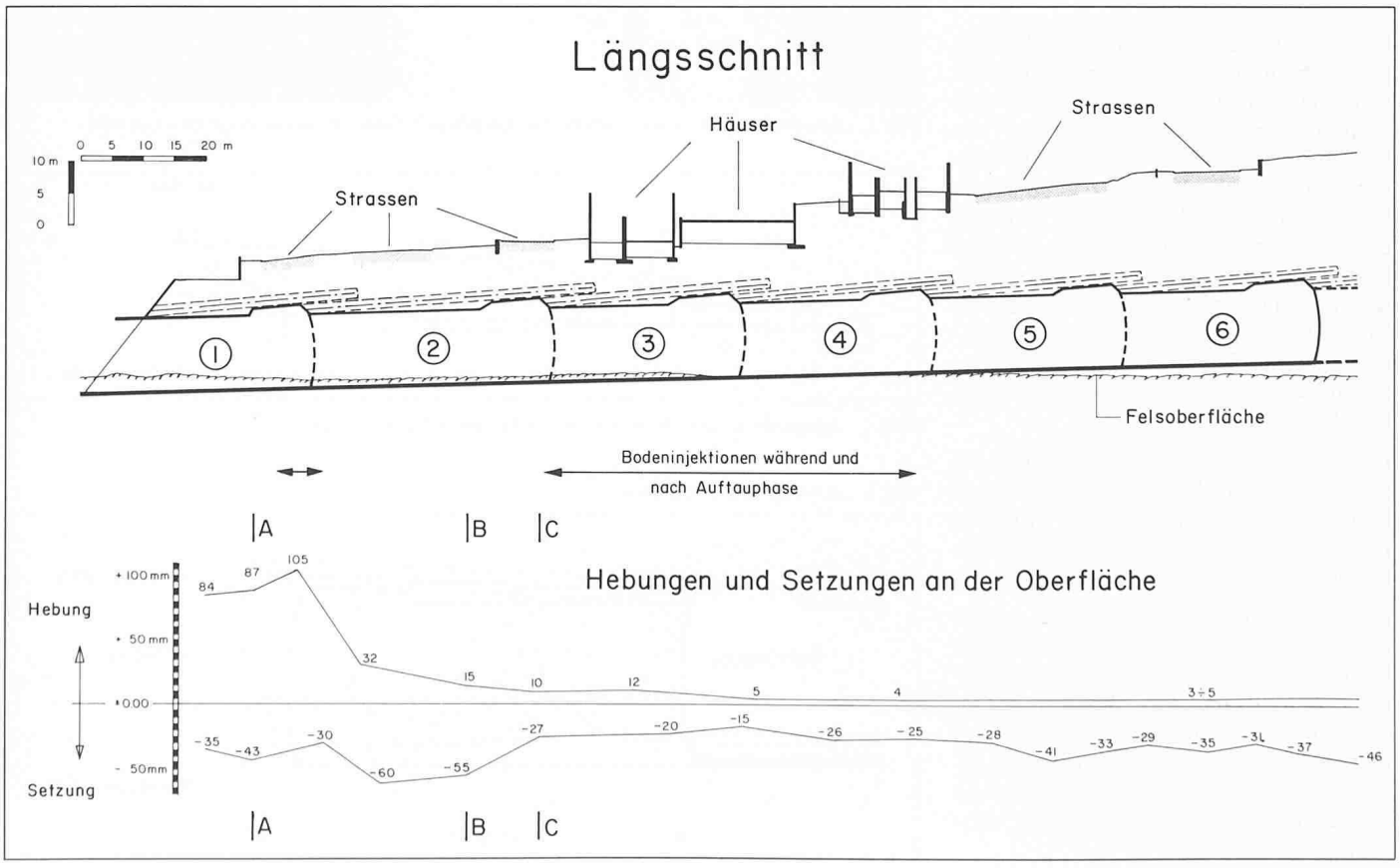
Bewegung	*Ursache*
Hebung	Aufgefrieren des Bodens
Setzungen	Grundwasserabsenkung
Entspannung beim Ausbruch	
Auftauen des Frostkörpers und Wiederkonsolidierung des Bodens	

Die maximalen Hebungen und die totalen Setzungen (ohne Grundwassereinflüsse) sind in den Bildern 4 und 5 dargestellt.

Hebungen

Im ersten Gefrierabschnitt ergaben sich maximale Hebungen von 105 mm. In den folgenden Abschnitten gelang es, sie auf wenige Millimeter zu reduzieren durch

Bild 4. Hebungen und Setzungen in der Tunnelachse (Querschnitt siehe Bild 5)



- modifiziertes Gefrierprogramm: Intermittierender Betrieb der Kälteanlage anstelle des Durchlaufbetriebes;
- grössere Vortriebsleistung und damit kleinerer Vereisungsdauer:

  Abschnitt 1 101 Tage
  Abschnitt 6 33 Tage

Setzungen

Die Setzungen waren vor allem auf die drei nachstehenden Verursacher zurückzuführen:

Grundwasserabsenkung

Im Bereich der Moränenstrecke musste der gespannte Grundwasserspiegel mit 30 Kleinfilterbrunnen um bis zu 25 m abgesenkt werden. Daraus resultierten grossflächige Setzungen bis zu 25 mm.

Ausbruch

Diese Setzungen entstanden kurzfristig nach dem Ausbruch und betrugen 5–10 mm.

