

Der Bau des Katschbergtunnels im Rahmen der Tauernautobahn

VON FRITZ FEHLEISEN *)

Mit 3 Tabellen, 7 Abbildungen und 1 Tafel (= Beilage 3)

Schlüsselwörter

Ostalpen
Zentralgneis
Schieferhülle
Tunnelbau
Katschberg
Technische Gesteinsfazies
Temperaturmessungen

Österreichische Karte
1 : 50.000
Blatt 157

Inhalt

Einleitung
Aufgabenstellung
Gesteinsserien
 Gneis
 Phyllite der Oberen Schieferhülle
Technische Merkmale
Gesteine und deren Gefüge in Beziehung zur Klassifizierung
Bauweise
Temperaturverhältnisse im Katschbergtunnel

Zusammenfassung

Die Weströhre des Katschbergtunnels wurde als Teilstück der Autobahnverbindung Salzburg—Villach 1971 bis 1973 ausgebrochen. In diesem Bericht sollen die beim Vortrieb angefahrenen Gesteinsserien beschrieben werden, sowie deren gebirgsmechanisches Verhalten und damit verbundene Probleme. Anschließend wird über Temperaturmessungen im Katschberg berichtet und zwar sowohl über die ungestörten Temperaturverhältnisse entlang der Tunneltrasse als über Meßreihen zur Erfassung des Temperaturverlaufes in der Tunnelwandung unter bestimmten Bedingungen.

Summary

The Katschbergtunnel as part of the autobahn Salzburg—Villach was constructed during the years 1971—1973. This report is giving a crosssection through the rockseries found during penetration and discribes the rock — mechanical behavior and some connected problems during penetration.

In addition results of temperaturmessungen are given, both original temperatures along the axis as temperaturcurves in the tunnelwall under given conditions.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. FRITZ FEHLEISEN, Hackengasse 5, 8740 Zeltweg.

Einleitung

Im Zuge des Baues der Tauernautobahn zwischen Salzburg und Villach ist die sogenannte „Scheitelstrecke“ zwischen Eben und Rennweg in vieler Hinsicht besonders hervorzuheben. Kernstück dieser Strecke sind zwei große Straßentunnel, die das Massiv der Radstädter Tauern und des Katschberges durchhörtern.

Im folgenden soll hier auf den Katschbergtunnel eingegangen werden. Von geologischer Seite galt es besonders, den gebotenen Aufschluß zu nützen. Daß dies aber nicht reiner Selbstzweck ist, sondern daß hier eine Zusammenarbeit zwischen Technik und Geologie zu beiderseitigem Nutzen im Baustellenbereich angestrebt wurde, war mein besonderes Anliegen.

Wenn dies — wie ich glaube — einigermaßen gelungen ist, so gebührt mein Dank allen Beteiligten, dem Vorstand der Tauernautobahn AG, daß es zu dieser Zusammenarbeit kam, der Abschnittsleitung für den Tunnel, den Bauleitern und den Konsulenten für viele Anregungen und jederzeitige Hilfsbereitschaft, und besonders der Mannschaft, die alle durchgeführten Arbeiten und Sonderwünsche durch ihre Mitarbeit unterstützt hat.

Besonders danken möchte ich aber vor allem auch Herrn Dir. Dr. A. RUTTNER, der durch eine für die Baudauer befristete Beurlaubung von der Geologischen Bundesanstalt meinen Einsatz erst ermöglichte und Herrn Dr. T. GATTINGER für seine jederzeitige Bereitschaft, mir seine reiche Erfahrung zugänglich zu machen und Probleme zu lösen, ebenso wie Herrn Prof. Dr. E. H. WEISS, der als Konsulent meine Arbeit ergänzte und überwachte, ohne dabei die Freiheit des Arbeitens einzuschränken.

Aufgabenstellung

Aufbauend auf das ausgezeichnete Vorgutachten von E. H. WEISS, und zahlreiche Publikationen von CH. EXNER, bestand die Hauptaufgabe darin, bis zum Ende der Bauzeit eine lückenlose geologische Dokumentation vorzulegen, die alle sowohl für den Bau des Tunnels als auch für die geologische Erkenntnis im Zuge eines Neuaufschlusses wichtigen Beobachtungen enthalten sollte. Dies ist auch geschehen, und die Unterlagen wurden der Tauernautobahn AG übergeben. Die über die Interessen des Baues hinausgehenden mineralogischen Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Dennoch scheint es angebracht, in gedrängter Form einen ersten Bericht über die geologischen Verhältnisse im Katschbergtunnel zu geben, der in einigen Punkten noch ergänzt werden soll. In einem eigenen Kapitel werden im Anschluß durchgeführte Temperaturmessungen besprochen.

Die Gesteinsserien

Der Katschberg besteht entlang der Tunneltrasse aus zwei Einheiten; einer tieferen und älteren Einheit als Gneisserie beschrieben, die im Tunnel etwa zweidrittel der Gesamtlänge einnimmt, und einer darüberliegenden jüngeren Einheit von Phylliten der Oberen Schieferhülle, im Tunnel etwa das südliche Drittel bildend.

Auf den Vortrieb bezogen, führte dieser Umstand zu einer Aufteilung in zwei Baulose, in ein Nordbaulos, das die Gneisstrecke auffahren sollte, und ein kürzeres Südbaulos, speziell adaptiert auf die viel wechselvolleren und nur langsamer aufzufahrenden Phyllite, verbunden mit einem risikoreicheren, fallenden Vortrieb.

G n e i s e

Die tiefste Einheit entlang der Tunnelstraße bilden Feinkorngneise, die hier vorläufig am besten als Bändergneise beschrieben werden. Sie sind charakterisiert durch eine Wechsellagerung von hellen (leukokraten) mit dunklen (melanokraten) Lagen. Hauptmineralkomponenten der hellen Lagen sind Quarz, Feldspat und vereinzelt Glimmerschuppen, die dunklen Lagen bestehen hauptsächlich aus Chlorit, Biotit, Muskovit, Epidot mit untergeordnet Quarz-Feldspat und Accessorien. Diffus verteilt kommt auch Karbonat in wechselnder Menge vor.

Die Wechsellagerung erfolgt meist im Zentimeter- bis Dezimeterbereich, seltener auch im Millimeter- oder Meterbereich in \pm paralleler Abfolge. Vereinzelt verschiebt sich das Mischungsverhältnis zugunsten eher quarzitischer Gneistypen oder zu besonders glimmerreichen Typen, im einzelnen als Quarzite oder Chlorit-schiefer oder Glimmerschiefer anzusprechen, vereinzelt können sogar Amphibolite in Form von gering mächtigen Zwischenlagen oder Linsen gefunden werden, doch fehlen erstens schärfere Abgrenzungen und zweitens sind diese Zwischenschaltungen nie eigenständig genug, um als selbständige Einheiten ausgeschieden zu werden. Da es sich bei der Gneiserie um Paragneise handelt, ist natürlich eine gewisse Variationsbreite innerhalb dieser Gneise zu erwarten.

Im großen gesehen, formen die Bändergneise aber eine ziemlich eintönige Einheit. Dazu kommt noch der Umstand, daß die Tunnelachse annähernd parallel zum Streichen der Gesteine verläuft, d. h. daß nur ein bescheidener Teil der am Katschberg anstehenden Gesteine durchörtert wird.

Obwohl der Anteil der Gneise im Katschbergtunnel etwa 75% ausmacht, wurde nur ein Gesteinspaket von weniger als 100 m Mächtigkeit aufgeschlossen.

Ein weiteres Charakteristikum der Bändergneise ist eine meist reichliche Durchschwärmung mit Apliten und Mikrograniten in meist Zentimeter- bis Dezimeterstärke, und zwar sowohl parallel zur Schieferung, als auch spitzwinkelig dazu in statistischer Verteilung; z. T. finden sich an den Rändern Säume mit besonderer Epidotanreicherung.

Vereinzelt sind parallel zu s eingelagerte Aplite und Quarzlagen boundiniert, mächtigere Aplite und Mikrogranite von 1 bis 2 m Dicke wurden meist aufgelöst in Meter bis 10 m lange Linsenkörper.

Alter und Genese der „Gneise“

Die erste mineralogische Durcharbeitung erfolgte nur für baulich interessante Probleme. Diese Untersuchungen wurden am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Salzburg von Frau Dr. KIRCHNER durchgeführt.

Katachberg- Weststraße Süd: ** Nord: ** Station	1 Quarz	2 Muscovit	3 Biotit	4 Chlorit	5 Hydro- glimmer	6 Albit	7 Oligo- klas	8 Kalzit	9 Dolomit	10 Mont- moril- lonit	11 Epi- dot	12 Gra- nat
* 150	+	+		+			•	•				
267	•	+		+			•	+	•			
528	•	•					•		•			
529	•	•							+	•		
649			+	+			•	•			•	
713	•			+			+	Andesin	•	+	•	
717	•		•	+					•	+	•	
718	•			+		•		•	•	+	•	
720	•	•	•	+					•	+	•	
722	•			+		•		•	•	+	•	
733		+	+				•		•	•	•	
744		+		+						+	•	
748 a	+								•			
b		•		•					•			
751 a	+	•			•		•		•			
b		•			•				•			
754	•			•	•				•			
755		+			•							
761	•											
832			•								•	
1120	•	Paragonit		+								
1158		•		•	•	K-feldsp.		•				
1190	•	+		•	•	K-feldsp.				+		
1176	•	+		+		•		•				
1230 a	•	•		+	•	•	•	•		•		
b	•	•		•				•		•		
1243 a	+	+		+	•	•		•		•		
b	•	•		•				•		•		
1249	+	+		+	•	•		•		•		
1250	•	+		+		•		•		•		
1251 a	•	•		•	•	•		•		•		
b	•	•		•	•	•		•		•		
1252	+	+		•	•	•		•		•		
1267	+	+		+		•		•		•		
1295 a	+	Margarit		•	•	•		•		•		
b	•	Paragonit		•	•	•		•		•		
c	•	•		•	•	•		•		•		
1330 a	•	+		+	•	•		•		•		
b	•	•		•	•	•		•		•		
1336		•			•	•		•		+		
1340		•			•	•		•		+		
1348	•	+		+	•	•		•		•		
1382 a	•	+	•	+	•	•	•	•		•	•	•
b	•	•		•	•	•		•		•		
1450	•	+		+	•	•		•		•		
1602			•	+	•	•		•		•		
1711 a	•			+	•	•		•		•	•	•
b	•		+	+	•	•		•		•	•	•
1752	•		•	+	•	•		•		•	•	•
1781	•		+	+	•	•		•		•	•	•
** 270 (LT)	•	+		+					•			
450	•	+		•							•	
467	•	+									•	
(Störung)												
1340	+	+	•	•	•	+	•	•	•		•	
2498	•		+	•		+			•		•	
2595	•	•		+		•		•			•	•
2646	•			•		•		•				
2829	•	+		+		•						
3118		+		+				•		•		
3230	•	•						•				
(Störung)												

Tab. 1. Mineralbestand

13 Akti- onit	14 Kaoli- nit	15 Talk	16 Gips	17 Graphit	18 Dickit	19 Nacrit	20 Erz
+				• •	+	•	+ Siderit • Magnetit
	+	•		•			+ Siderit
		• +			+	•	+ Pyrit
+		+	• •	•		•	+ Pyrit • Pyrit
				•		•	
	• • •			•			• Pyrit
• •							• Pyrit
Tremolit	•		+			+	Rutil Rutil

einiger untersuchter Proben.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse brachten aber neue Probleme, die vorläufig nicht in ein einheitliches Bild zu passen scheinen.

