ABHANDLUNGEN DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT

Geologie und Baugeschichte des Schneealpenstollens der I. Wiener Hochquellenleitung (Steiermark — Niederösterreich)

TRAUGOTT E. GATTINGER

52 Abbildungen, 7 Beilagen

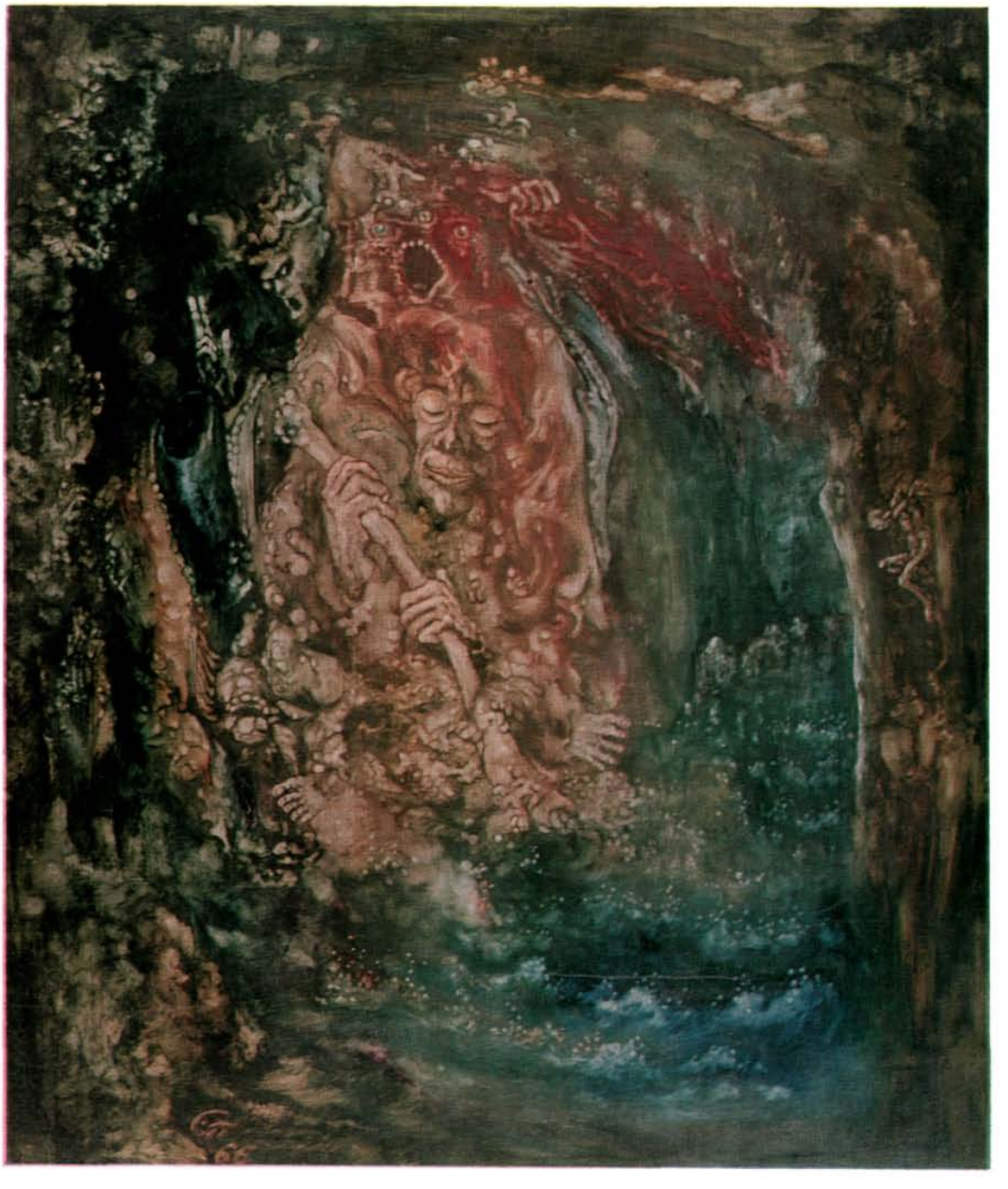
Die Gemeinde Wien, Magistrats-Abteilung 31, Wasserwerke der Stadt Wien, hat die Kosten für den Druck des Bandes getragen. Die Abbildungen stammen größtenteils aus dem Archiv der Magistratsabteilung 31, Wasserwerke der Stadt Wien.

