

Geologie des Wartstein-Straßentunnels, Umfahrung Mattsee (Land Salzburg)

VON RUDOLF VOGELTANZ *)

Mit 6 Abbildungen

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 64

Schlüsselwörter

Salzburger Becken	Helvetikum
Paläogen	Gebirgsklassifikation
Quartär	Tunnelbaugeologie
Wartstein	Salzachvorlandgletscher

INHALT

Zusammenfassung	279
Summary	279
1. Einleitung	280
2. Technische Daten	280
3. Geologische Beschreibung	282
3.1. Übersicht	282
3.2. Stratigraphische Einzelbeschreibung	283
3.3. Bergwasser	288
4. Gebirgsklassifizierung	288
5. Kontrollmessungen	289
6. Ausbruchsmaterial	290
7. Planung und Bauausführung	290
8. Dank	290
Literatur	290

Zusammenfassung

Der in den Jahren 1975—1976 gebaute, 186 m lange Wartstein-Straßentunnel erschloß ein geologisches Profil im Südhelvetikum von Salzburg von den paleozänen Oichinger Schichten bis zum höher eozänen Stockletten. Es erbrachte als wesentlichstes Ergebnis genaue Mächtigkeitsangaben der im einzelnen bereits vorher bekannten Schichtglieder sowie Beiträge zur pleistozänen und postglazialen Geschichte des Wartsteins. Bezüglich der Gesteinsmächtigkeiten wird auf den Abschnitt 3.2 verwiesen. Der als Härtling vom pleistozänen Salzachvorland-Gletscher modellierte Wartstein war im Postglazial noch von Moränen bedeckt und verdankt seine heutige Erscheinung im Landschaftsbild späterer fluviatiler Überarbeitung. Da der Straßentunnel den bisher größten Fels Hohlräum im Helvetikum von Salzburg darstellt, werden die einschlägigen baueologischen und tunnelbautechnischen Erfahrungen mitgeteilt.

Summary

The „Wartstein Tunnel“ near Mattsee N Salzburg, Austria, opened a geological cross-section of 186 m in length which reaches from the „Oichinger Schichten“ (Paleocene) to the „Stockletten“ (Upper Eocene) in the Helvetic Zone. Wartstein Hill is built up by more resisting rocks against weathering

*) Anschrift des Verfassers: Reg.-Baurat Dr. RUDOLF VOGELTANZ, Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. VI/Geol. Dienst, Michael-Pacher-Str. 36, A-5020 Salzburg.

(limestones, calcarenites, sandstones and oolites) than those which build up the flat surrounding and consist of shales and glacial debris from the „Würm“. It has been prepared by glacial and fluvial erosion to its significant shape of today. Also the tunneling methods and experiences are referred in this paper.

1. Einleitung

Die Trassierung der Ortsumfahrung von Mattsee durch die Mattseer Landesstraße (L 101) erforderte zwischen km 19.884 und km 20.070 die Durchquerung des 567 m hohen Wartsteins durch einen 186 m langen Tunnel. Der Wartstein ist eine ca. 700 m lange und ca. 80 bis 100 m breite, etwa in WNW—ESE streichende Rippe aus Gesteinen des Südhelvetikums, die sich als Härtling zwischen 30 und 50 m hoch über ihre

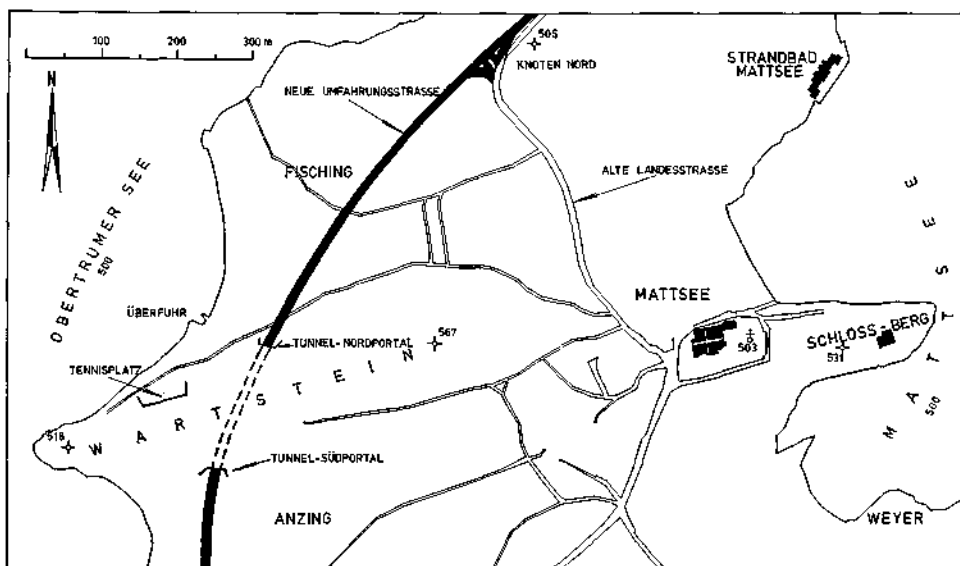


Abb. 1: Lageskizze der neuen Umfahrungstraße der Mattseer Landesstraße mit dem Wartstein-Tunnel