Auftauen des Frostkörpers

Diese Setzungen beginnen etwa 5 Tage nach erfolgtem Abschalten der Gefrieranlage und dauern sehr lange an (bis zu 100 Tage). Das Kerngerüst des Bodens wird durch den Frostkörperaufbau leicht verändert, so dass infolge der Wiederkonsolidierung des aufgetauten Materials Setzungen entstehen. Um diese Setzungen zu verhindern, wurde während und unmittelbar nach dem Auftauen in den Abschnitten 3 bis 5 die unmittelbare Umgebung des Tunnels injiziert. Die Breite der Setzungsmulde beträgt rund 30 m.

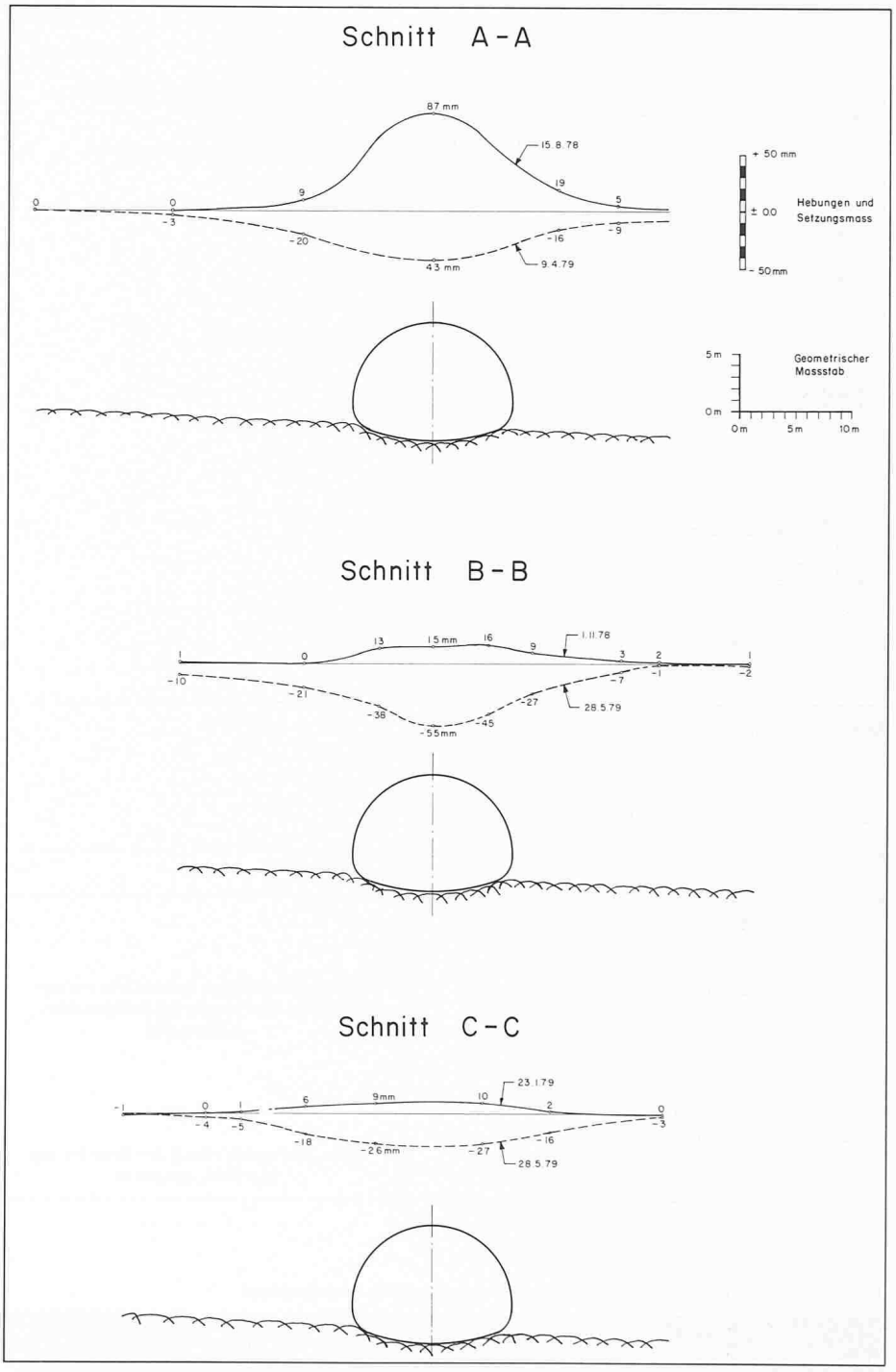


Bild 5. Hebungen und Setzungen im Querschnitt

Ausbruch und Sicherung im Schutze des Frostkörpers

Ausbruch

Mit Ausnahme der Portalstrecke von 10 m Länge wurde die gesamte Moränenstrecke im vollen Profil ausgebrochen. Diese kurze Strecke – im Teilausbruch ausgeführt – war bedingt durch den abgeböschten Voreinschnitt und das fehlende Längslauflager für den Gefrierkörper.

Für die Wahl der Ausbruchinstallationen waren hauptsächlich folgende Gegebenheiten und Bedingungen massgebend und zu berücksichtigen:

- Dem Gefrierverfahren konformer Vollausbruch
- Sektorweiser Ausbruch und Aufbringen der ersten Spritzbetonlage
- Aus Stabilitätsgründen abgeböschte Ortsbrust und Sohlschluss des Aussengewölbes innerhalb 8 m,
- Gefrorene Zone am Gewölberand und teilweise anstehende Molasse in der Sohle.

Insbesondere das grosse Profil von 12,20 m Höhe und 14,50 m Breite, aber auch verschiedene andere Gegebenheiten bedingten die Schaffung einer zweiten Arbeitsebene. Diese wurde mit einer vor- und rückziehbaren Schleppbühne mit seitlich angeordneter Rampe geschaffen (Bilder 6 und 7).