BAND 30 · WIEN 1973

EIGENTÜMER, HERAUSGEBER UND VERLEGER: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, WIEN
SCHRIFTLEITUNG: G. WOLETZ DRUCK: BRÜDER HOLLINEK, WIENER NEUDORF

STYGISCHER FÄHRMANN

Gemälde von T. E. GATTINGER, 1966. Tempera auf Hartfaserplatte, gefirnißt. Format 50 × 60 cm. Anregung für die Entstehung dieses Bildes waren die oftmals schwierigen, bisweilen bedrohlichen Situationen im Baugeschehen des Schneealpenstollens, die jedoch schließlich von allen Beteiligten durch Überlegung und Ausdauer gemeistert wurden.



Abh. Geol. B.-A.	Band 30	60 Seiten	52 Abb., 7 Beilagen	Wien, September 1973

Geologie und Baugeschichte des Schneealpenstollens der I. Wiener Hochquellenleitung (Steiermark — Niederösterreich)

Mit 52 Abbildungen und 7 Beilagen

Von TRAUGOTT E. GATTINGER

Österreichische Karte
1 : 50.000
Blätter 103, 104

Schlüsselwörter
Baugeologie
Hydrogeologie
Stollenbau
Quellfassung
Wasserscheidenstollen
Basisstollen
Nördliche Kalkalpen
Karstgebirge
I. Wiener Hochquellenleitung
Schneealpe
Sieben Quellen
Trias

Inhalt

Seite

Summary 7

Einleitung 8

1. Geologie 8
   1.1. Hydrogeologie der Sieben Quellen und ihres Einzugsbereiches 11
   1.2. Hydrogeologie des Bereiches der Stollentrasse 15
   1.3. Geologische Situation im Bereich der Quellfassung, des Aufschließungs- und Zugangsstollens und des Wasserschlosses (ursprüngliche Planung) 17
   1.4. Geologische Situation im Gebiet des Anschlagpunktes des N-Trums (Gebiet der Reistalklamm) 18
   1.5. Luftbildgeologische Untersuchung des Projektgebietes 19
   1.6. Gelogie des Stollens 21
      1.6.1. Nordtrum 21
      1.6.2. Südtrum 33
   1.7. Neue Erkenntnisse aus dem Stollenaufschluß 39
      1.7.1. Basale Schuppenzone und basale Faltung . . . 39
      1.7.2. Basale Gesteinszertrümmerung 39
      1.7.3. Undulieren der Basiszone 39
      1.7.4. Die Stellung der Gosaukonglomeratbrekzie im Tiefenaufschluß 39
      1.7.5. Vertikale Gebirgszerlegung bis zur Basis der Schneealpe 39
      1.7.6. Tektonische Restspannungen 40

Seite

2. Baugeologie 41
   2.1. Gebirgsklassifizierung 41
   2.2. Vortrieb 41
   2.3. Bergsicherung 44
   2.4. Kluft- und Hohlraumbereiche, basale Zertrümmerungszonen 47
   2.5. Wassereinbrüche. Ableitungs- und Dichtungsmaßnahmen 48
   2.6. Gaseinbruch. Vorgangsweise und Behandlung 49
   2.7. Deponieflächen und Deponiekörper 50
   2.8. Betonzersetzungserscheinungen durch aggressive Wässer. Untersuchungen und Feststellungen 50
   2.9. Wiederaufstau der Bergwässer 52
      2.9.1. Anschätzung des Druckaufbaues 54
      2.9.2. Einbauorte der Verschlußelemente 55
      2.9.3. Hydraulische Bergsicherung als Nebeneffekt des Wiederaufstaues der Bergwässer 55
      2.9.4. Dichtungsmaßnahmen durch Zementinjektionen 56