Umgebung aus sanft hügeligem Moränenland erhebt (Abb. 1). Im Westen fällt der Wartstein mit geringem Vorland steil zum Obertrumer See ab, im Osten läuft er in die tektonisch vorgezeichnete Senke aus, in welcher der Markt Mattsee liegt und die weiter östlich vom Schloßberg begrenzt wird, der ebenfalls aus südhelvetischen Gesteinen besteht (Abb. 2). Seine markante Geländeform verdankt der Wartstein der selektiven Modellierung durch den pleistozänen Salzach-Vorlandgletscher und nachträglicher fluvialer Überarbeitung, da er, im Vergleich zu seiner Umgebung aus Lockermassen und weichen Felsgesteinen des Nordhelvetikums und der Flyschzone, aus widerstandsfähigen Sandsteinen, Kalksandsteinen und Kalken besteht. Seine Längsachse folgt annähernd dem Streichen der steil südfallenden Gesteinsschichten.

2. Technische Daten

Die Tunneltrasse ist 186 m lang und verläuft in einem Kreisbogen ($R = 700$ m) und im Bereich einer Kuppe ($R = 9000$ m), deren Scheitel etwas nördlich der Tunnelmitte

liegt. Die Fahrbahn steigt von Süden mit 1,985% und fällt gegen Norden mit 1,167%. Der Ausbruchsquerschnitt des Hufeisenprofils beträgt rund 88 m^2 (ohne Sohlgewölbe) und ca. 93 m^2 (mit Sohlgewölbe), seine theoretische Höhe ca. 9 m und seine Breite ca. 14 m. Das Gelände erforderte je einen 90 bzw. 20 m langen Voreinschnitt im Süden bzw. Norden. Der Ausbruch erfolgte in einer 126 m langen Strecke bergmännisch und in einer ca. 34 m langen Strecke im Süden bzw. 25 m langen Strecke im Norden in offener Bauweise mit nachträglicher Einschüttung der Tunnelröhre. Im Süden wurde auf einer Strecke von ca. 38 m und im Norden von ca. 16,5 m ein Sohlgewölbe eingebaut.



Abb. 2: Der Wartstein (rechts) und seine niedrigere Fortsetzung, der Schloßberg (links), von Osten gesehen. Beide Hügel sind durch eine annähernd nordsüdstreichende Querstörung gegeneinander etwas versetzt

Der bergmännische Vortrieb erfolgte nach der Neuen österreichischen Tunnelbauweise (RABCEWICZ & SATTLER, 1965) in zwei Etappen (Kalotte + Strosse), wobei zur Gebirgssicherung ca. 425 m^3 Spritzbeton mit einer theoretischen Stärke von 10 bis 15 cm (Gebirgsklassen II—IV) bzw. 25 cm (Gebirgsklasse V), etwa 900 Felsanker (Längen 3—9 m) und rund 18 t Stahlbögen aufgewendet wurden. Pro Laufmeter Tunnel wurden 7 Anker eingebaut. Die Sprengarbeit erfolgte mit Gelatine-Donarit 1, der spezifische Sprengstoffverbrauch schwankt je nach Gesteinsart zwischen $0,4 \text{ kp/m}^3$ (im Stockletten) und $1,5 \text{ kp/m}^3$ (in den Roterzschichten i. e. S.) und beträgt im Mittel $0,9 \text{ kp/m}^3$. Die Klüftigkeit des Gebirges erforderte eine Vollisolierung der Tunnelröhre mit einer PVC-Folie. Bei der Isolierung der bergmännischen Strecke fand dabei ein Kunststoff-Vlies als Schutz gegen den rauen Spritzbeton Anwendung; bei der Isolierung der eingeschütteten Tunnelröhre wurde die Folie zwischen zwei Vlies-Lagen

gebettet, wodurch der Schutz gegen kantige Komponenten des Hinterfüllungsmaterials gewährleistet war.

Der ca. 20 m hohe Voreinschnitt Süd lag zur Gänze im Stockletten. Er wurde im Bauzustand mit 1:1 geböschet und durch armierten Spritzbeton gesichert, der mit 3 m langen Ankern verhängt wurde; im Firstbereich der Tunnelröhre waren einige 9 m lange Vorspannanker zusätzlich erforderlich, um bei dem steilen Südfallen der Bankung ein Abgleiten einzelner Schichtpakete zu verhindern. Der ca. 12 m hohe Voreinschnitt Nord lag im Hangschutt- und Bergsturzmaterial und wurde durch Wände aus 32 Ortbeton-Bohrpfählen \varnothing 90 cm bis zu 18 m Länge für den Bauzustand abgestützt. Die Pfähle wurzeln z. T. in den Oichinger Schichten und z. T. in den hohlraumreichen Lockermassen.