Der Ausbruch des Kalottenschlitzes und des gefrorenen Materials längs den Ulmen erfolgte mit einer Demag-Teilschnittfräse, die auf einem Liebherr-Hydraulikbagger Typ R 961 B montiert war. Für den sektorweisen Abbau des Kerns war ursprünglich der Einsatz eines Hydraulik-Hochlöffelbaggers vorgesehen. Aber auch mit Baggern der 40-t-Klasse war der hartgelagerten Moräne nicht beizukommen. Recht gute Abbauleistungen wurden mit einem seit dem 3. Abschnitt eingesetzten Teleskopbagger Gradall G 1000 erreicht, der mit einem Reisszahn ausgerüstet war. Mit diesem Gerät konnte der Kern bis rund 4 m über die Tunnelsohle gerippert werden. Die Strosse und Sohle mit anstehender Molasse wurde mit zwei auf Baggern montierten Hydraulikhämmern abgebaut. Alle Abbaugeräte konnten von der Schleppbühne aus arbeiten.

Unter der Schleppbühne stand wahlweise ein elektrisch betriebener Teleskopbagger EWK oder ein Radlader Cat 966 C für das Aufladen des gelösten Tunnelausbruches im Einsatz. Der Abtransport des Ausbruchmaterials erfolgte mit Rückwärtskippern Cat 613.

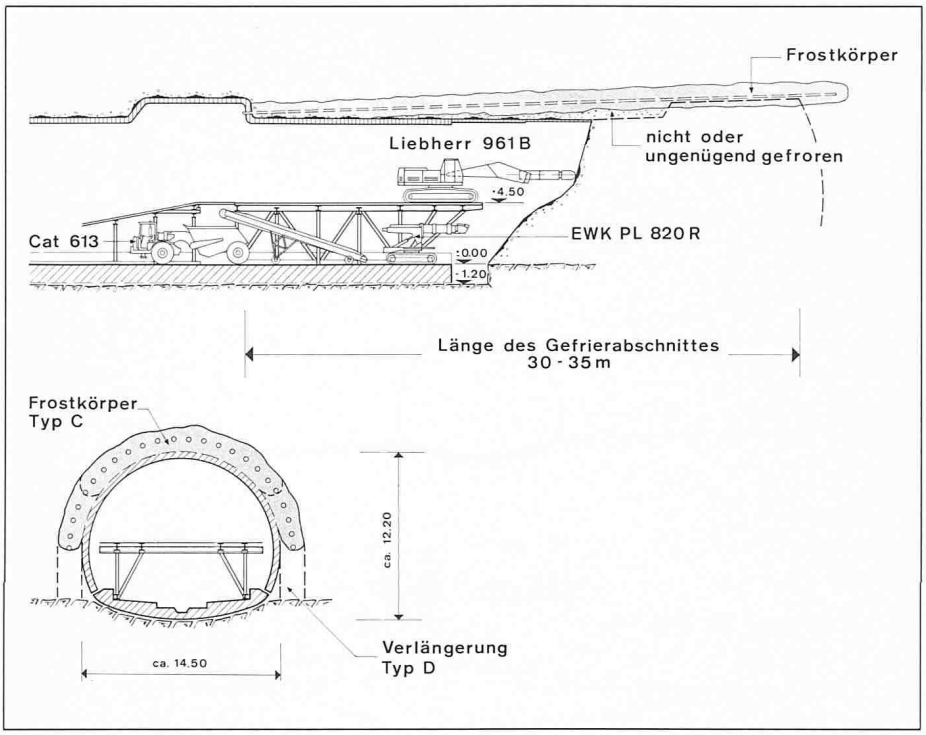
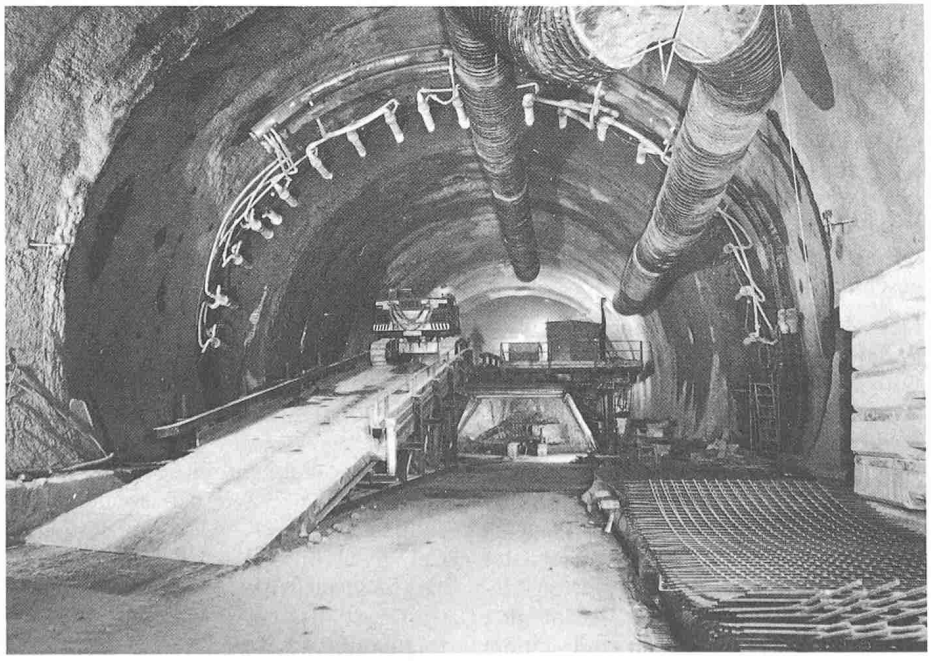