3. Der Nutzen geologischer Voruntersuchungen, Prognosen und Diagnosen 57

4. Stollendaten 59

Literatur 60

Summary

From 1966 to 1969, a water gallery was constructed in the Limestone Alps southwest of Vienna to connect a karst spring of 500 l/sec. average capacity with the Vienna water supply system.

The 9680 meters long gallery had to be driven through the basement of the karst massif of Schneealpe under an overburden of ninehundred to thousand meters.

During the tunneling, water channels and caves filled with mud and sand, were hit by the excavation work and gave much trouble to the crew as well as to the engineers.

For the engineering geologist besides his technical work, the construction of this gallery was a rare opportunity to study the stratigraphic and structural feature of the Limestone Alps basement.

It was found, that the sequence of lower and middle Triassic rocks, starting with shales and sandstones at the bottom and ending up with limestones and dolomites of more than thousand meters thikness, was underlain by breccias and conglomerates of Cretaceous age, prooving the overthrust of the Limeston Alps on its younger substratum.

One of the most dangerous events during the construction of the gallery was the leakage of natural gas from the lower Triassic shales. A fire burst out, and it took weeks until the work could be carried on. It was good fortune that nobody was killed or injured.

When the excavation and lining of the gallery was finished, an additional discharge of 20 Millions m³ of water, caused by the artificial opening of the mountain, had to be restored. Therefore, the gallery was closed on both ends with exception of the supply pipe which was finally connected with the water supply line to Vienna.

The Schneealpen-gallery means a plus of 400 l/sec. to the water supply of the Austrian capital, that is one eighth of its present average water demand.

Anschrift des Verfassers: Dr. TRAUGOTT E. GATTINGER, Geologische Bundesanstalt, Postfach 154, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien.

Einleitung

Bereits um die Jahrhundertwende bestand ein Projekt, die Sieben Quellen im Karlgraben bei Neuberg an der Mürz und einige andere Quellen des oberen Mürztales (so die Roßbach Quellen) an die I. Wiener Hochquellenleitung anzuschließen, nachdem die Stadt Wien die Sieben Quellen 1899 angekauft hatte. Es wurden zwei Varianten in Erwägung gezogen, nämlich entweder die Unterfahrung des Naßkammes mit Einbindung der neuen Zuleitung in die I. Wiener Hochquellenleitung in Hinternaßwald oder die Unterfahrung des Preiner Gscheids und eine Einbindung in Hirschwang.

Durch den Bau der II. Wiener Hochquellenleitung und die erwarteten, mit damaligen Methoden kaum zu bewältigenden Schwierigkeiten bei der Durchörterung von Naßkamm oder Preiner Gscheid wurde das Projekt auf unbestimmte Zeit zurückgestellt.

Der ständig steigende Wasserbedarf Wiens und die stollenbautechnische Entwicklung ließen nach dem Zweiten Weltkrieg das alte Projekt in neuem Lichte erscheinen. Es wurden Voruntersuchungen über hydrogeologische Situation und Umfang des Einzugsgebietes, über Chemismus und Schüttung der Sieben Quellen und in weiterer Folge Aufnahmsarbeiten baugeologischer Art über die Stollenstrecke, die Portal- und Deponiebereiche durchgeführt.

Die Untersuchungsergebnisse wurden im wesentlichen zur Grundlage des Gesamtprojektes.