So stehen einer scharfen Trennung von Gneis und Phyllittypen Kennzeichen gegenüber, die die Unterschiede verschwimmen lassen. Im Gesamtbild des Aufschlusses ist eine klare Zuordnung möglich. Ebenso sprechen die Unterschiede im gebirgsmechanischen Verhalten generell für eine klare Unterscheidung. Auch die Kurve der Temperaturgradienten zeigt einen Knick an der Grenze Gneis/Phyllit.

Dem gegenüber steht ein sehr ähnlicher Mineralbestand in beiden Serien, wobei ein alter Mineralbestand im „Gneis“ bisher nicht gefunden werden konnte. Auch fehlen in den „Gneisen“ die K-Feldspäte, Plagioklase sind nur spärlich zu finden.

Die mineralogische Durcharbeitung deutet eher darauf hin, daß hier ein Schichtpaket vorliegt, das mit zunehmender Teufe (von Norden nach Süden) eine geringe Zunahme der Metamorphose zeigt. Auch die Bezeichnung „Gneis“ trifft nicht in allen Punkten die Charakteristik der vorliegenden Gesteinsserie.

Deshalb ist es geplant, die begonnenen Untersuchungen weiterzuführen und diese werden von Dr. KIRCHNER zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Dank der hervorragenden Zusammenarbeit mit der Universität Oxford und dem Team von Dr. OXBURGH wird es auch möglich sein, einige absolute Altersdatierungen von Proben aus dem Katschbergtunnel zu bekommen. Diese Ergebnisse werden erst später erscheinen.

Schieferung und Flächengefüge

Die Gesteine am Katschberg sind charakterisiert durch ein überaus straff und fast monoton eingeregelt, ebenflächiges Flächengefüge.

Die Streichrichtung der Gneise pendelt auf den ersten rund 1000 m etwa um die N-S-Richtung mit flachem Ostgefälle (10 bis 30°) (siehe synoptisches Diagramm Tafel 1) und dreht dann auf die Streichrichtung NNE-NE mit flachem Einfallen von 10 bis 30° (seltener 40°) nach ESE—SE.

Die Wechsellagerung von glimmerarmen und glimmerreichen Lagen ergibt zusammen mit der mechanischen Beanspruchung das dünnschiefrige, plattige oder bankige Auftreten der Gneise.

Als besonders mechanisch wirksam treten s-parallele Flächen auf, in denen Glimmerlagen oft nur in der Stärke von Millimetern auf größere Längserstreckung durchziehen und durch Differenzialbewegungen verschmiert wurden (100% Durchtrennung bezogen auf Bauwerk). In seltenen Fällen wurden auch Schichtpakete mit Scherfaltungen gefunden.

Auf den nördlichen rund 1000 m sind im Gestein mitunter Großlinsen zu erkennen, mit Meter bis Zehnermeter Länge und meist 1 bis 3 m Dicke, die sehr spitzwinkelig im Gestein auskeilen (rund 10°) und von dünnen Gleitbahnen begrenzt sind.

Vereinzelt kommen glimmerreiche (Chlorit, Biotit, Muskovit, Serizit und z. T. auch Talk) Zwischenlagen von 1 bis mehr Meter Mächtigkeit vor, die bei flacher Lagerung oft mehrere Zehnermeter im Tunnel zu verfolgen sind und in der Firste

durch das besonders leichte Ablösen der darunterliegenden Platten unangenehmer auffallen. Ihr Verhalten nähert sich mit zunehmender Mächtigkeit dem von Phyllit (Zunahme der plastischen Eigenschaften) (Kl III bei KT-S Stat. 1750, Querschlag zu Oströhre).

Kl ü f t e

Obwohl mächtige Störungs- und Mylonitzonen nicht aufgefahren wurden, treten im gesamten Verlauf des Stollens zahlreiche Klüfte auf, die besonderes Augenmerk verdienen, da sie von den Faktoren, die gebirgsentfestigend wirken, an erster Stelle zu nennen sind.

An Häufigkeit überwiegen NE-SW-orientierte Störungen und Klüfte, die meist steil (70 bis 80°) nach Nordosten fallen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, handelt es sich dabei um scharfe \pm ebenflächige, ungefüllte Trennflächen, wobei in dieser Orientierung zahlreiche Großklüfte (Klüfte mit 100% Durchtrennungsgrad, bezogen auf das Bauwerk) auftreten, die einen Schwarm von gleichorientierten Kleinklüften mitsichbringen (bis zu 10 KK/lm). Besonders am linken (östlichen) Ulm bilden sich dabei plattige Ablösungen und Entspannungsklüfte.

Ähnlich, wenn auch nicht ganz so häufig, treten NW-SE-streichende steilstehende Klüfte auf, meist nach Nordosten fallend. Auch sie sind meist ungefüllt und nur scharfe Trennflächen ohne sichtbare Verstellung. Die Entspannungsklüfte am rechten (W) Ulm folgen meist dieser Orientierung. Unterschiedlich davon treten, auch nicht so häufig, etwa E-W-Klüfte, meist nach Süden fallend, auf. Sie sind z. T. offen, meist ausgekleidet mit Kalzitrasen + Dolomit (vereinzelt auch Cölestin, Zinkblende usw.) und beinhalten häufig Gesteinstrümmer und Mylonit. Auch eine Tropfwasserführung ist häufig an diese Klüfte gebunden.

Die im Vorgutachten erwähnten und zu erwartenden großen N-S-Störungen wurden nicht angetroffen, aber bei der in dieser Richtung verlaufenden Trassenführung ist die Wahrscheinlichkeit geringer.

Zwischen Station 2400 und 2800 wurde als Kluffüllung neben Gesteinstrümmer und Mylonit auch Gips gefunden, und die Wasseranalysen bestätigen diese Funde, wobei z. T. extrem hohe Sulfatgehalte im Wasser bis 1600 mg SO₄/l bestimmt wurden.

Gips kann bei den gegebenen Metamorphosebedingungen nicht stabil bleiben, es handelt sich also um Sekundärbildungen aus den darüberliegenden Phylliten der Oberen Schieferhülle.

Phyllite der Oberen Schieferhülle

Über den Bändergneisen liegen die jüngeren und von den Gneisen deutlich zu unterscheidenden Phyllite der Oberen Schieferhülle, die im Tunnel in einer Gesamtmächtigkeit von zirka 500 m aufgeschlossen sind und deren Schichtfolge mit einem etwa 10 m mächtigen Kalk-Dolomitzug beginnt (helle, dichte dolomitische Kalke), gefolgt von Muskovit-Serizit-Glimmerschiefern mit Albitporphyroblasten (Albitporphyroblast-schiefer) mit etwa 40 m Mächtigkeit; darüber schwarze Kalkphyllite

(Bündener Schiefer) mit etwa 200 m Mächtigkeit, gefolgt von einer bedeutenden Störungszone, bestehend aus Talkschiefern mit blähenden Tonmineralien (Montmorillonit als Hauptgemengteil) zusammen mit sandig-grusigen, reliktsch erhaltenen Schwarzphylliten (hydrothermal umgewandelt) neben Erzminerale, Quarzscherlingen und Dolomitlinsen, z. T. vererzt. Diese Störungszone hatte im Tunnel eine Ausbißlänge von 70 bis 75 m.

Darüber folgte eine Einheit mit gebankten Grünschiefern (Prasinite), reich an Karbonat, Epidöt, Chlorit mit etwa 50 m Mächtigkeit, beidseitig begrenzt durch steiler stehende Störungen.

Hangend dazu wieder Phyllite, zunächst überwiegend Serizit-Phyllit (Hellphyllit) karbonathaltig, mit geringmächtigen (0,5 bis 1 m) Zwischenschaltungen von Bändermarmoren und nur vereinzelt graphithaltigen Zwischenlagen, etwa 30 m mächtig, mit einem Übergang in karbonathaltige Schwarz-(Graphit-)Phyllite, die bis zum Felsbeginn bei Portal KT-S zu verfolgen sind. Auch in diesen Schwarzphylliten treten mitunter Bändermarmorlagen auf. Gesamtmächtigkeit 470 m.

Im unmittelbaren Grenzbereich zur Moräne (Felsbeginn vom Südvortrieb) sind dünne Serizit-Quarz-Phyllit-Linsen in den Schwarzphyllit eingelagert, ebenso wie eine dünne Linse von Chloritschiefern. Ob es sich um eine Einschuppung aus den darüberliegenden Katschbergschiefern handelt, kann hier nicht näher behandelt werden.

Schwarzphyllit

Der Anteil, der im Tunnel innerhalb der Gesteine der Oberen Schieferhülle von Schwarzphylliten eingenommen wird, beträgt über 60% und somit stellen diese das wichtigste Schichtglied im südlichen Baulos dar.

Es sind das dunkle bis schwarze, feinkörnige Gesteine mit den Hauptmineralkomponenten Quarz, Hellglimmer (Serizit), einem opaken, karbonatischen Anteil und Kalzit in wechselnden Mengenverhältnissen. Quarz tritt diffus, wie auch in Form von Lagen und Linsen häufig auf. Sie sind ferner charakterisiert durch eine ausgeprägte Schieferung (s) und damit einer beträchtlichen Anisotropie.