Bild 6. Ausbruchschema

Tabelle 1. Phasen der Erstellung des äusseren Gewölbes

Nr.	*Phase*	
1	erste Spritzbetonlage ca. 5 cm stark	
2	erstes Armierungsnetz	
3	zweite Spritzbetonlage ca. 5 cm stark	Diese Sicherungen werden sektorweise vor dem Einbringen des Sohlgewölbes aufgebracht
4	Glockenprofil und dritte Spritzbetonlage ca. 20 cm stark	
5	zweites Armierungsnetz	
6	vierte Spritzbetonlage ca. 10 cm stark	4, 5 und 6 werden nach der Betonierung der Sohle eingebaut

Bild 7. Schleppbühne mit seitlicher Rampe, der Lösebagger in Abstellposition



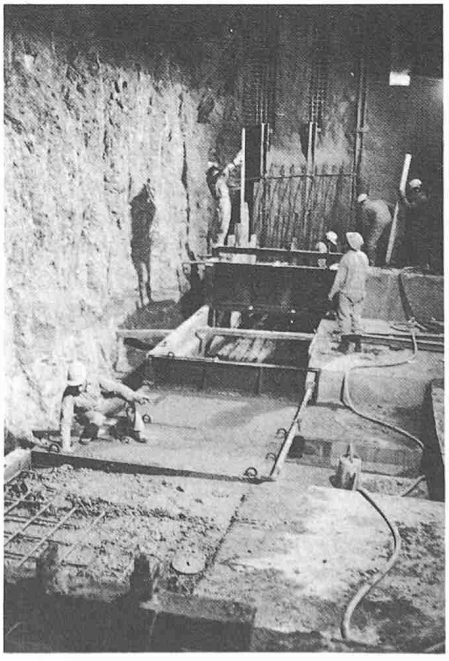
Gebirgsstützung durch den Aussenring

Das Aussengewölbe mit einer Gesamtstärke von 40 bzw. 45 cm bildet zusammen mit dem in 2 bzw. 4 m langen Etappen in Ortbeton hergestellten Sohlgewölbe den äusseren tragenden Ring. Dieser Ring wurde innerhalb von 8 m, ab Kalottenschlitz gemessen, geschlossen. Das äussere Gewölbe besteht aus mehreren Lagen Spritzbeton mit zwei tragenden Armierungsnetzen und dazwischenliegenden, aus Glockenprofilen hergestellten Stahleinbaubogen. Die Tabelle zeigt die Gliederung des Arbeitsablaufs. Die Armierungsnetze und die Stahleinbaubogen wurden mit eigens dafür gebauten, auf Hydraulikbaggern montierten Hebebühnen an die Tunnelleibung angebracht bzw. versetzt (Bild 8).

Der Spritzbeton der ersten Lage musste beim Gefrierverfahren auf dem vereisten Untergrund haften und ausreichend erhärten, bevor der Abbindeprozess durch den eindringenden Frost unterbrochen wurde. Die Abbindewärme darf aber anderseits nicht so gross sein, dass sich ein Auftauen der Randpartie des Frostkörpers ergeben würde.

Auf den Einbau eines anfänglich mit kurzen Dübeln am Frostkörper befestigten Hilfs-Armierungsnetzes konnte verzichtet werden, hingegen wurde das erste tragende Armierungsnetz mit Kurzankern durch die erste Spritzbetonlage hindurch im Frostkörper verankert. Der Spritzbeton wurde als Trokkengemisch mit Aliva-Spritzbetonmaschinen gefördert und von einem Arbeitskorb aus, mit dem grosse Gewölbeabschnitte von einem Standort des

Bild 9. Sohlegewölbeabschnitt. Im Hintergrund Aufbau der Gewölbesicherung aus Netzen, Bögen und Spritzbeton