3. Geologische Beschreibung

3.1. Übersicht

Die Tunnelstrecke verläuft zu 60% im Fels, zu 8% in Lockermassen und zu 32% als vorgezogener Ringbeton unter der Einschüttung. In die geologische Beschreibung wird auch das nördliche Vorland des Wartsteins bis zum neuen Überführungsbauwerk einbezogen, d. s. ca. 70 m vom Nordportal in Straßenachse gemessen. Für die Gründung dieses Bauwerkes wurden im Jahre 1974 vier Aufschlußbohrungen abgestoßen und vom Verf. baugeologisch ausgewertet.

Der Fels besteht aus insgesamt 13 verschiedenen Schichtgliedern, bei denen es sich um Meeresablagerungen des Paleozäns und des Eozäns (Alttertiär, ca. 40–50 Jahrmillionen alt) handelt. Sie sind Tonmergel, Kalkmergel, Kalke, Kalksandsteine, Sandsteine und Sandmergel und werden im folgenden Abschnitt näher beschrieben.¹⁾ Die Raumlage der Gesteinsschichten ist generell ein steiles Einfallen mit ca. 60–70° gegen SSE, wodurch sich beim Tunnelvortrieb²⁾ von Süden ein noch günstiger Anfahrtswinkel von ca. 55° ergab. Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder schwanken zwischen 0,5 und mindestens 100 m. Das Gebirge ist stark geklüftet, u. zw. nach 6 Hauptklüftsystemen (Abb. 3), die meist engschurig ($d = 0,2–1,5$ m) und mit Ausbissen über die gesamte Tunnelleibung ($x_e = 70–100\%$) im Verein mit der vor allem im Stockletten, in den Schwarzerzschichten und im Unteren Lithothamnienkalk engschurigen Bankung eine starke Zerlegung des Gebirges in Klüftkörper zwischen 0,1 und ca. 5 m³ Volumen bewirken. In den Roterzschichten i. e. S. traten etwa ab Tunnelstation 96 große, lehmgefüllte Horizontalklüfte auf, die durch die Aufschlußbohrungen zwar teufenmäßig, aber nicht ihrer Raumlage nach erfaßt werden konnten. Eine optische Sondierung wäre hier zweckmäßig gewesen. Der Abb. 3 liegen die folgenden häufigen Raumlage-Daten zu Grunde:

ss: 155/66, 165/70, 180/60
k₁: 010/65
k₂: 175/45, 220/40, 245/28, 250/30
k₃: 355/56
k₄: 340/60
k₅: 070/84
k₆: 130/85

¹⁾ Die Gesteine der Helvetischen Zone oder des Helvetikums ziehen von der Schweiz bis nach Niederösterreich am Nordrand der Alpen entlang. Der Wartstein stellt einen in der geologischen Fachliteratur seit mehr als einem Jahrhundert mehrmals beschriebenen, wichtigen Aufschluß in dieser Gesteinszone dar.

²⁾ Die Tunnelstationierung war von Süd nach Nord gerichtet.

Die Lockermassen bestehen aus 5 verschiedenen Bodenarten. Im Südportalbereich durchörtert der Tunnel autochthone Verwitterungslehm des Stocklettens, im Nordportalbereich sandig-blockigen Hangschutt und Bergsturzmaterial der Roterzschichten und des Unteren Lithothamnienkalks. Bei Tunnelstation 151,50 wurde auf Unterbausohle fluvialer Flysch-Schotter angeschnitten (Abb. 4). Das nördliche Vorland besteht aus Grundmoräne, Schottern und Sanden.

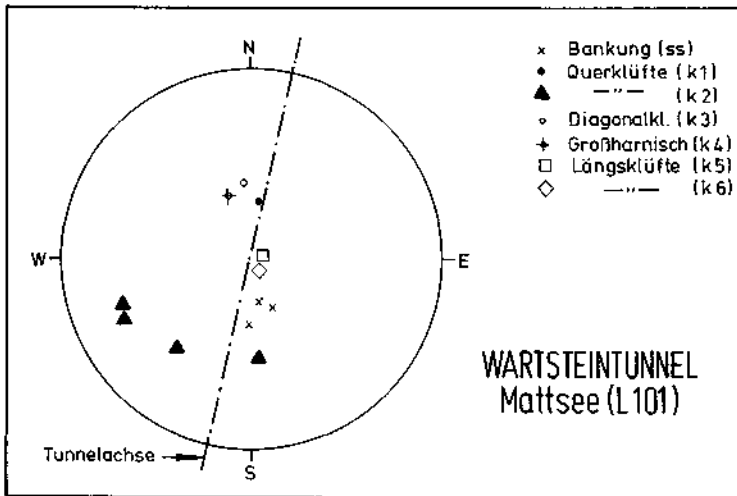


Abb. 3: Gefügediagramm nach dem SCHMIDT'schen Netz mit den wichtigsten Gefüge-Elementen im Tunnel. Erläuterung im Text