Im Tunnel können zwei Gruppen von Schwarzphylliten ausgeschieden werden, eine liegende Einheit und eine hangende, getrennt durch helle Serizit-Phyllite, einen Grünschieferkomplex und einer mächtigen Störungszone (siehe Profil). Eindeutige Unterscheidungsmerkmale zwischen beiden Schwarzphyllitgruppen konnten nicht gefunden werden. Generell kann gesagt werden, daß die liegenden Schwarzphyllite eher bankig auftreten und der Anteil von Serizit-Graphit zugunsten eines höheren Karbonatanteiles geringer ist und damit auch die Dichte der s-parallelen, mechanisch wirksamen Flächen abnimmt. Aber auch in Teilbereichen der hangenden Schwarzphyllite im Lüftertunnel (Parallel-tunnel zum Haupttunnel) traten diese mitunter bankig-kompakt auf, obwohl sie meist durch örtlich auftretende Schieferung und Teilbewegungen nicht standfest waren und sofortige Sicherung verlangten.

Beiden Schwarzphyllit-Einheiten gemeinsam ist auch das gelegentliche Auftreten von untergeordneten Zwischenlagen von Bändermarmoren (0,5 bis 1 m

mächtig), sowie von Einschaltungen von Hellphyllit, chlorit- oder biotitreichen Phylliten konkordant und ohne scharfe Abgrenzungen.

Besonderes Augenmerk wurde auf das Auffinden von Isoklinalfalten gelegt, doch konnten eindeutig solche nicht entdeckt werden.

Das vorhandene Flächengefüge ist derart dominant und straff orientiert, daß es kaum zu erwarten ist, noch sedimentäre Strukturen zu erkennen bzw. Umscherungen zum heutigen s.

An zwei Stellen allerdings wurden im Lüftungstunnel auf KT-S bei Station 240 bis 250 am Westulm und bei Station 405 am Ostulm Beobachtungen gemacht, die schon als mögliche Sedimentärstrukturen gedeutet werden können. Und zwar wurde dort an „geschonten“ Stellen eine laminare Wechsellagerung gefunden von etwa 1 mm serizitisch-graphitischen Lagen mit etwa 1 bis 2 mm „psammitischen“ quarzkarbonatreichen Lagen in stetigem Wechsel und einer Gesamtmächtigkeit von etwa 3 dm, wobei jede dieser Lagen konstant über eine Längserstreckung von mehreren Metern (Aufschlußgröße) zu verfolgen war. parallel zum vorherrschenden s.

Serizit-Phyllit

Als „helle“ Variante der Schwarzphyllite treten Serizit-Phyllite auf. Hauptgemengteile sind Serizit, Quarz, Karbonat, Nebengemengteil z. T. Chlorit. Ihnen fehlt nur die dunkle Pigmentierung, alle anderen Kennzeichen haben sie mit den Schwarzphylliten gemeinsam. Meist handelt es sich um geringmächtige Zwischenlagen im Schwarzphyllit als hellere Einschaltungen ohne scharfe Grenzen. Im Liegendanteil der hangenden Schwarzphyllite (Weströhre Station zirka 440 bis 530) überwiegen die hellen Phyllite mit geringmächtigen dunklen Anteilen und Einschaltungen von Bändermarmoren.

Wie Vergleiche mit dem Lüftungstunnel zeigen, handelt es sich aber nicht um ein selbständiges, einigermaßen horizontbeständiges Schichtglied.

Grünschiefer (Prasinite): (KT-S—WR Station 530 bis zirka 725)

Diese Gruppe unterteilt im wesentlichen die hangenden und liegenden Schwarzphyllite und ist von diesen ganz deutlich zu unterscheiden und abzugrenzen. Mineralogisch bestehen sie aus Chlorit, Aktinolit, Epidot, Albit, Biotit und Karbonat neben Acc., wobei wechselweise karbonreichere und quarz-albitreichere Lagen, in Millimeter- bis Zentimeterabstand alternierend, vorkommen, z. T. sind sie vertalkt.

Von Randzonen und dünnen Zwischenlagen abgesehen, treten diese Gesteine im Aufschluß meist plattig bis bankig auf, mit gutmütigem Verhalten im Tunnel (Kl. II), wobei bankungsintern ein höherer Karbonat- oder Quarz-Feldspatgehalt entregelnd wirkt. Dafür sind die Bankungsfugen meist gut „geschmiert“.

Diese Gesteine reagieren auch besonders auf Bergwasser sowie auf hydrothermale Veränderungen durch erhöhte Ausgleitbereitschaft und sie leiten direkt über in die

Störungszone (KT-S—WR Station 710 bis 787 Kl. IV und V)

Diese Zone beginnt anfangs noch mit umgewandelten Grünschiefern, wobei diese Umwandlung bei flüchtiger Betrachtung vorerst gar nicht bemerkt wird,

da das Gestein gleich bankig und in gleicher Orientierung auftritt, und auch optisch kein Unterschied festzustellen ist. Aber die Gesteine sind im mikroskopischen Bereich umgewandelt, mit einem extremen Verlust der Festigkeit, und zwar soweit, daß sie sogar im Aufschluß mit dem Bergeisen abgebaut und mit Fingern zerbrochen werden können. Außerdem sind sie extrem ausgleitbereit (Schichtflächen vertalkt und feucht), so daß sofort zu einem Vortrieb mit zwei Strossen, Brustkeil und Brustverzug (10 cm TK) übergegangen werden mußte.

Wie die mineralogischen Untersuchungen ergaben, bestanden die Gesteine aus Chlorit und Montmorillonit (blähendes Tonmineral) als Hauptgemengteil neben Talk (sehr gleitfähig), Dolomit, Kalzit und Erzen, wie Siderit und Pyrit. Die Lösungen sind durch ein etwa NE-SW-streichendes Störungsbündel eingedrungen.

In der weiteren Folge überwiegen in dieser Zone zwar Schwarzphyllite, aber auch diese sind sowohl tektonisch, wie chemisch stark beansprucht und umgewandelt, meist ausgelaugt (vermutlich Karbonatanteil abgeführt) mit sandigem Habitus (nur mehr reliktsch Glimmerschuppen und Quarz vorhanden), ebenfalls ohne jegliche Festigkeit und meist innig vermengt mit Talklinsen, strahlensteinführenden Serpentinresten neben hellen, splittrigen Quarziten, Dolomit und chloritischen Zwischenlagen.

Ab Station 785 nimmt allmählich der Einfluß der Störung ab mit Übergang in die liegende Gruppe der Schwarzphyllite.

Zu erwähnen wäre noch die teilweise überaus starke Vererzung mit Pyrit (Proben werden in Mitterberg untersucht) bis zu Derberzknollen, Siderit und die Mineralisation der Dolomitlinsen mit Millerit (Nickelerz).

Gebirgsmechanisch zählt diese Zone zu den schwierigsten Zonen im gesamten Bereich der Scheiteltunnelstrecke.

Aufgefahren wurde diese Strecke in zwei Strossen mit Brustkeil und Brustverzug (10 cm TK) mit einer Drosselung der täglichen Vortriebsleistung bis zu einem halben Meter, ohne Sprengarbeit in Kl. V und nur vereinzelt Pufferschüssen in Kl. IV.

Bedacht genommen wurde besonders auf eine möglichst kurze Strosse II, rasches Einbringen der nötigen Sicherungsmaßnahmen, mit bewußt geringer Angriffstiefe, wobei Öffnen in kleinen Teilbereichen mit sofortiger Versiegelung notwendig war.

Die parallel mit den Ausbruchsarbeiten durchgeführten Deformationsmessungen zeigten auch, daß sich die Mühe des überaus behutsamen Vortriebes verbunden mit sofortiger intensiver Sicherung lohnte. Es ist die größte Kunst des Tunnelbauers, sich auch in Grenzsituationen so zu bewegen, als wäre scheinbar nichts los. Und dies wird in eleganter Weise erst durch die NATM möglich (siehe Kapitel „Bauweise“).

Albitporphyroblast-Schiefer

Das sind Hellglimmerschiefer, die vorwiegend aus großschuppigem Muskovit bestehen und daher entlang der Schieferung auch leicht zergleiten. Daneben kommen als Hauptgemengteile vor: Quarz diffus verteilt und in Form von Lagen und Linsen, Albit in Form von 1 bis 3 mm Porphyroblasten (namengebend).

Nebengemengteile sind: Karbonat (Dolomit-Ankarit), Chlorit, z. T. Graphit und stellenweise Montmorillonit.

Vereinzelt finden sich in einer Zwischenlage zirka 3 mm große Granaten.

Technologische Merkmale

Der Tunnelvortrieb, insbesondere der unmittelbare Vortriebsbereich, stellt ein Systemganzes dar mit einer innigen Verflechtung von Einflußgrößen, deren eine Hauptkomponente sicherlich von den geologisch-petrographischen Merkmalen wesentlich beeinflusst wird. Darüber hinaus gibt es aber gerade im nicht immer vorhersehbaren Tunnelvortrieb einen breiten Spielraum, der beeinflusst wird von der Art der Baustelleneinrichtung, insbesondere von der Mechanisierung und Adaptierung des Bohrbetriebes, der täglichen Vortriebsleistung, der Zusammenarbeit auf der Baustelle, der Verfolgung des Zieles einer technisch optimalen Lösung usw.

Von den geologisch-petrographischen Merkmalen, von denen hier im wesentlichen die Rede sein soll, gibt es solche, die ein Gestein generell und bezogen auf den Tunnel auf lange Strecken charakterisieren, wie etwa ein repräsentatives Handstück (durchschnittlicher Mineralbestand und Gefüge usw.).

Das echte Gebirgsverhalten ergibt sich aber durch zusätzlich auftretende, verbessernde oder häufig abmindernde Einflüsse. Diese sind nicht generell, sondern nur örtlich zu erfassen. Sie spiegeln sich wider in der nur im ständigen innigen Kontakt zu erstellenden Klassifizierung und zeigen gegenüber der „Norm“ oft Abweichungen um mehrere Gebirgsklassen.

Dazu zählen:

Klüftung (Engständigkeit und Durchtrennungsgrad, Raumlage), Schieferung und tektonische Beanspruchung im Kleinbereich, erhöhter Anteil an gleitfreudigen, schmierigen oder gar blähenden Mineralen, besonders in Verbindung mit Wasser.