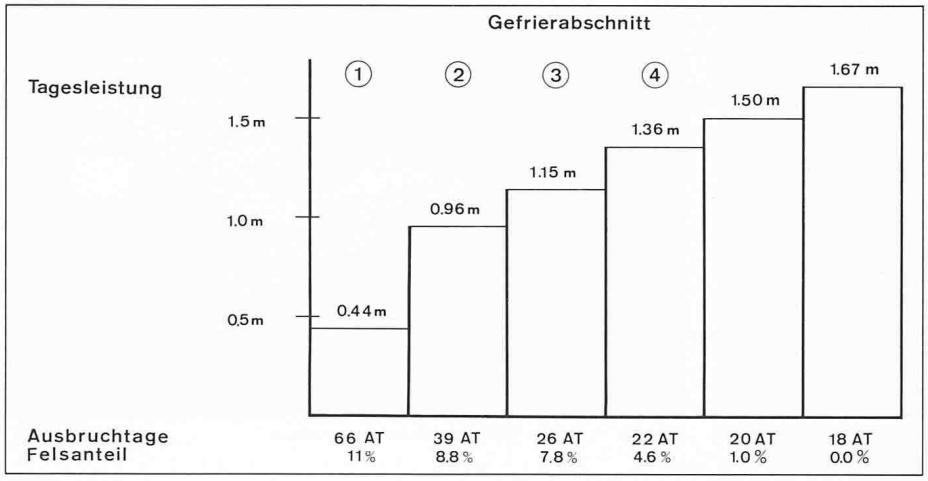


Bild 10. Vortriebsleistungen in der Möränenstrecke mit Nachtspitzverbot

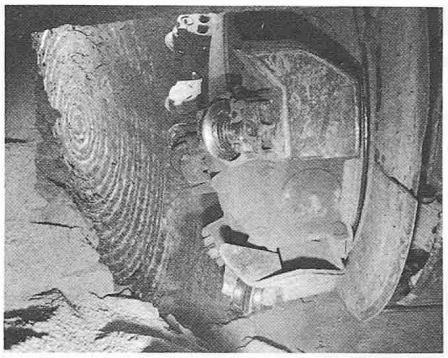
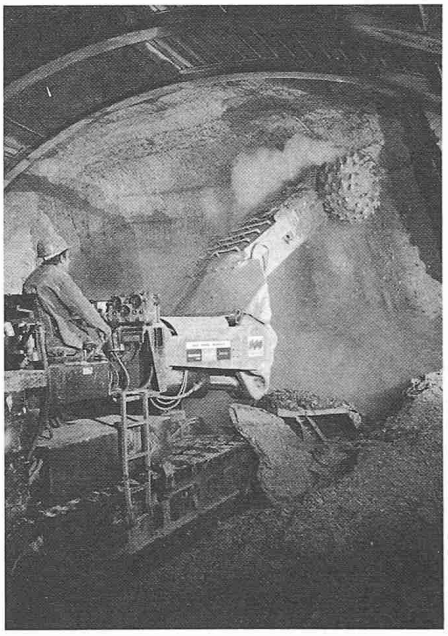


Bild 11. Bohrkopf der Robbings-Tunnelbohrmaschine mit 3,20 m Durchmesser

Bild 12. Schrämen der Kalotte mit dem Alpine Miner AM 100



Trägergerätes aus bestrichen werden konnten, aufgetragen (Bild 8).

Mit dem intermittierenden Gefrierprogramm gelang es, die Grösse des Frostkörpers auf einem Minimum zu halten. Der äussere Rand des Frostkörpers erreicht dadurch nicht in allen Teilen die Hohlraumleibung (siehe Bild 6). Örtliche mehr oder weniger grosse Niederbrüche von ungefrorenem Material, insbesondere aus der Kalotte, mussten in Kauf genommen werden.

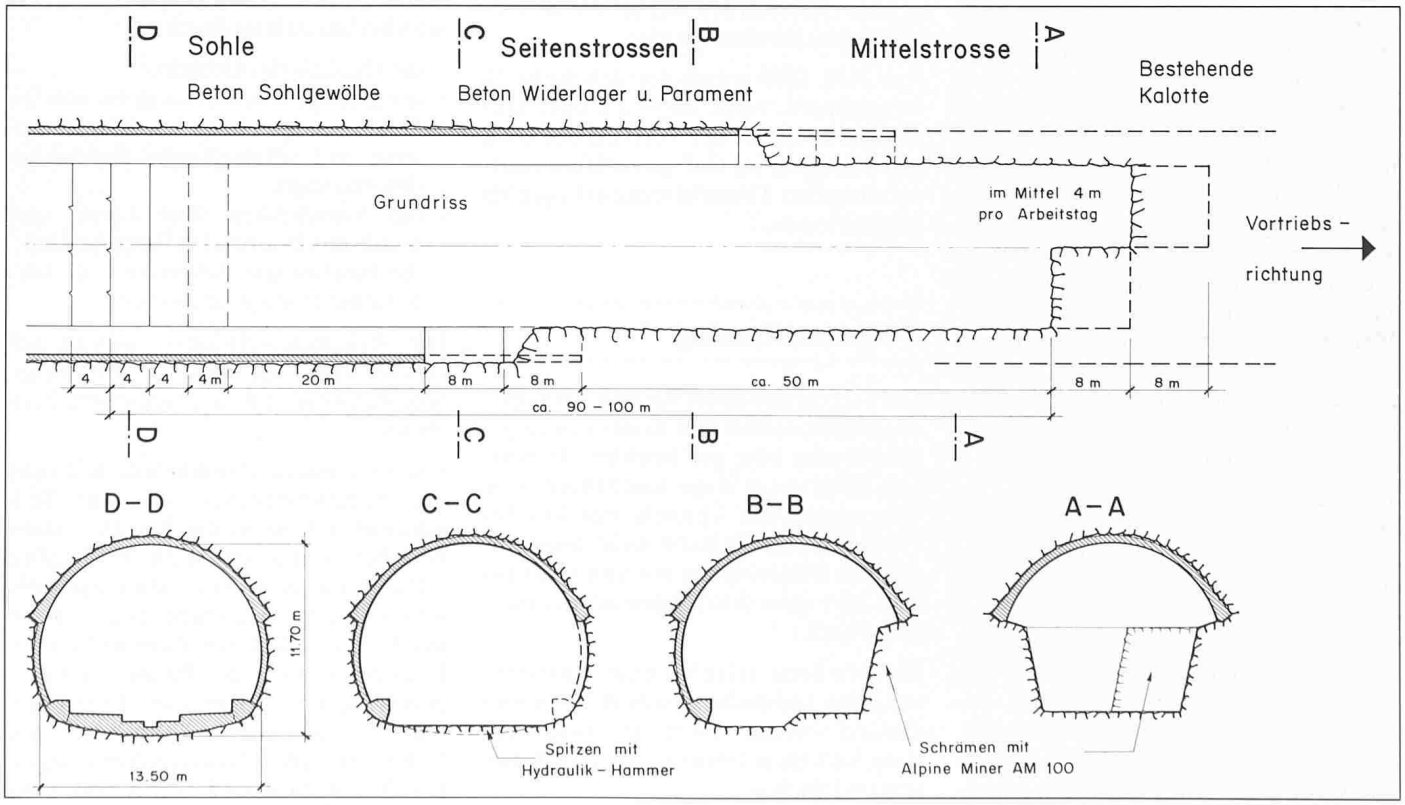
Das Sohlgewölbe ist in Ortbeton hergestellt (Bild 9). Die Armierungskörbe wurden in der Halle unter dem Lärmschutzdach geflochten und mit einem Autokran an Ort und Stelle versetzt (Bild 9).