3.2. Stratigraphische Einzelbeschreibung

Dem Holozän zuzuordnen sind die in der Abb. 6 mit (1) und (15) bezeichneten Bodenarten. Der Hanglehm (1) ist ein dunkelbraunes bis rötlichgelbes Verwitterungsresiduum des Stocklettens (2) (3) und weist eine Mächtigkeit bis zu 3,5 m auf. Seine Unterkante verläuft geländeparallel. Das Hangschutt- und Bergsturzmaterial (15) im Nordportalbereich besteht aus rötlich-gelbem Sand, in dem z. T. Riesenblöcke bis zu 10 m³ Volumen aus Unterem Lithothamnienkalk (11) und Roterzschichten i. e. S. (8) schwimmen (Abb. 4). Der Sand ist das Verwitterungsprodukt der Roterzschichten i. w. S. (9) und ist z. T. schräg bis sölhlig geschichtet. In der Umgebung der Bergsturzblöcke weist er Hohlräume mit Öffnungsweiten vom cm- bis in den dm-Bereich auf. Er besitzt keine Kohäsion und erwies sich bei versuchsweisen Vorinjektionen zur Gebirgsstabilisierung als stark hygroskopisch. Da er der Zementsuspension rasch das Wasser entzog, war eine ausreichende Injektion nicht möglich. Der Bergsturz (die Bergstürze?) dürfte mit dem Abschmelzen des Gletschers, dem Wegfall des stützenden Widerlagers für die steile Nordwand des Wartsteins und der damit verbundenen Hangentlastung zusammenhängen, wie dies auch weiter im Westen bei der Frauengrube südlich Kreisbach am Haunsberg (Oichtental) beobachtet werden kann (TRAUB, 1953; KIESLINGER, 1964, S. 69; KLAPPACHER & MAIS, 1975, S. 290). Teilweise dürfte auch eine fluviale Unterschneidung des Berges eine Rolle gespielt haben (siehe weiter unten); daß es sich jedenfalls nicht um glazialen Abschurf der Riesenblöcke sondern um Bergzerreißung handelt, geht daraus hervor, daß die Blöcke keinerlei

Schliff zeigten, daß zwischen ihnen nur Material des Wartsteines vorhanden war und daß die gesamte Blockschuttmasse auf dem postglazialen Wildbachdelta (17) (18) bzw. der Würm-Moräne (16) liegt.

Dem Postglazial entstammen die mit (17) und (18) bezeichneten Bodenarten. Es handelt sich um sandig-schluffigen Schotter (18) und schluffige Fein- bis Grobsande (17) in verzahnder Lagerung, die durch lokale Wildbäche von Süden her



Abb. 4: Blick vom Nordportal gegen Norden (Dezember 1975). Im Vordergrund gut gerundeter Flysch-Schotter auf Unterbausohle, im Hintergrund riesige Bergsturzböcke aus Roterzschichten i. e. S. und Unterem Lithothamnienkalk

als Delta in den postglazialen Obertrumer See geschüttet wurden. Das mäßig bis gut gerundete Korn des Schotters, das maximale Durchmesser von 25 cm erreicht, besteht fast ausschließlich aus Flysch-Sandstein und enthält keine Komponenten des Helvetikums. Dies bedeutet, daß die heute so ausgeprägte Mulde zwischen Helvetikum und Flysch im Süden des Wartsteins bei Anzing (Abb. 2) im Postglazial bis mindestens etwa Kote 570 mit Moräne aufgefüllt war und daß der Wartstein erst nach und nach durch fluviatilen Abtrag der Moräne herauspräpariert wurde. Dafür spricht auch die

mit umgelagertem zentralalpinem Moränenmaterial gefüllte Karstspalte (16) an der Grenze zwischen den Roterzschichten i. e. S. (8) und i. w. S. (9), die bei Tunnelstation 108 ca. 115 m vom Südportal entfernt angefahren wurde. Die interglazial entstandene, ca. 1 m breite Spalte war mit schluffigem Sand, gekritzten Geschieben aus rosa Kalk (ähnlich Kalken des Radstädter Mesozoikums, TRAUTH 1925) und Serpentin sowie fluviatilen Flyschsandsteingeröllen gefüllt³⁾.

Dem pleistozänen (würmzeitlichen) Salzach-Vorlandgletscher des Trumer-See-Zweigbeckens (DEL-NEGRO in: EBERS et al., 1966, S. 159) verdankt die den Oichinger



Abb. 5: Bohrpflahlwand zur Hangsicherung im Voreinschnitt Nord, vor Tunneldurchschlag. Über den Pfählen sind Bergsturzböcke aus Roterz sichtbar, die in kohäsionslosem Sand (Verwitterungsprodukt der Roterzschichten i. w. S.) schwimmen

Schichten (14) auflagernde, ca. 5 m mächtige Grundmoräne (16) im Norden des Wartsteins ihre Entstehung, die als Rest der einstmals mächtigeren Moränenbedeckung unter den fluviatilen Ablagerungen (17) (18) und den Bergsturzmassen (15) begraben ist. Sie wurde nur in den Bohrungen nachgewiesen und ist ein sehr dicht gelagertes, zähes Gemenge aus Feinkies bis zu Grobsteinen in schluffiger Grundmasse.