Diese Faktoren kommen einzeln oder gehäuft vor und sind nicht im Detail vorhersehbar.

Zur besseren Übersicht werden die wesentlichen Faktoren tabellarisch zusammengefaßt. Wie im Gutachten von WEISS werden die Gesteine der Gneisserie als a), die der Schieferhülle als b) bezeichnet.

Tab. 2. Gesteins- bzw. Gebirgsfestigkeit

Eigenschaft	generell	Abmindernde Einflüsse	Anmerkung
a) Gneis			
Geb. druckfestigkeit	hoch	engscharige Schieferung, hoher Glimmergehalt, engstehende Klüftung (\pm gefüllt)	
Geb. scherfestigkeit	hoch	engscharige Schieferung, hoher Glimmeranteil besonders durchstreichende glimmerreiche Lagen und Häute	

Eigenschaft	generell	Abmindernde Einflüsse	Anmerkung
Zähigkeit-Sprödigkeit	Mittelwerte		abhängig von reinem Quarzanteil (spröde) bzw. Anteil von Glimmerschuppen und Lagen
Standfestigkeit-Nachbrüchigkeit	gute Standfestigkeit		engscharige Schieferung, hoher Glimmeranteil, entstehende Klüftung (\pm gefüllt), Entspannungserscheinungen
Druckhaftigkeit	keine		
Gewinnungsfestigkeit	Schießen erforderlich, sonst kaum Probleme		
Erweichbarkeit	keine		
Maßhaltigkeit	gut		zu großer Abstand der Kranzlöcher, in seltenen Fällen Klüftung
Bohrbarkeit	gut		z. T. hohe Abrasion durch hohen Quarzgehalt, z. T. Nachfall in Bohrlöchern im reinen spröden Quarz
Wasserwegigkeit	nur entlang offener Klüfte, Andrang gering		
b) Gesteine der Schieferhülle			
Geb. druckfestigkeit	mittel bis gering		dünnblättrige Schieferung, Graphit-Serizithäute auf s-Flächen, Anteil an \pm blähen- den Tonmin. und Talk, Geb. feuchtigkeit
Geb. scherfestigkeit	meist gering		dünnblättrige Schieferung, Graphit-Serizithäute auf s-Flächen, Anteil an \pm blähen- den Tonmin. und Talk, Geb. feuchtigkeit
Standfestigkeit	mittlere bis geringe Standfestigkeit		dünnblättrige Schieferung, Graphit-Serizithäute auf s-Flächen, Anteil an \pm blähen- den Tonmin. und Talk, Geb. feuchtigkeit
Gewinnungsfestigkeit	Schießen erforderlich, sonst kaum Probleme		
Erweichbarkeit	bei zusitzenden Bergwässern gegeben, Wasser auch als Schmiermittel		
Maßhaltigkeit	gut, Stützmaßnahmen erforderlich		
Bohrbarkeit	gut		
Wasserwegigkeit	gering		

Klüfte und Störungen

Große Störungen mit Mylonitzonen von rund 1 m Mächtigkeit kommen nur selten vor und spielen daher eine geringe Rolle. Eine Sonderstellung nimmt nur die große Störungszone aus KT-S Station 710 bis 787 ein.

Auch Großklüfte (GK), z. T. offen oder geschlossen, erhalten nicht die Bedeutung, wie die meist parallel dazu verlaufenden Kleinklüfte (KK), die häufig scharenweise auftreten. Diese zerteilen a) häufig in Verbindung mit erhöhter Spaltbarkeit nach s in prismatische Körper von dm^3 bis m^3 Größe.

Von der Klufkörpergröße hängt ganz wesentlich die notwendige Sicherung ab. Große, vereinzelt Klufkörper lassen sich meist durch Ankerung fixieren, mittlere und kleinere gehäuft vorkommende erfordern Torkret, wobei eine Kerbstellenversiegelung (zirka 3 cm) nicht immer ausreicht.

In Serie b) ist die gebirgsentfestigende Wirkung von Klüften meist nur ein Teilaspekt und ebenso bedeutend wie die Gesteinseigenschaften. Diese Gesteine reagieren auf Beanspruchung auch meist plastisch, und Störungen zerschlagen sich rasch. Ohne Wasser ist an den Klufflächen meist eine gewisse Kohäsion zu bemerken. Die kurze mögliche ungestützte Standzeit wird daher von vielen Faktoren bestimmt.

Beeinflussung durch das Wasser

Auf a) ist der beobachtete Einfluß gering, auf b) wirkt Wasser im Zusammentreffen mit anderen Faktoren als Schmiermittel.

Ein überraschendes Ergebnis erbrachten die Wasseruntersuchungen in Hinblick auf gelöste Stoffe. Dabei zeigt es sich, daß in den Phyllitstrecken sehr niedrige SO_4 -Werte ermittelt wurden und daß bei rund 20 d. H. (Karbonathärte) die Gesamthärte kaum höher war. In den zentralen Bereichen im „Gneis“, und hier besonders in der Strecke zwischen Station 1700 und 2500 m von Norden gerechnet, dort also, wo man sie aus der Gesteinsserie nicht erwarten würde, sind diese Werte extrem hoch.

Da sich aus den ermittelten Sulfatwerten noch eine höhere Mineralsäurehärte errechnet, ist das Vorhandensein von Alkalisalzen anzunehmen.

Im Maximum wurden 1556 mg SO_4/l bestimmt, und die Härte betrug 88,6 Ges. d. H.

Dieser Umstand kann nur durch eine Auslaugung der oberen Partien mit einer sekundären Anreicherung in den darunter liegenden Zonen erklärt werden.

Ergänzend dazu wurde auch Gips in vorhandenen Klüften gefunden.

Die Gesteine und deren Gefüge in Beziehung zur Gebirgsklassifizierung

Trotz straffer Einregelung der Einzelminerale, besonders der Glimmer, parallel zur Schieferung ist das Festigkeitsverhalten von a) so hoch, daß über 90% als Kl. I und II eingestuft wurden.

Durch das Zusammentreffen vieler gebirgsentfestigenden Faktoren, wie hohem Glimmeranteil, starker Zerklüftung, erhöhter Bergfeuchtigkeit, hoher Über-

lagerung, erschien es notwendig, die restlichen knapp 10% als Kl. III einzustufen.

Die Ankerung wurde mehr nach örtlichem Bedarf eingebracht.

Der vorhin erwähnte Gips in den Klüften hatte — da diese Klüfte trocken sind — keinen Einfluß auf die Klassifizierung, wohl aber auf die Isolierung und die damit verbundene Torkretierung.

Die eingebrachte Sicherung erfüllte also in erster Linie die Funktion eines Kopfschutzes und verhinderte eine weitergreifende Auflockerung. Eine Stützung des Hohlraumes war nicht notwendig.

Bei b) sind die Gesteine charakterisiert durch eine dünnblättrige Schieferung mit hohem Durchtrennungsgrad. Das damit geschwächte Festigkeitsverhalten erfordert eine Stützung des ausgebrochenen Hohlraumes als Mittelwert nach Kl. III, in den besseren Anteilen nach Kl. II.

Eine Sonderstellung unter b) nehmen die Schwarzphyllite ein, nicht nur weil sie den Hauptanteil von b) stellen, sondern weil die Streuung der Festigkeit von Kl. I bis Kl. IV reicht.

Faktoren, die den Schwarzphyllit verbessern, sind: hoher Karbonatgehalt, verbunden mit erhöhter Kristallinität, geringer Glimmeranteil, besonders eine diffuse Verteilung ohne durchgehende Häute, dickbankiges Auftreten.

Faktoren, die die Festigkeit herabsetzen, sind:

1. Engständigkeit der Schieferungsflächen (meist Abstände von Millimetern, Zentimetern und Dezimetern).
2. Verfolgbarkeit der Schieferungsflächen in der Ebene derselben und damit Durchtrennungsgrad.
3. Mineralbestand, besonders das Auftreten von Serizit-Graphit oder Talk auf den s-Flächen. Bildung von Häuten.
4. Örtlich auftretende Störungen, die von einer glattflächigen Zerlegung bis zur Bildung von Ruschelzonen und Myloniten führen kann.

Dabei konnte beobachtet werden, daß Großklüfte meist begleitet werden von einer Schar paralleler Kleinklüfte und daß sich auch Großklüfte meist bald aufspalten und zerschlagen und damit einen breiten Bereich erfassen können. Schon kleine Bewegungen genügen dann, um den Schwarzphyllit mit seinen vielen potentiellen Gleitflächen durchzukneten, wobei zahlreiche sphärisch begrenzte Differentialharnischflächen entstehen und sich meist „Knödel“ von unregelmäßiger Begrenzung um Härtlingskörper wie Quarzlinsen bilden.

Diese Erscheinungen sind nicht einmal von einer Tunnelröhre auf eine mit Achsabstand von 30 m (!) parallelverlaufende zu übertragen, wie das Beispiel KT-S — Lüftertunnel und Weströhre beweisen, wo beträchtliche Unterschiede in der örtlichen Ausbildung im gleichen Gesteinspaket gefunden wurden, die zu Gebirgsklassenunterschieden bis zu zwei Klassen führten (Kl. I, II, III im LT und nur Kl. III in der Weströhre) unabhängig von der verschiedenen Größe des Querschnittes, da die Stützmaßnahmen an die Größe angepaßt waren.

Beiliegende Skizze aus einem Teilabschnitt des Bauloses KTS (Abb. 1) zeigt die Unterschiede sehr deutlich.

5. Unter besonderen Bedingungen kann es neben einer intensiven mechanischen Durchknetung noch zu einer hydrothermalen Auslaugung und damit zu einer noch bedeutend stärkeren Entfestigung des Gesteines kommen. Die gebirgsmechanische Belastbarkeit erinnert dabei an die eines schlechten Bodens. Zur Bewältigung der vorhin erwähnten Störungszone waren Baumaßnahmen nötig, die über die Gebirgsklasse V hinausgingen. Darüber hinaus muß aber auch das überaus behutsame gebirgsschonende Vorgehen hervorgehoben werden.