Am Ende jedes Gefrierabschnittes wurde die Tunnelbrust als Kugelkalotte ausgebildet und mit einer mehrfach netzarmierten Spritzbetonschale gesichert (Bild 8).

Bauprogramm und Arbeitsablauf

Mit dem Ausbruch im Schutze des ersten Gefrierkörpers wurde im Mai 1978 begonnen. Bald zeigte sich, dass die beim Abbau der Moräne und Molasse eingesetzten Schräm- und Spitzwerkzeuge, ja sogar das Bohren der Gefrierlöcher einen Körperschall erzeugten, welcher den Anwohnern während den Nachtstunden nicht zugemutet werden konnte. Dies führte zur Einschränkung dieser Tätigkeiten auf die Zeit von 7 bis 20 Uhr. Der angestrebte Arbeitsablauf erfuhr dadurch erhebliche Störungen und hatte eine entsprechende Leistungseinbusse zur Folge. Es wurde in drei Schichten zu neun Stunden gearbeitet, wobei die dritte Schicht zwischen 22 und 7 Uhr nur aus einer

Bild 13. Schema Strossenabbau und Betonarbeiten Aussengewölbe



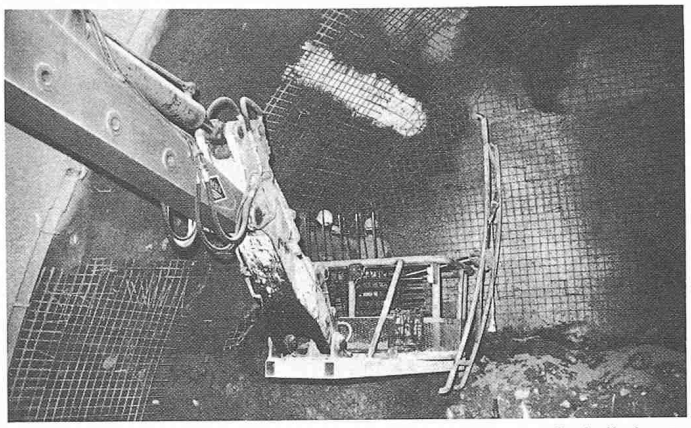


Bild 8. Befestigung der Bewehrungsmatten. Die weisse Zone oberhalb des Arbeitskorbes entstand wegen eines naheliegenden Gefrierrohrs

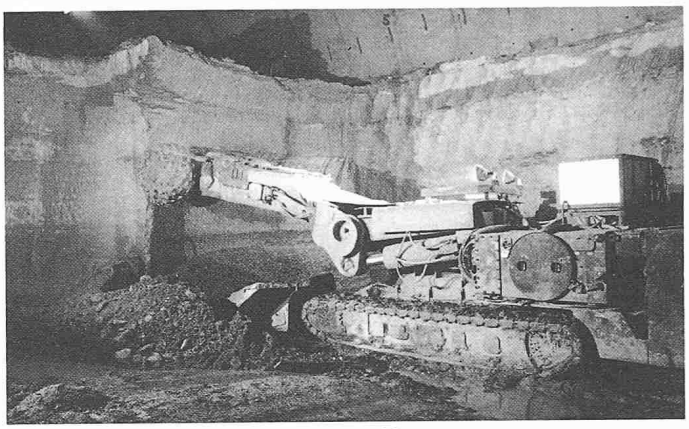


Bild 14. Der AM 100 beim Mittelstrossenabbau

Bild 15. Schrämen einer Seitenstrosse

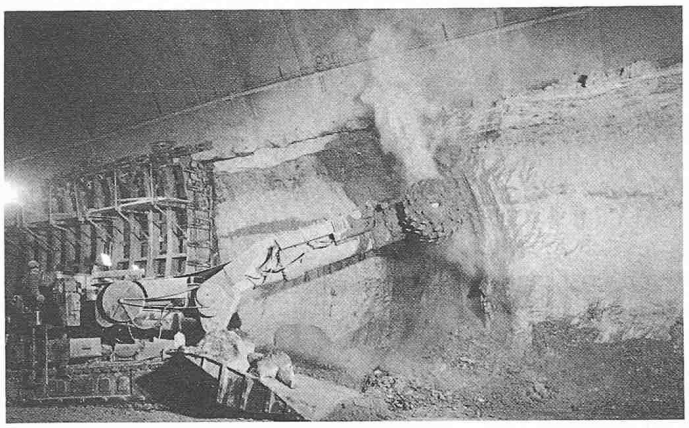
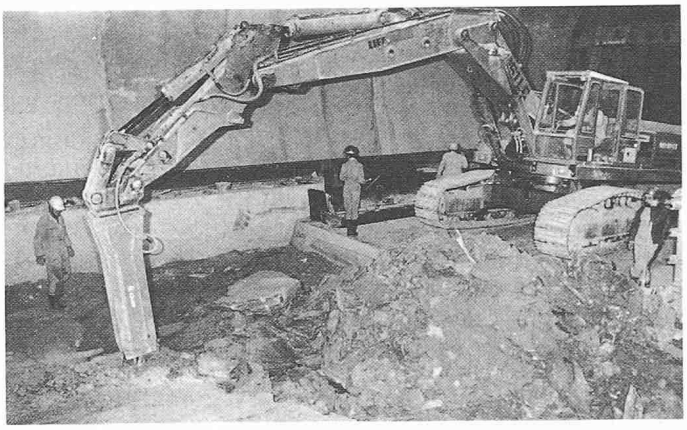


Bild 16. Ausbruch für das Sohlgewölbe mit hydraulischem Abbauhammer



Spritzbetonequipe bestand und die Spätschicht überlappte.