³⁾ Als Besonderheit sind auch zwei alpine Bergkristalle mit nahezu unbeschädigten Kanten zu erwähnen, die vom Tunnelbauleiter Ing. H. SALZMANN geborgen wurden. Der größere Kristall hat ein Gewicht von 2 kp und wurde in verständnisvoller Weise von Herrn Ing. SALZMANN dem „Haus der Natur“ in Salzburg übergeben.

Der Tunnel durchörtert in der Felsstrecke das zuletzt von VOGELTANZ (1970) beschriebene, in Geologenkreisen altberühmte „Wartstein-Profil“ vom Höheren Eozän bis ins Paleozän (Thanet) von Süden nach Norden in folgender Weise: der mindestens 40 m mächtige Stockletten (3) des Höheren Eozäns ist oberflächlich geländeparallel ca. 4 m gelblich verwittert (2). Laut Laborbefund der Bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (1974) weist der verwitterte Stockletten (2) einen natürlichen Wassergehalt von 7% und eine gewichtsbezogene Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck von 10,5%, der frische Stockletten (3) einen natürlichen Wassergehalt von 4% und eine Wasseraufnahme von 6—7% auf. Letzterer ist ein hellgrauer Tonmergel mit kleinbankigem und kleinklüftigem Gefüge⁴⁾. Der ca. 0,5 m mächtige basale Stockletten (4) ist als schwarzer Mürbsandstein bis Sandmergel mit reichlicher Führung von Haiisch-(*Carcharodon*-)Zähnen entwickelt. Er dünnte an den Ulmen des Tunnels abwärts stark aus und war an der Sohle nicht mehr zu erkennen. Die Fossilschicht (5) des Mitteleozäns (Lutét 1) liegt in der von St. Pankraz am Haunsberg bekannten Entwicklung (TRAUB 1953) als makrofossilreicher, glaukonitischer Mergel von 0,5—0,8 m Mächtigkeit vor. Neue paläontologische Funde wurden durch den Tunnelvortrieb nicht bekannt. In den Schwarzerzschichten (6) kommen alle sechs von VOGELTANZ (1970, S. 387) in St. Pankraz festgestellten Mikrofazies-Typen vor, d. s. vom Hangenden zum Liegenden: Discocyclinen-Kalkarenit, Limonit-Oolith, Subsolutions-Kalkarenit, Nummuliten-Echinodermen-Kalkarenit, Operculinen-Kalkarenit und Assilinen-Kalkarenit. Häufigstes Makrofossil war der kennzeichnende große Seeigel *Conoclypeus conoides* LESKE. Die Gesamtmächtigkeit der Schwarzerzschichten beträgt rund 10 m.

Mit kontinuierlichem, sedimentärem Übergang folgen im Liegenden gegen Norden die 12—14 m mächtigen Mittelschichten (7), die als feste, mäßig geklüftete, dunkelgrüne Quarzsandsteine ausgebildet sind und dem Mikrofazies-Typ Mi 1 (VOGELTANZ 1970, S. 392) angehören. In den obertägigen Aufschlüssen (z. B. am Tennisplatz westlich des Nordportals) sind die Mittelschichten gelb oxidiert. Im Liegenden folgen mit deutlicher, aber kontinuierlich-sedimentärer Schichtgrenze die ca. 30 m mächtigen Roterzschichten i. e. S. (8) mit der vom Verf. (1970, S. 387) festgestellten Abfolge von Mikrofazies-Typen. Im wesentlichen handelt es sich um rotbraune bis rötlichgraue, dickbankige Kalksandsteine mit leicht unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften (bedingt durch die wechselnde Zementation der klastischen Komponenten mit Kalkspat-Grundmasse). Die kontinuierlich-sedimentäre Schichtgrenze zwischen Roterzschichten i. e. S. (8) und Roterzschichten i. w. S. (9) tritt im Gelände als ca. 6 m hohe Steilstufe am Nordabhang des Wartsteins hervor. Sie ist in der auf S. 285 beschriebenen Weise z. T. karstartig erweitert. Die Roterzschichten i. w. S. (9) sind 15 bis 16 m mächtig und als tiefgründig verwitterte, rötlichgelbe Mürbsandsteine entwickelt. Nach ihrer Mikrofazies sind sie den Mittelschichten von St. Pankraz sehr ähnlich, d. h. kaum verkittet (Mi 2 in: VOGELTANZ 1970, S. 392). Eine etwa 80 cm mächtige Bank von basalem Roterz (10) grenzt sie im Liegenden gegen das Paleozän ab.