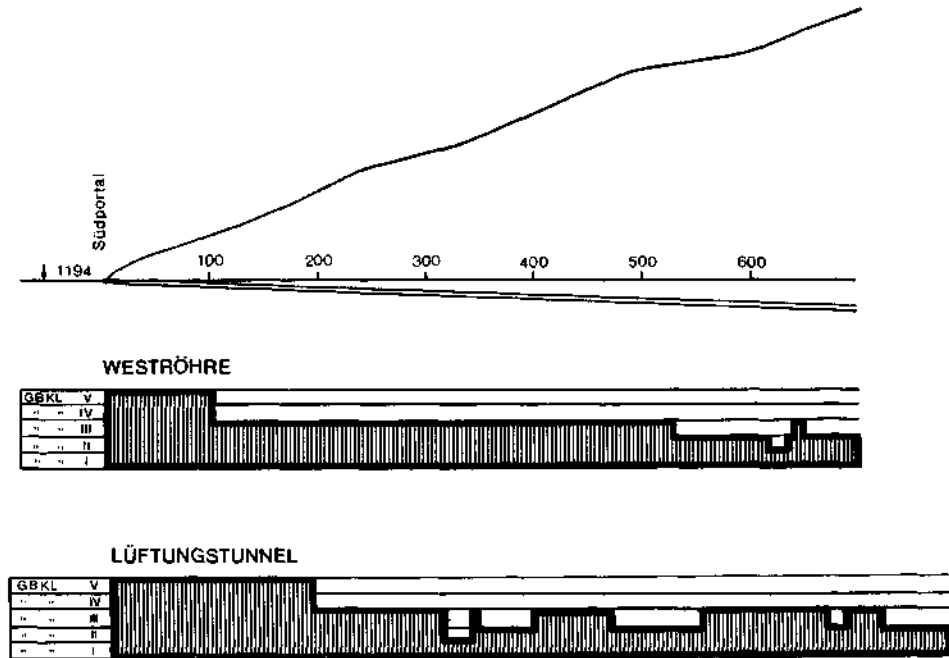


Abb. 1. Vergleich der Klassifizierung zwischen benachbarten parallellaufenden Tunnelröhren beim Vortrieb von Süd nach Nord.

Die Bauweise

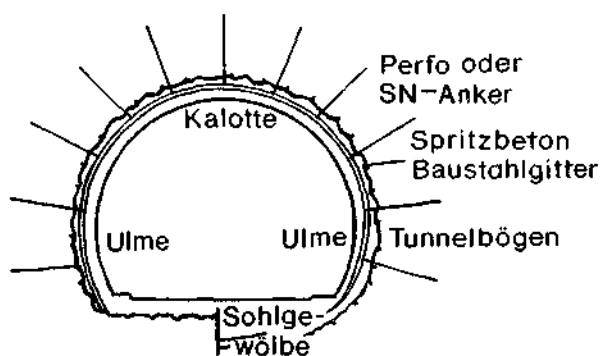
Abschließend sollen noch einige Bemerkungen über Prinzipien des modernen Tunnelbaues und insbesondere zu der überaus erfolgreich angewandten Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (New Austrian Tunneling Method — NATM abgekürzt) angeschlossen werden. Es ist das besondere Verdienst von RABCEVICZ, die sich beim Ausbruch abspielenden Vorgänge durchleuchtet und rechnerisch zugänglich gemacht zu haben.

Bei der Durchörterung eines Gebirges durch einen Tunnel wird der primär vorhandene Spannungszustand gestört und es entsteht ein sekundärer Spannungszustand. Dabei werden am Ausbruchsrund (abgesehen von einer Kohäsion) die Radialspannungen gleich null und sie nehmen mit zunehmender Tiefe allmählich

asymptotisch zu bis zu einem Wert, der der Überlagerung und dem spezifischen Gewicht entspricht. Die Tangentialspannungen nehmen dagegen sehr rasch bis zu einem Maximum zu, um dann ebenfalls asymptotisch jenen Wert anzustreben. Mit Zunahme der Zeit verlagern sich nun die Spannungsspitzen in den Berg.

Das Gebirge reagiert auf die geänderten Verhältnisse durch Bewegungstendenzen in den Hohlraum. Durch das Hereinwandern der Hohlraumumgebung und der damit verbundenen tangentialen Verkürzung kommt es zu mehrmaligen Beanspruchungen ähnlich einem wiederholten Scherversuch. Die obere Grenze der Beanspruchbarkeit des Gesteines wird im wesentlichen bestimmt durch den Winkel der inneren Reibung und damit durch die einachsige Druckfestigkeit. Bei Überschreiten dieser kommt es zu plastischen Verformungen. Es bildet sich in der Regel eine Schutzzone um den Hohlraum mit einem inneren plastischen und einem äußeren elastischen Bereich.

Es ist nun ein Hauptprinzip der NATM, die mit der Umlagerung auftretenden Bewegungen gebremst zuzulassen. Würde man versuchen, diese Bewegungen zu verhindern, würde sich vom Gebirge ein so hoher Gegendruck aufbauen, der zu einer unwirtschaftlichen Dimensionierung des Aufbaues führen müßte. Es gibt nun aber eine Wechselbeziehung zwischen Deformation und Druckaufbau, und man kann dieses Spiel soweit treiben, bis es zu einer Auflockerung kommt, die unbedingt vermieden werden muß. Wie später noch gezeigt werden soll, hat man mit der Messung der Deformation auch eine ausgezeichnete Möglichkeit, die Dimensionierung des Ausbaues zu kontrollieren bzw. zu variieren. Mit den heute zu Gebote stehenden Mitteln versucht man das Gebirge, wo notwendig, zu vergüten und zum Mittragen heranzuziehen. Als Stützmittel dazu dienen: Torkret, Anker, Baustahlgitter und Tunnelbögen in



schematischer Querschnitt
ohne mit
Sohlgewölbe
in Güteklasse III bis V

Abb. 2. Regelausbau mit vorgesehenen Stützmaßnahmen.

durch die Qualität des Gebirges bedingter Abstufung. Damit ist es möglich, ein nicht starres Verbundpaket Ausbau—Fels herzustellen, das selbst die tragende Funktion übernimmt.

Der Vorteil dieser Bauweise ist in mehrfacher Hinsicht begründet.

Eine Torkretversiegelung von einigen Zentimetern Stärke wirkt als Oberflächenvergütung, gewährleistet den satten Anschluß ohne schädliche Auflockerung und Hohlraumbildung, ist außerdem in der Lage, Klufkörper von beachtlicher Dicke zu stützen und Umlagerungen von einigen Zentimetern bruchlos aufzunehmen. Weitergehende Bewegungen führen zu Scherrissen und zeigen an, daß weitere Sicherungsmaßnahmen notwendig sind.

Zu dicker und daher zu steifer Torkretausbau bewirkt einen hohen Druckaufbau hinter der Schale, der so hoch werden kann, daß es ebenfalls zu einer Entlastung durch Scherrisse kommt.

Das Hauptstützmittel stellt die Ankerung dar, vor allem für Tunnel mit größerem Ausbruchradius.

Für Zwecke der betrieblichen Sicherheit (Kopfschutz) im guten Gebirge genügen meist kurze örtlich gesetzte Anker.

In den latent plastischen Bereichen der Phyllite wurde aber eine Systemankerung notwendig, mit einem nach den Gegebenheiten geänderten Raster und einer Ankerlänge von durchschnittlich 3 m, bei Bedarf bis 6 m.

Hier wurden auch ausschließlich Perfo- bzw. SN-Anker und keine Spreizhülsenanker verwendet.

Spreizhülsenanker haben am Ende (im Bohrloch tiefsten) eine nach außen breiter werdende konische Form und eine Hülse, die sich bei Zug über den Durchmesser des Bohrloches vergrößert. Diese Anker sind sofort nach dem Einbau voll belastbar (bis zur Streckgrenze) haben aber nur eine etwa 10 cm lange Haftstrecke und bedingen auch bei langanhaltendem starken Zug einen unveränderlichen Bohrl Lochdurchmesser. Daneben gibt es mörtelgebettete Anker, und zwar Perfo-Anker, bei denen zwei perforierte Halbschalen von der Länge des Ankers mit zähflüssigem Mörtel gefüllt werden. Darauf werden sie zu einem gefüllten Rohr vereinigt und in das Bohrloch geschoben. Mit einem Preßlufthammer wird nun ein Rippentorstahl in die Schale eingetrieben. Dabei wird der Mörtel ausgepreßt und bewirkt eine innige Verbindung zwischen Ankerstahl und Umgebung.

SN-Anker sind ähnliche mörtelgebettete Anker, aber ohne Schale. Hier wird nur das Ankerloch mit zähem Mörtel verfüllt und der Torstahlanker nachgetrieben. Auch hier kommt es zu einer innigen Verbindung des Ankers in seiner gesamten Länge mit dem umgebenden Gebirge.

Alle genannten Anker können mit oder ohne Vorspannung ausgeführt werden.

Zwischen den Ankern bildet sich ein Hilfsgewölbe, das die große Stützweite in viele kleine Teilbögen unterteilt und zu einem Tragring zusammenzufassen ist. Der Torkret dient hier zusätzlich als Verbindungsbrücke zwischen den Ankern.

Ein Baustahlgitter wird, lose aufgespannt, lediglich als Kopfschutz gegen herabfallende Gesteinsstücke verwendet und kann dabei — manchmal sogar günstiger

— durch Torkret ersetzt werden. Bei dickeren Torkretstärken, etwa 10 bis 20 cm, dient das Baustahlgitter als Armierung des Spritzbetons.

Das problematischste Stützmittel sind die Tunnelbögen. Das Problem besteht darin, daß man häufig auf sie nicht verzichten kann, daß sie aber in der sonst so flexiblen Bauweise ein steifes Element darstellen. Nach Meinung vieler Experten haben sie auch für den Endausbau keinerlei Funktion, da ihre Stützwirkung zu gering ist. Sie erfüllen lediglich die Aufgabe eines Kopfschutzes im Vortriebsbereich und dienen für den Torkret als Stützkorsett, bis dieser seine Endfestigkeit erreicht. Theoretisch könne man sie nach einiger Zeit wieder ausbauen.