Die Vortriebsleistungen (Bild 10) wurden durch die Anpassung der Ausbruchwerkzeuge und -geräte trotz der stark reduzierten täglichen Einsatzzeit erheblich gesteigert. Diese Anpassung musste vorgenommen werden, weil die Löseleistung des Schrämbaggers und die Standzeit der Originalwerkzeuge weit unter den Erwartungen lagen. Die in der Moräne fest eingelagerten Steine und Blöcke mit Druckfestigkeiten bis zu 3000 kg/cm² führten zu grossen Schwierigkeiten mit den Abbauwerkzeugen, oft zu vorzeitigem Bruch. Da auf dem Weltmarkt keine geeigneten Meissel eingekauft werden konnten, wurden die Abbauwerkzeuge in den eigenen Werkstätten entwickelt und hergestellt. Diese Meissel haben sich in der ganzen Moränenstrecke bewährt.

Trotz des grossen Profils können auf der Arbeitsbühne gleichzeitig nur zwei Geräte eingesetzt werden. Das Umrüsten der Grundgeräte mit den verschiedenen Werkzeugen und Arbeitsbühnen, die Gleichzeitigkeit verschiedener Tätigkeiten in einem Abschnitt von 8 m Länge und die Minimierung der Arbeitsunterbrüche bei den sich rasch folgenden Wechseln zwischen Aushub und Gebirgssicherung erfordern zeitgerechte rückwärtige Vorbereitungen und eine starke Dotierung Führungspersonal. Im weiteren darf nicht übersehen werden, dass die Vortriebsarbeiten nach jedem Gefrierabschnitt für die Herstellung und den Aufbau des folgenden Abschnittes während 4–6 Wochen unterbrochen wurden.

Am 20. 6. 1980 wurde der Abschnitt 11 fertiggestellt. Nach mehr als zwei Jahren wurde damit der Vortrieb der etwa 350 m langen, im Gefrierverfahren aufzufahrenden Tunnelstrecke erfolgreich abgeschlossen.

Zusammenfassung

Das *Gefrierverfahren* hat sich beim Bau des Milchbucktunnels in der Lockergesteinstrecke sehr gut bewährt. Es wurden dabei neue Wege beschritten: Der Querschnitt des Tunnels mit 145 bis 195 m² Ausbruchfläche weist nicht alltägliche Dimensionen auf und führt zudem sehr nahe unter bestehenden Häusern durch.

Die Methode erlaubte eine Unterfahrung der Gebäude in einem Minimalabstand von nur 5,50 m ohne Unterfangung und ohne Gefährdung von Personen und Sachen.

Ausbruch und Sicherung im Molassefels

Die Planung der Ausbruchmethode im 960 m langen Felsabschnitt wurde wesentlich beeinflusst durch:

- die Qualität des Gesteins;
- die geringe Überdeckung bei starker Überbauung, was erschütterungsfreie und setzungsarme Baumethoden verlangte;
- die Vorschriften über Lärm- und Staubimmissionen im Portalbereich;
- die beschränkte Arbeitszeit für körperschallerzeugende Arbeiten.

Die Arbeitsgemeinschaft wählte auf Grund der Gegebenheiten die Belgische Bauweise mit mechanischem Felsabbau.

Um eine ideale Bewetterung während der Vortriebsarbeiten mit der Teilschnittmaschine in der Kalotte sicherzustellen, wurde zuerst ein Pilotstollen – Durchmesser 3,20 m – mit einer Robbins-Vollschnittmaschine von Norden her gebohrt (Bild 11). Zwei weitere Pilotstollen ordnete der Bauherr aus programmlichen Gründen an. Eine minimale Felssicherung, bestehend aus 1,50 m langen Glasharzankern, leichten Stahlmatten und Gunit von 3 bis

5 cm Stärke genügte, dass die Stollen bis zum zeitlichen Ende des Kalottenausbruches betriebssicher blieben. Das Auffahren dieser drei Stollen dauerte von Ende September 1978 bis Ende Oktober 1979. Die mittlere Leistung betrug rund 11 m pro Schicht.

Nach dem Ausbruch der drei Pilotstollen verblieben 35 m² Nettoquerschnitt für den Kalottenvortrieb. Zusätzliche behördliche Auflagen veranlassten

- den *Bauherrn,* um die Fertigstellung des Tunnels nicht zu verzögern, den Kalottenvortrieb vorerst von Norden her starten zu lassen und nach Ausbruch der Moränenstrecke von Süden her zu beenden;
- die *Unternehmung,* um die im Werkvertrag vorgesehenen Leistungen trotzdem einhalten zu können, die zu jener Zeit leistungsfähigste Teilschnittmaschine einzusetzen.