⁴⁾ Am 3. 11. 1975 konnte der Stockletten in der Baugrube des neuerrichteten Hauses Leimgruber (Salzburger Straße 31, gegenüber Kapitelwirt) in Mattsee unmittelbar unter Gelände vom Verf. festgestellt werden. Herr Dr. M. E. SCHMID (Geologische Bundesanstalt Wien) entnahm im Jahre 1975 mehrere Proben aus dem Stockletten im Voreinschnitt Süd des Wartstein-Tunnels und teilte mit litt. 23. 2. 1976 dem Verf. in dankenswerter Weise den folgenden mikropaläontologisch-stratigraphischen Befund mit: „Die Proben (SE 272—284) sind in das tiefere Obereozän (etwa Zone mit *Globigerapsis mexicana*) einzustufen. Von Herrn Dr. H. STRADNER (Geol. B.-A.) untersuchte Nannoproben ergaben — soweit es möglich war — eine Einstufung in die Zone NP 19, ein Resultat, das mit dem Foraminiferenbefund in Einklang steht“.

Das basale Roterz ist ein geröllreicher dunkelbrauner Kalksandstein mit reichlicher Führung von vererzten und umgelagerten Lithothamnien-Thalli und stellt den Transgressionshorizont nach einer Schichtlücke zwischen Paleozän und Eozän dar.

Der Untere Lithothamnienkalk (11) des Ilersds ist 18 bis 20 m mächtig und hauptsächlich als dünn- bis mittelbankiger, z. T. flaseriger, hellgrauer Schuttkalk entwickelt. Nur vereinzelt waren Kalkalgen-Bryozoen-Bänke in Form von zwischenlagerten, schmalen Linsen von 10 bis 20 cm Mächtigkeit feststellbar. Das biogenreiche Sediment ist stark klüftig, wobei im Liegenden gegen Ende der Tunnelstrecke vor allem die Längs- und Diagonalklüfte k_2 dominieren. Sie sind in der Tunnelstrecke großteils erosiv aufgeweitet und lehmgefüllt, was eine eklatante Reduzierung der Gebirgsgüte mit sich brachte (vgl. Abb. 6). Die Gryphaeenbank (12) mit massenhaft vorkommenden Schalen von *Pycnodonta frauscheri* TRAUB und *P. pseudo-vesicularis* GÜMBEL war nur etwa 1 m, der graubraune Craniensandstein (13) mit dem Brachiopoden *Crania austriaca* TRAUB nur ca. 0,5 m mächtig. An diese, in der Beilage aus Maßstabsgründen als ein gemeinsamer Horizont ausgeschiedenen Gesteine schließen gegen Norden im Liegenden die Oichinger Schichten (14) an, die als dunkelgrüne Glaukonitsandsteine und -mergel von mindestens 100 m Mächtigkeit in Aufschluß- und Pfahlbohrungen nachgewiesen wurden. Sie reichen nach GOHRBANDT (1963) vom Obermaastricht bis ins Thanet. ABERER & BRAUMÜLLER (1958, S. 7) wiesen sie noch beim Knoten Nord der alten und der neuen Mattseer Landesstraße (Kote 505, Abb. 2) beim Kanalbau nach, der Verf. stellte sie in Röschen für den Straßenbau direkt am Seeufer nördlich Kote 505 fest (Abb. 1).

3.3. Bergwasser

Infolge der geringen Gebirgsüberlagerung von maximal 32 m, der starken Klüftung des Gebirges und der Vorflut in den Obertrumer See (Tunnelsohle ca. auf Kote 510, Seespiegel auf Kote 500) wurde während des Tunnelvortriebs kein nennenswertes Bergwasser angetroffen. Die Spritzbetonauskleidung wies nur wenige Feuchtstellen auf, die durch Sickerwässer nach Niederschlägen verursacht wurden. Das bleibende Wasserdargebot aus der Tunnel Drainage liegt zwischen 0 und 0,2 l/s. Die auf S. 281 beschriebene Tunnelisolierung dient daher nur dem Schutz gegen diese episodischen Sickerwässer. Eine Vergütung des Ringbetons mit einem Schutzmittel gegen betonaggressive Wässer war nur in den unmittelbaren Portalbereichen gegen Huminstoffe erforderlich.