Von dieser Meinung ausgehend, wird mit den Tunnelbögen laufend experimentiert. Über die Erfahrungen im Tauerntunnel soll hier nicht berichtet werden, wohl aber über ein kurzes Experiment vom Katschbergtunnel. Ein kurzes Versuchsstück mittlerer Gebirgsfestigkeit wurde genau nach der Ausschreibung ausgebaut. Nur auf die Tunnelbögen wollte man versuchsweise verzichten. Dabei zeigte es sich, daß mit Weglassen eines sehr zeitaufwendigen Bestandteiles die Vortriebsgeschwindigkeit unkontrollierbar hoch wurde. Denn das, was bei großem Radius die große Stützweite ist, ist in Richtung der Achse die hohe Vortriebsgeschwindigkeit. Alle Versuche, die Geschwindigkeit auf den Wert des Ringausbaues zu drosseln, scheiterten, so daß das Experiment mit einigen Nachsanierungen aufgegeben werden mußte. Es wäre sicherlich wert, die Zusammenhänge zwischen forciertem Vortrieb und zusätzlichem Ausbau näher zu erforschen.

Ein integrierender Bestandteil der NATM sind die während des Vortriebes durchzuführenden Messungen der Bewegungen in der Tunnelleibung, der Relativbewegungen der Ulmen zueinander und der Radial- und Tangentialdrücke am Ausbruchrand. Da die Qualität des Gebirges ständig wechselt, hat man besonders mit der Deformationsmessung ein Hilfsmittel bei der Hand, das sofort Rückschlüsse auf den Ausbau, bezogen auf bestimmte Abschnitte des Tunnels, gewährt. Damit ist man in der Lage, auch in der Längsrichtung den Vortrieb so flexibel gestalten zu können, wie es das Gebirge erfordert. Dieser Umstand führt zu einem sehr wirtschaftlichen Ausbau, da Überdimensionierungen vermieden werden können.

Temperaturverhältnisse im Katschbergtunnel

Einleitung

Da aus der Literatur kaum genaue Hinweise über Temperaturverhältnisse in Tunnelbauten zu entnehmen sind und auch in Gesprächen über Frostgrenzen usw. immer wieder sehr unterschiedliche Meinungen vertreten werden, schien es wertvoll, auf diesem Gebiet detaillierte Kenntnisse zu erarbeiten.

Neben der geologischen Aufnahme wurde daher im Katschbergtunnel ein umfangreiches Temperaturmeßprogramm in Zusammenarbeit mit der Universität Oxford und dem Team Dr. OXBURGH durchgeführt; das dazu nötige Budget wurde uns in dankenswerter Weise von der Tauernautobahn-AG zur Verfügung gestellt.

Für unsere Belange hat sich besonders Dipl.-Ing. DWORSCHAK eingesetzt und die Arbeiten mit großem Interesse verfolgt, ebenso wie Ing. KNOLL. Den beiden Herren gebührt unser besonderer Dank.

Das Meßsystem bestand aus einer Widerstandsmeßbrücke und aus überaus feinen Meßelementen „Thermistors“, die einzeln oder gebündelt in den Meßsonden montiert wurden. Diese Meßelemente ändern mit veränderlicher Temperatur ihren Widerstand, der direkt an der Meßbrücke ablesbar ist. Aus der Eichkurve wurden computererrechnete Tabellen gedruckt, die für jeden Widerstand die korrespondierende Temperatur angeben. Die Meßgenauigkeit betrug $0,002^{\circ}$. Dieses System hatte den Vorteil, sehr genaue Werte zu liefern, und zwar unabhängig von der Kabellänge. Außerdem konnte man den Zeitpunkt des thermischen Gleichgewichtes genau bestimmen. In einem Bohrloch dauerte es in der Regel zirka 30 Minuten, bis der durch das Einbringen der Sonde gestörte Gleichgewichtszustand erreicht war. Bei Messungen mit Thermometern kann man diesen Zeitpunkt nicht bestimmen.

Messungen

Zunächst wurde die ungestörte Felstemperatur laufend mit dem Vortrieb gemessen. Dazu wurden in Brustnähe im Ulm in möglichst konstanter Höhe 3 m tiefe Bohrlöcher gebohrt, mit Wasser gefüllt und die Temperatur bis zum wiederhergestellten Gleichgewicht gemessen.

Leider sind die Messungen aus den Portalbereichen nicht gleichwertig, da das Meßprogramm erst später anlief und dort der Tunnel schon einige Zeit bestand.

Dafür konnte auf der Nordseite beim Vortrieb der Oströhre ein Teil der fehlenden Messungen ergänzt werden.

Der beiliegende Längsschnitt zeigt den Temperaturverlauf entlang der Tunneltrasse (Abb. 3).

Allerdings fehlen in dieser Kurve noch die Korrekturen nach der Topographie und Anisotropie. Dies, sowie weitergehende Untersuchungen über Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausbreitung nach verschiedenen Richtungen, Bestimmungen der U-Th-Werte sowie Vergleichsmessungen in seichten Bohrlöchern und Quellen entlang der Oberfläche über der Achse sind Teil einer Dissertation von ENGLAND, Ph., Oxford, und werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Auf diese Weise wird man ein ziemlich vollständiges thermisches Modell des Katschberges erlangen.

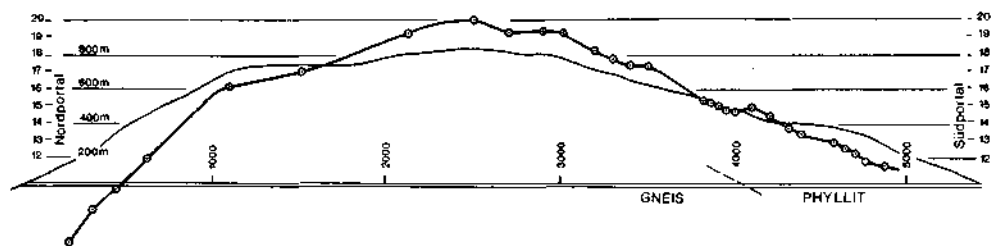


Abb. 3. Temperaturverlauf entlang der Tunnelachse.

Um die praktische Bedeutung solcher Messungen zu zeigen, sei nur erwähnt, daß die Messungen für die Dimensionierung einer Isolierung der im Tunnel verlegten Trinkwasserleitung herangezogen wurden. Die Leitung mußte in den Portalbereichen gegen Frost, in den Zentralbereichen gegen zu hohe Bergwärme isoliert werden.

Ein weiteres Problem, das in erster Linie den Tunnelbau betraf, war die Bestimmung des Temperaturverlaufes in der Peripherie des Tunnels, und hier besonders die Bestimmung der Frostgrenze in einem bestehenden belüfteten Tunnel unter bestimmten Voraussetzungen.

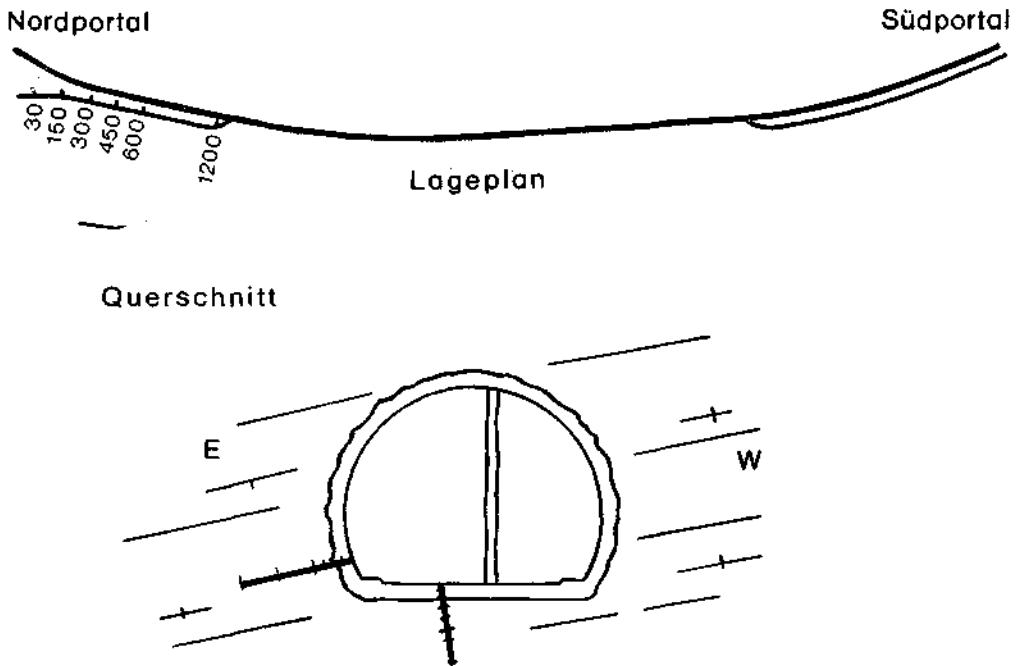


Abb. 4. Lage der Temperatursonden im Grundriß und Querschnitt.

Zu diesem Zwecke bot sich der Lüftertunnel auf der Nordseite des Katschberges (KTN-LT) an. Dieser Tunnel war im Winter 1972/73 nahezu fertiggestellt und wurde bis Ende März für die Bewetterung des parallel laufenden Haupttunnels verwendet.

Dabei wurde mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit von zirka 1,5 m/sec (Schwankungen zwischen 1,4 bis 1,7 m/sec) Luft angesaugt und in den Nebentunnel gedrückt.

Ende März wurde die künstliche Bewetterung nach erfolgtem Durchschlag ersetzt durch eine natürliche Bewetterung, wodurch sich die Richtung der Luftströmung und Geschwindigkeit sehr wechselvoll gestaltete. Das Südportal liegt

bei rund 5,4 km Tunnellänge um 82 m höher als das Nordportal. Durch die Kaminwirkung entsteht unter ähnlichen thermischen Verhältnissen in beiden Portalbereichen ein Luftstrom von Norden nach Süden. Dies trifft besonders in der Nacht und bei regionalem Schlechtwetter zu. Das Nordportal liegt aber meist im Schattenbereich in einer klimatisch kälteren Zone, während des Südportal eine wesentlich höhere Sonnenscheindauer aufweist. Dieser Umstand führt zu einer Umkehr des Luftstromes im Tunnel von Süden nach Norden; dies oft mehrmals am Tag. Die Störmungsgeschwindigkeit erreichte Werte von 0 bis ebenfalls rund 1,5 m/sec.

Der interessanteste Beobachtungszeitraum ist daher die Zeit zwischen Anfang Jänner bis Ende März, erstens weil es die kälteste Periode im Winter 1972/73 war und zweitens aus Gründen einer gleichbleibenden künstlichen Bewetterung.