Diese Maschine war ein Alpine Miner AM 100 der Vöest-Alpine, Zeltweg, mit 80 t Einsatzgewicht und einer installierten elektrischen Leistung von 450 kW. In der Kalotte schrämte der Alpine Miner, je nach Fels, 1,00 bis 6,50 m lange «Abschläge» mit einer mittleren Schneidleistung von 40 m³ (fest) pro Stunde (Bild 12). In schlechteren Gebirgszonen, das waren 55% der Vortriebsstrecke, mussten Einbaubogen gestellt werden. Das Einspritzen der Stahlbogen beziehungsweise das Hinterfüllen von aufgelegten Verzugselementen mit Spritzbeton, folgte unmittelbar. Dieser ersten Felssicherung wurde in sehr kurzem Abstand das 35 bis 45 cm starke Aussengewölbe der Kalotte in Ortsbeton etappenweise nachgezogen. Die drei vorhandenen Pilotstollen hatten vor Vortrieb in der Kalotte günstig beeinflusst: Die erzielte Vorentfestigung und die grösseren Freiheitsgrade des Gebirges halfen dem AM 100 beim Erstellen des Einbruchs. Die Arbeitsbereiche konnten sehr gut entstaubt werden. Ein Ventilator mit 32 m³/s Leistung saugte die anfallende Staubluft vor Ort durch die Pilotstollen ab, um sie dann durch eine Nassentstaubungsanlage nach Übertrag abzugeben. Diese Bauphase dauerte von Ende November 1979 bis Ende März 1981 bei einer mittleren Vortriebsleistung von 63 m pro Monat.

Unter dem nun auf der ganzen Länge gesicherten Kalottengewölbe wurde der Strossenabbau in Angriff genommen. Der noch zu schrämende Querschnitt betrug 81 m². Neben den Ausbruch-, Schal- und Betonierleistungen waren noch die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen; Sohlschluss innerhalb von 100 m, Kalottenunterfangungen um drei Etappen versetzt, nächtliches Schräm- sowie Spitzverbot und Abtransport des Ausbruchmaterials ins Freie nur am Tage. Die Optimierung dieser Faktoren führte die Unternehmung zu einem Taktvortrieb mit einer täglichen Soll-Vortriebsleistung von 4 m im Mittel. Dabei wurde die mächtige Mittelstrosse je hälftig mit einer Leistung von 8 m pro Arbeitstag geschrämt (Bild 13, Schnitt A-A und Bild 14). Der AM 100 steigerte seine Löseleistung in diesem Teilausbruch mit geringerem Profilierungsanteil auf 53 m³ (fest) pro Stunde. Die saugenden Ventilations- und Entstaubungsanlagen wurden so erweitert, dass im vollen Ausbruchquerschnitt eine Luftgeschwindigkeit von rund 45 cm/s herrschte. Die Arbeitsorte waren wiederum optimal bewettert.

Die Seitenstrossen schrämte der AM 100 in Etappen von 8 m täglich eine, alternierend rechts und links (Bild 13, Schnitt B-B und Bild 15). Diesem Teilausbruch folgten unmittelbar das technisch anspruchsvolle Schalen sowie das Armieren und Betonieren des Widerlagers und des Paramentes. Die Schalungen und die Verankerungen dieses Widerlagers waren so bemessen, dass die Paramentschalung nach drei Stunden gesetzt und anschliessend der armierte Unterfangungsbeton eingebracht werden konnte.

Schliesslich spitzte ein Hydraulikbagger, Liebherr R 961 C, bestückt mit einem schweren hydraulischen Abbauhammer, Krupp HM 1000, die Restkubatur für das Sohlgewölbe. Die täglichen 4-m-Betonieretappen schlossen hier den vollständig in Ortsbeton hergestellten Aussengewölbe-Ring (Bild 13, Schnitt C-C/D-D und Bild 16). Eine Brückenkonstruktion über dem frischen Sohlgewölbebeton ermöglichte die Abförderung des Haufwerkes und schützte den jungen Beton vor zu frühem Befahren. Die geplante Leistung von 4 m pro Arbeitstag konnte in dieser Bauphase eingehalten und die Arbeiten innerhalb der vertraglichen Frist von April 1981 bis Juni 1982 ausgeführt werden.

Adressen der Verfasser: *L.R. Schmid,* dipl. Ing. ETH/SIA, Locher & Cie AG, Zürich; *H. Ruppanner,* dipl. Ing. ETH/SIA, Prader AG, Zürich; *P. Tobler,* Ing. HTL, Prader AG, Zürich.

Die Lüftung des Milchbucktunnels

Von Marco Berner, Zürich

An die Lüftung des Milchbucktunnels sind wegen der städtischen Lage besonders strenge umwelttechnische Anforderungen gestellt. Um das Ausströmen von Tunnelabluft aus den Portalen zu vermeiden, ist das Abluftsystem mit grossen Bypassklappen versehen. So kann die Abluft je nach Bedarf entweder mit konventioneller Querlüftung oder mit punktförmiger Absaugung aus dem Fahrraum betrieben werden.

Anforderungen an die Tunnellüftung

Die Lüftung ist das wichtigste Sicherheitssystem jedes Strassentunnels. Auf sie kann nur in kurzen Tunneln (bis 300 m) oder bei nur schwachem Verkehrsaufkommen verzichtet werden. Obwohl seit der Realisierung der ersten grossen Alpendurchstiche (z.B. San Bernardino 1967) schon viele Tunnels gebaut worden sind und ein reicher Erfahrungsschatz vorliegt, stellt jeder Tunnel wieder neue Probleme an die Projektierung.

Für den Bau und die Lüftung des Milchbucktunnels waren neue Wege zu beschreiten. Die Lüftung hat nicht nur die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, sie muss auch strengen Forderungen der Umweltverträglichkeit genügen. Wegen der städtischen Lage ergab sich ein besonders umfangreicher *Anforderungskatalog* an Aufbau und Betrieb der Lüftung:

- Die vom Verkehr emittierten Schadstoffe sind durch Luftzufuhr soweit zu verdünnen, dass ihre Konzentrationen die zulässigen Grenzwerte erreichen.
- Die Abluft darf nicht durch die Portale aus dem Tunnel strömen, sondern ist – innerhalb eines gegebenen Geschwindigkeitsbereiches – durch die Kamine auszustossen.