4. Gebirgsklassifizierung

Die Gebirgsklassifizierung erfolgte nach dem Schema von RABCEWICZ-PACHER (in: PACHER et al., 1974) durch den Firmenbauleiter im Einvernehmen mit der staatlichen Bauleitung und dem Projektanten. In der Ausschreibung waren auf Grund des baueologischen Vorgutachtens des Verf. die Gebirgsklassen I bis V vorgesehen, wobei die bauausführende Firma für die Klassen I bis IV einen Mischpreis zu kalkulieren hatte, die Abrechnung jedoch nach dem tatsächlichen Aufschluß erfolgte. Für die baueologische Vorerkundung und die sich daraus ableitende Vorklassifizierung durch den Projektanten waren insgesamt 7 CRAELIUS-Kernbohrungen mit einer Gesamtlauflängenzahl von rund 188 m durchgeführt worden, deren Kosten etwa 5% der Gesamt-Tunnelbaukosten betragen. Es stellte sich heraus, daß die Vorklassifizierung insgesamt etwas zu optimistisch war, da das Gebirge entgegen seiner in den reichlich vorhandenen obertägigen Aufschlüssen bewiesenen Standfestigkeit im Tunnel infolge seiner starken Klüftigkeit und der durch die Sprengarbeit verbundenen Auflockerung

stärker nachbrüchig war. Die erforderliche Sicherheit für die Vortriebs- und Schuttermannschaften gebot es daher, den Fels durch Stützmaßnahmen mindestens der Gebirgsklasse II zu sichern. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die im Tunnel vorhandenen Gebirgsklassen.

Gebirgsklasse	Anteil an der Tunnelstrecke in %	Gesteine
II	47,5	Roterz i. e. S., Mittelschichten, Schwarzerz z. T.
III	12,4	Roterz i. w. S., Unterer Lithothamnienkalk z. T.
IV	18,7	Stockletten z. T., Schwarzerz z. T., Unterer Lithothamnienkalk z. T.
V	21,4	Bergsturz u. Hangschutt, Stockletten z. T. Unterer Lithothamnienkalk z. T.

Die Ausbaumaßnahmen für die einzelnen Gebirgsklassen waren die folgenden:

Gebirgsklasse II: 10 cm Spritzbeton, Baustahlgitter AQ 50, Systemankerung der Firste (SN-Anker, 3 m lang, 10 t Vorspannung). Im Grenzbereich zu den Roterzschichten i. w. S. (9) traten an den Ulmen in den Roterzschichten i. e. S. (8) die auf S. 282 erwähnten, lehmgefüllten Horizontalklüfte mit einer Länge von über 10 m auf, die eine zusätzliche Einbringung von 3 m langen Ankern im Abstand von 2 m in Reihen ober- und unterhalb der Klüfte erforderten (diese Strecke wurde in der Abb. 6 mit „II b“ bezeichnet).

Gebirgsklasse III: 10 cm Spritzbeton, Baustahlgitter AQ 50, Systemankerung von Firste und Ulmen (SN-Anker, 4 m lang, 10 t Vorspannung).

Gebirgsklasse IV: 15 cm Spritzbeton, Baustahlgitter AQ 50, Verzugseilern 2 \varnothing 12, Systemankerung des gesamten Profils (SN-Anker, 4–6 m lang, 10 t Vorspannung). In den Strecken in der Fossilschicht (5), im Unteren Lithothamnienkalk (11) und im Hangschutt (15) waren Stahlbögen THÖ 21 erforderlich. Teilweise wurde ein Sohlgewölbe hergestellt.

Gebirgsklasse V: Sohlgewölbe, 25 cm Spritzbeton, Baustahlgitter AQ 50, Längsarmierung A 120, Stahlbögen THÖ 21, Stollendielen $d = 4$ mm, Systemankerung von Firste und Ulmen (120 Stk. Ramminjektionsanker, 4 m lang, 25 t Bruchlast), Verzug der Ortsbrust mit Spritzbeton. Im Hangschutt (15) brach beim Sprengen der Bergsturzblöcke das Korngerüst des sandigen Zwischenmittels zusammen, sodaß auch für den Bauzustand keine Kohäsion beansprucht werden konnte.

5. Kontrollmessungen

Die geomechanischen Kontrollmessungen wurden während des Vortriebs und nach erfolgtem Durchschlag an 6 Meßquerschnitten mit 16 Konvergenzbolzen und 6 Einfach-Stangen-Extensometern durchgeführt, wobei insgesamt 35 Konvergenzstrecken beobachtet wurden. In der Pfahlwand am Nordportal wurden 2 Kraft-Meßteller eingebaut. Die maximale Firstensenkung betrug im Stockletten bei Station 33 ca. 5 mm, die maximale Ulmenkonvergenz bei derselben Station 12,8 mm. Die Deformationen in Roterz-, Mittel- und Schwarzerzschichten blieben unter 2 mm.

Bei der Messung der Sprengerschüttungen während des Vortriebs wurde in den Rot- und Schwarzerzschichten in einem Wohnhaus, das 17 m von der Tunnelachse entfernt liegt, eine maximale Schwinggeschwindigkeit von 2,1 mm/s festgestellt. Dieser niedrige Wert ist auf die Dämpfung der Erschütterungswellen durch das Klufnetz zurückzuführen.