Für die Messungen wurde bei Station 30, 150, 300, 450, 600 und 1200 m je eine Sonde im Ostulm permanent installiert. Diese Sonden hatten fernablesbare Meßelemente eingebaut, und zwar in Tiefen von 1, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300 cm, so daß der Temperaturverlauf bis 3 m Tiefe abgelesen werden konnte.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurden zusätzlich in der Sohle bei Station 150 und 300 m je eine weitere Sonde bis 2 m Tiefe und ebenfalls acht Meßpunkten eingebaut.

Insgesamt liegen rund 2400 Einzelmessungen vor.

Wenn man die Ansaugeschwindigkeit mit 1,5 m/sec für diese Betrachtungen als ausreichend konstant ansieht und kurzfristig arbeitsbedingte Ausfälle der Lüftung vernachlässigt, dann treten als variable Größe lediglich die täglichen Temperaturschwankungen im Portal = Ansaugbereich auf (siehe Abb. 5).

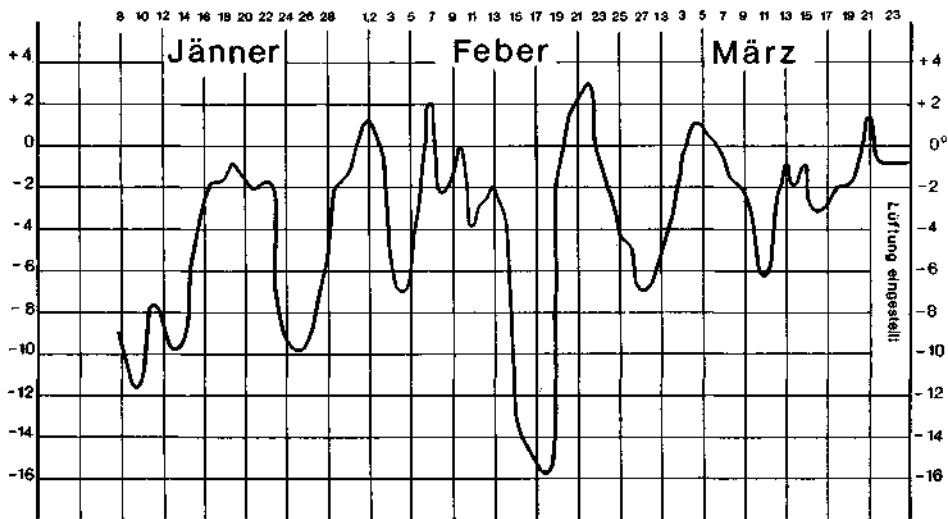


Abb. 5. Außentemperatur im Portalbereich Katschberg-Nord im Zeitraum Jänner bis März 1973.

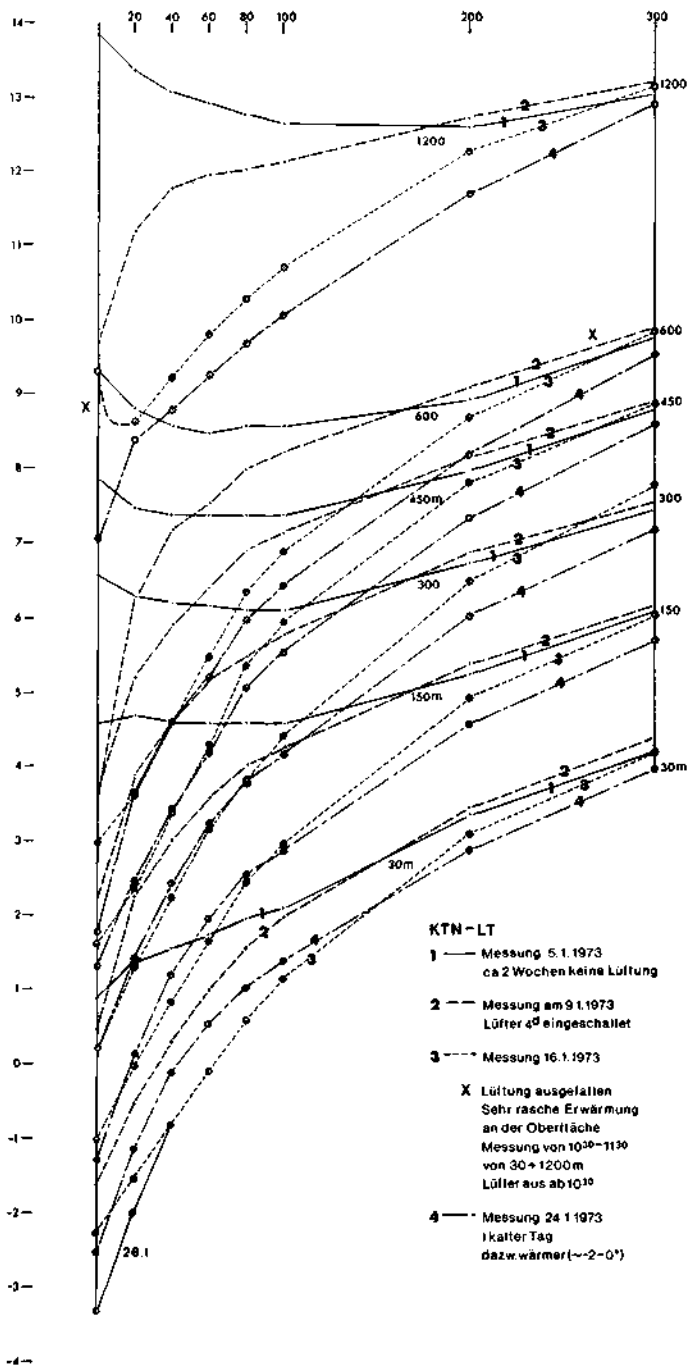


Abb. 6. Ausgewählte typische Temperaturkurven zwischen Station 30 m bis 1200 m und zugeordneter Ulmtiefe von 0 bis 300 cm.

Im Luftstrom erfolgt bei dieser Geschwindigkeit eine rasche Erwärmung der angesaugten Luft mit zunehmender Eindringtiefe. Aber auch an der laminaren Grenzschicht am Ulm waren Temperaturdifferenzen bis zu 2 bis 3° gegenüber der Hauptströmung festzustellen.

Ohne Störung wäre für jede Station ein Gleichgewichtszustand vorhanden, der in erster Linie von der Überlagerung und vom Gradienten dieses Bereiches abhängt. Alle Punkte entlang der Meßstrecke hätten gleiche Temperatur.

Bei Abkühlung oder Erwärmung im Luftstrom beginnen die oberflächennahen Punkte aus der Gleichgewichtslage auszuschwingen — die Störung breitet sich in Form einer Welle fort.

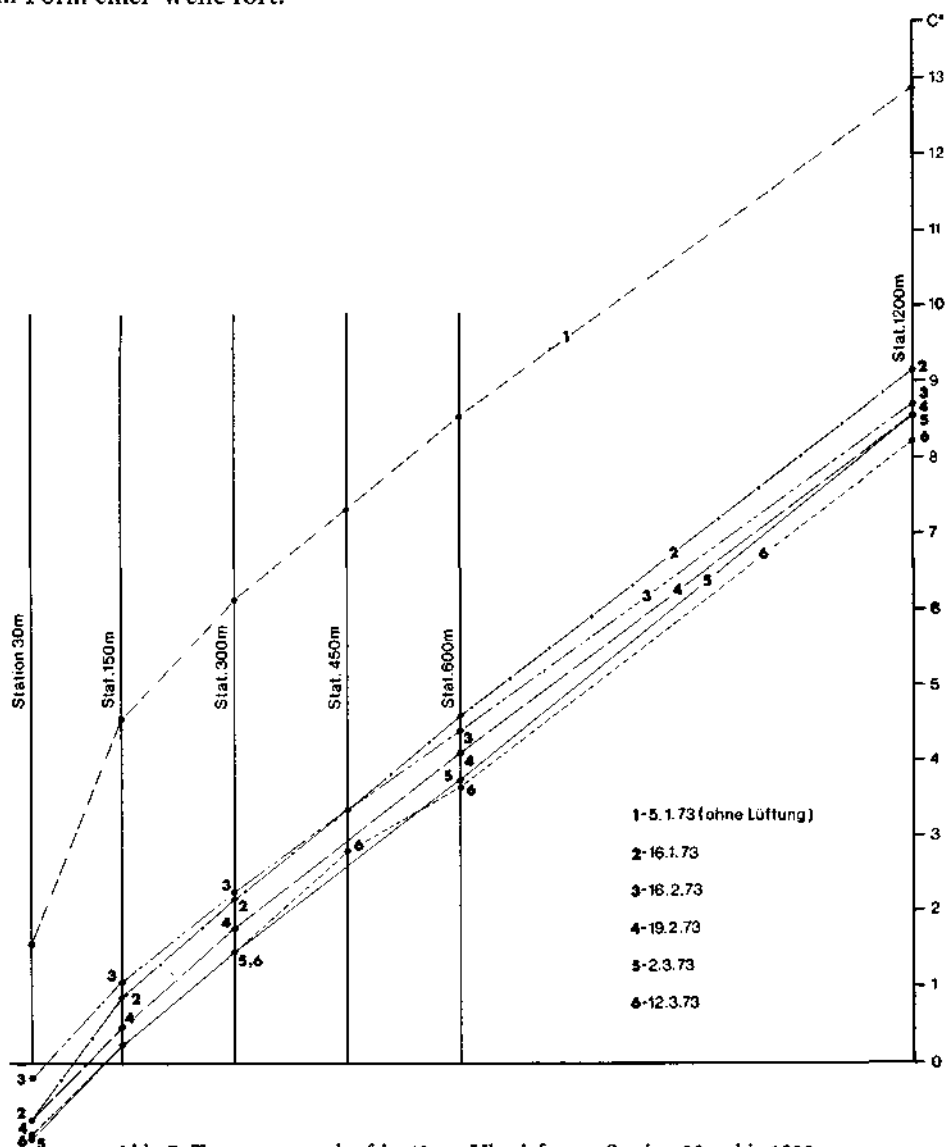


Abb. 7. Temperaturverlauf in 40 cm Ulmtiefe von Station 30 m bis 1200 m.

Station	Temperatur-Grade	Datum 0,4 m	Diff.	Temperatur-Grade	Datum 1 m	Diff.
30 m	min.	- 1,02°	10,90°	+ 0,65°	(2. 3.)	8,13°
	max.	+ 9,88°		(21. 8.)	+ 8,78°	
150 m	min.	+ 0,23°	9,84°	+ 1,98°	(2. 3.)	7,29°
	max.	+ 10,08°		(21. 8.)	+ 9,27°	
300 m	min.	+ 1,51°		+ 3,27°	(2. 3.)	
	max.	+ 9,88°		(5. 7.)	+ 9,08°	
Im Sommer zeitweiliger Ausfall, Max?						
450 m	min.	+ 2,82°	Maximalwerte	+ 4,81°	(20. 3.)	
	max.			?		
600 m	min.	+ 3,72°		+ 5,19°	(2. 3.)	
	max.			Sonde zerstört, Ausfall der weiteren Messungen.		
1200 m	min.	+ 7,82°	5,86°	+ 9,08°	(20. 3.)	4,53°
	max.	+ 13,69°		(21. 8.)	+ 13,61°	

Tabelle 3

Durch die täglichen und stündlichen Schwankungen überlagern sich mehrere Wellenfronten unterschiedlicher Intensität, doch ist hier die Haupttendenz maßgebend für den Kurvenverlauf.

Die tieferliegenden Meßpunkte folgen mit einer Verzögerung und geringerem Ausschlag. Die Verzögerung beträgt rund drei Tage für 1 m Tiefe, rund fünf Tage für 2 m Tiefe und zirka zehn Tage für 3 m Tiefe. Abbildung 6 zeigt den typischen Temperaturverlauf im Ulm an Hand von einigen ausgewählten Messungen im Jänner 1973.

Wenn man gleich tief liegende Punkte in der Längsachse des Tunnels vergleicht, so kommt man zu dem überraschenden Ergebnis, daß man, abgesehen vom unmittelbaren Portalbereich, mit einer nahezu linearen Temperaturzunahme bei zunehmender Stationierung rechnen kann, und zwar auch dann, wenn sich durch gegebene Abkühlung oder Erwärmung die Verhältnisse im Tunnel stark ändern. Das heißt, die Tunnelröhre kühlt oder erwärmt sich zur Gänze im gleichen Maß.

Abbildung 7 zeigt den Temperaturverlauf in der Längsachse für 40 cm tief liegende Meßpunkte. Messung 1 zeigt den „Urzustand“ vor Beginn der Lüftung. Bereits rund zehn Tage später haben sich die Werte bei einem diesem Winter entsprechenden Mittelwert eingependelt und ändern sich wenig während der restlichen Winterperiode.

Aus mehreren ähnlichen Kurven abgeleitet, konnte für den KTN-LT und Winter 1972/73 die größte Frosteindringtiefe ermittelt werden. Sie betrug für

Station	30 m	: 75	cm (2. 3. 1973)
Station	150 m	: 35	cm (12. 3. 1973)
Station	150 m Sohle	: 50	cm (12. 3. 1973)
Station	300 m	: 13	cm (28. 2. und 12. 3. 1973)
Station	300 m Sohle	: 27	cm (12. 3. 1973)
Station	450 m	: 4	cm (12. 3. 1973)
Station	600 m	: 2,5	cm (16. 2. 1973)
Station	1200 m	:	Temperatur an Oberfläche nie unter + 5,85° (20.3)

Temperatur-Grade	Datum 2 m	Diff.	Temperatur-Grade	Datum 3 m	Diff.
+ 2,22°	(20. 3.)	5,75°	+ 3,15°	(26. 3.)	4,20°
+ 7,97°	(10. 9.)		+ 7,35°	(1. 10.)	
+ 3,58°	(20. 3.)	5,39°	+ 4,69°	(26. 3.)	4,01°
+ 8,97°	(10. 9.)		+ 8,70°	(10. 9.)	
+ 5,01°	(22. 3.)	3,60°	+ 6,10°	(26. 3.)	3,60°
+ 8,66°	(5. 7.)		+ 8,42°	(5. 7.)	
			+ 9,70°	(1. 10.)	
+ 6,46°	(22. 3.)		+ 7,59°	(28. 3.)	
?			?		
+ 5,64°	(2. 3.)		+ 8,64°	(12. 3.)	
+ 10,62°	(26. 3.)	3,09°	+ 11,40°	(26. 3.)	2,44°
+ 13,71°	(10. 9.)		+ 13,84°	(10. 9.)	

Die dabei gemessenen Extremwerte für das gesamte Jahr 1973 bewegen sich in folgenden Bereichen.

Diskussion

Die Bestimmung des Temperaturverlaufes in der Tunnelwandung sowie die Ermittlung der Frostgrenze unter gegebenen Bedingungen sind als der Beginn einer exakten Erfassung der thermischen Verhältnisse zu verstehen und erlauben auch Rückschlüsse auf ähnliche Projekte.

Ausschlaggebender Faktor für das Wärmeangebot aus dem Gebirge ist in erster Linie der Gradient und die Überlagerung in dem zu bestimmenden Punkt.

Für die Abkühlung oder Erwärmung zählt in erster Linie die Zeit und die Intensität. Doch geht die Abkühlung je nach Tiefenlage recht langsam vor sich. Für 3 m tiefe Meßpunkte betrug sie im Winter 1973 bei einer Luftgeschwindigkeit von rund 1,5 m/sec nur zirka $\frac{1}{2}^{\circ}$ oder weniger pro Monat, und ebenso langsam erfolgte die Erwärmung. Die ermittelte Frostgrenze lag erstaunlich seicht und, wenn man die Dicke des Ringbetons mit rund 40 cm annimmt, überschreitet die Frostlinie unter den gegebenen Bedingungen ab Station 200 sicher nicht mehr die Dicke des Ausbaues.

Für die nicht sehr tief liegende Frostgrenze gibt es auch in anderen Tunnels Hinweise in der jedem Tunnelbauer bekannten Beobachtung der Eiszapfenbildung im Winter bis etwa Station 600 m. Würde die Frostgrenze tief liegen, könnte kein Wasser zusitzen und das Wachstum der Eiszapfen wäre ausgeschlossen. Bei nicht übermäßig starker Ventilation und nicht zu extrem kalten Außentemperaturen ist die Erwärmung in den anschließenden tieferen Tunnelstrecken so groß, daß es hier nicht mehr zur Eisbildung kommt.

Diese Situation ändert sich natürlich, wenn, wie im Falle KTN-LT, beim späteren Betrieb unter Vollast die Lüftungsgeschwindigkeit auf mehr als das

zehnfache der ersten Beobachtungszeit ansteigen kann. Für diesen Fall gibt es bereits erste grobe Schätzungen für verschieden angenommene Monatsmittel, aber erst die Messungen zu dieser Zeit werden die genauen Werte für solche Extremfälle liefern. Es wird dann ein weiterer Schritt sein, beide Perioden gegenüberzustellen.

Literatur

- BOCK, H.: Vielfache Bruchstrukturen bei einfachen Beanspruchungen — Rechnerische Untersuchungen mit Hilfe der Finite-Element-Methode. — Geolog. Rundschau, Bd. 61, S. 824—849, 1972.
- DWORSCHAK, G.: Vergleich verschiedener Vortriebsmethoden in einer gleichartigen Stollenstrecke bei Auftreten von Gebirgsdruck. — OIZ 114 (12), 196—200, 1969.
- DWORSCHAK, G.: Gebirgsbewegungen in einem unter Gebirgsdruck stehenden Stollen. — Rock Mechanics 2, 101—111, 1970.
- EXNER, CH.: Das Ostende der Hohen Tauern zwischen Mur- und Maltatal (I. Teil). — Jahrb. Zweigst. Wien, Reichsstelle Bodenf., 89, 1937.
- EXNER, CH.: Das Ostende der Hohen Tauern zwischen Mur-Maltatal (II. Teil). — Mitt. Reichsstelle Bodenf. Zweigst. Wien, 1, 1940.
- EXNER, CH.: Geologische Beobachtungen in der Katschbergzone. (Das Ostende der Hohen Tauern zwischen Mur- und Maltatal, III. Teil). — Mitt. Geol. Ges. Wien, 35, 1942.
- EXNER, CH.: Vom Katschbergpaß zum Kareckhaus (Exkursionsführer). — Carinthia II, 63 Klagenfurt 1953.
- EXNER, CH.: Geologie der peripheren Hafnergruppe (Hohe Tauern). — Jahrb. Geol. B.-A., Bd. 114, S. 1—119, H. 1, Wien 1971.
- FRIEDRICH, O. M.: Zur Geologie der Goldlagerstättengruppe Schellgaden. — Berg- u. Hüttenmännisches Jb., 83, Wien 1935.
- FRIEDRICH, O. M.: Die Goldlagerstätte Schellgaden. — Carinthia II, 143, Klagenfurt 1953.
- GATTINGER, T. E.: Geologie und Baugeschichte des Schneepalpenstollens der I. Wiener Hochquellenleitung. — Abh. Geol. B.-A., 1973, Bd. 30, 60 Seiten, 52 Abb., 7 Beilagen, Wien 1973.
- HERBECK, H.: Die Tauern-Scheiteltunnel-Vortriebsarbeiten. — Sonderdruck aus PORR-Nachrichten Heft 50/51 zu: Österreichischer Bergbautag April 1972 in Baden/Wien.
- KASTNER, H.: Statik des Tunnel- und Stollenbaues. — Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1971.
- LAUFFER, H.: Die neuere Entwicklung der Stollenbantechnik. — OIZ, 105, H. 1, 1960.
- MÜLLER, L.: Der Felsbau, Ferd. Enke Verlag, Stuttgart 1963.
- OXBURGH, E. R.: Structural, Metamorphic and Geochronological Studies in the Reisseck and Southern Ankogel Groups, the Eastern Alps. — Jahrb. Geol. B.-A., Bd. 114, S. 121—272, H. 2, Wien 1961.
- RABCEVICZ, L. v.: The New Austrian Tunneling Method. — Water Power, December 1964, January 1965.
- RABCEVICZ, L. v.: Die Neue Österreichische Tunnelbauweise. — Der Bauingenieur, 40. Jg., H. 8, S. 289—301, 1965.
- RABCEVICZ, E. v.: Stability of tunnels under rock load. — Water Power, June, July and August, 1969.
- RABCEVICZ, L. v. et al.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, Teil I, II. Der Bauingenieur, 47. Jg., H. 7, S. 225—234, 278—287, Springer Verlag 1972.
- WEISS, E. H.: Baugeologische Prognose über die Untergrundverhältnisse im Bereich des Katschbergtunnels. — Unveröffentlichtes Gutachten 1970.