6. Ausbruchmaterial

Der Stockletten erwies sich in den Voruntersuchungen wegen seiner hohen Kapillarfeuchtigkeit als schlecht einbaufähig. Blöcke von 2—3 m³ Volumen zeigten nach mündl. Mitteilung von Herrn Ing. SALZMANN Haarrißbildung nach 2 Tagen an der Luft und unter Sonneneinstrahlung und zerfielen unter mechanischer Einwirkung. Roterz-, Mittel- und Schwarzerzschichten sowie der Untere Lithothamnienkalk waren einbau- und frostsicher. Das Ausbruchsmaterial wurde zum kleinen Teil ausgeschieden, teilweise zwischengelagert und teilweise sofort in den anschließenden Freilandstrecken der Umfahrungsstraße eingebaut.

7. Planung und Bauausführung

- Staatliche Bauleitung: Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung VI/
Unterabteilung Straßenbau, Straßenbaubezirk Salzburg
(WHR Dipl.-Ing. K. KRATZER, TOAR Ing. H. HÖLLBACHER,
Dipl.-Ing. D. BRAUNSTEIN)
- Tunnelsachbearbeitung der
Unterabteilung Straßenbau: RBR Dipl.-Ing. H. GIRLINGER
- Straßenprojekt: TFOI H. WALDHÖR (Bbz. Salzburg)
- Baugeologie: RBR Dr. R. VOGELTANZ (Geol. Dienst)
- Tunnelprojekt: Dipl.-Ing. E. HACKL & Dipl.-Ing. J. GOLSER (Büro
Geoconsult, Salzburg. Sachbearbeiter: KRATOCHWIL)
- Bauausführende Firmen: Arge Umfahrung Mattsee (Porr, Kapsreiter, Teerag-
Asdag, Teiml & Spitzy)
- Tunnel-Bauleitung: Ing. H. SALZMANN (Fa. Porr)

8. Dank

Für die Zustimmung zur vorliegenden Veröffentlichung dankt der Verf. den Herren Landesbaudirektor WHR Dipl.-Ing. CHR. WILLOMITZER, WHR Dipl.-Ing. F. ASCH (Leiter der Unterabt. Straßenbau) und WHR Dipl.-Ing. K. KRATZER (Leiter des Straßenbaubezirks Salzburg) vom Amt der Salzburger Landesregierung. Für viele Hinweise und wichtige Beiträge bei der Abfassung des Manuskripts dankt der Verf. den Herren Ing. H. SALZMANN (Fa. Porr) und RBR Dipl.-Ing. H. GIRLINGER, Dipl.-Ing. D. BRAUNSTEIN und TFOI STROBL vom Amt.

Literatur

- ABERER, F. & E. BRAUMÜLLER: Über Helvetikum und Flysch im Raume nördlich Salzburg. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 49/1956, 1—40, Wien 1958.
- BAUTECHNISCHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT SALZBURG: Zeugnis über die Prüfung von Natursteinproben auf Verwitterungsbeständigkeit und Festigkeit, Nr. 3/034/74 vom 17. 4. 1974, erstellt an das Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. VI/Geol. Dienst.
- EBERS, E., L. WEINBERGER & W. DEL-NEGRO: Der pleistozäne Salzach-Vorlandgletscher. — Veröff. Ges. Bayer. Landeskd., 19—22, 217 S., München 1966.
- GOHRBANDT, K.: Zur Gliederung des Paläogen im Helvetikum nördlich Salzburg nach planktonischen Foraminiferen. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 56, 1—116, Wien 1963.
- KIESLINGER, A.: Die nutzbaren Gesteine Salzburgs. — 436 S., Bergland-Verlag, Salzburg 1964.
- KLAPPACHER, W. & K. MAIS (Herausg.): Salzburger Höhlenbuch. Bd. 1. — Wiss. Beih. Z. „Die Höhle“, 23, 335 S., Salzburg 1975.

- PACHER, F., L. v. RABCEWICZ & J. GOLSER: Zum derzeitigen Stand der Gebirgsklassifizierung im Stollen- und Tunnelbau. — „Straßenforschung“, 18, 51—58, Bundesministerium f. Bauten u. Technik, Wien 1974.
- RABCEWICZ, L. v. & K. SATTLER: Die Neue österreichische Tunnelbauweise. I: Entstehung, Ausführung und Erfahrungen. II: Statische Wirkungsweise und Bemessung. — Der Bauingenieur, 40/8, 1965.
- TRAUB, F.: Die Schuppenzone im Helvetikum von St. Pankraz am Haunsberg, nördlich von Salzburg. — Geol. Bavar., 15, 1—38, München 1953.
- TRAUTH, F.: Geologie der nördlichen Radstädter Tauern und ihres Vorlandes. 1. Teil. — Denkschr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 100, 101—212, Wien 1925.
- VOGELTANZ, R.: Sedimentologie und Paläogeographie eines eoänen Sublitorals im Helvetikum von Salzburg (Österreich). — Verh. Geol. B.-A., 1970/H. 3, 373—451, Wien 1970.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt im September 1976.