Nach eingehender Vorbereitung durch Verhandlungen wurde 1965 der wasserrechtliche Konsens auf Ableitung von 400 l/sec. erteilt, davon maximal 300 l/sec. aus den Sieben Quellen, die jeweilige Ergänzungsmenge (minimal 100 l/sec.) aus den im Berginneren angefahrenen Wässern.

Anfang Dezember 1965 wurde mit dem zweiseitigen Vortrieb begonnen. Der Anschlag des Südtrums (= Elisabethstollen) erfolgte im Karlgraben, Gemeinde Neuberg an der Mürz, Steiermark, der Anschlag des Nordtrums (= Leopoldinenstollen) im Reistal bei Hinternaßwald, Gemeinde Schwarzau im Gebirge, Niederösterreich.

Mit Beginn des Vortriebes war eine Zeitspanne wechselhaftesten Baugeschehens eingeleitet, die vier Jahre lang die Kräfte der Beteiligten in Anspruch nehmen sollte. Diese Zeit war ausgefüllt von dem Bestreben, allen widrigen Umständen und Gefahren zum Trotz die gestellte Aufgabe zu bewältigen, die darin bestand, das Projekt den naturgegebenen, den wasserwirtschaftlichen, den technischen und den wasserrechtlichen Anforderungen entsprechend zu verwirklichen.

Mit Beginn des Vortriebes — und vom technischen Standpunkt eher nebenher — begann auch ein für die Alpengeologie bemerkenswertes Unternehmen. Die Durchörterung der Schneealpe nahe ihrer Basis versprach von vornherein Einblicke in den Tiefenbau einer kalkalpinen Einheit, wie sie nur selten möglich sind.

Hier erscheint es gegeben, auch darauf hinzuweisen, daß sich bereits kurz nach Beginn der Aufschlußarbeiten — durch die geologische Vor- und Mitarbeit einerseits und die technische Ausführung andererseits — an der Baustelle eine Wechselwirkung zwischen Geologie und Technik entwickelt hat, die in idealer Weise von gegenseitigem Nutzen war.

1. Geologie

Übersicht

Die 2000 m hohe Schneealpe bildet die westliche Fortsetzung des Schneeberg-Rax-Massivs, mit dem sie durch den Sattel des Naßkammes verbunden ist. Sie besteht in ihrer Hauptmasse aus mitteltriadischen Kalken und Dolomiten, die an der Basis verschuppt und von Werfener Schichten mit tektonischen Einlagerungen von Brekzien und Konglomeraten der Oberkreide (Gosau) unterlagert sind. Der gesamte kalkalpine Schichtkomplex ruht auf einem Sockel von Grauwackengesteinen (Schiefern und Kalken).

Die wesentlichsten Bauelemente sind:

Werfener Schichten, bestehend aus Tonschiefern und Sandsteinen mit Einlagerungen von Anhydrit, Gips und Haselgebirge (Mischgestein aus Ton, Anhydrit und Salzen). Die Werfener Schichten bilden die Basis der Trias-Gesteinsserie. Sie können, wie dies im Schneealpenstollen der Fall und seit langem von den alpinen Salzlagerstätten bekannt war, Einschlüsse von brennbaren Gasen enthalten.

Gutensteiner Kalk und Dolomit, dunkelgrauer bis schwärzlicher Kalk und Dolomit, stellenweise kieselig, meist deutlich geschichtet, durchzogen von einer Vielzahl weißer Kalzit-Adern. Im Nordtrum des Schneealpenstollens zeigt der Gutensteiner Kalk und Dolomit zwischen Station 3402 und 3500, ebenso im Bereich um Station 5950 bis 6100 eine Wechsellagerung von dunkleren und helleren Bänken, an verschiedenen anderen Stellen ist er in sich konglomeratisch und brekziös struiert.

Reiflinger Kalk, bräunlichgrauer Kalk, häufig mit dunklen Kieselknollen (Hornsteinknollen) oder Kiesellagen. Reiflinger Kalk tritt nur vereinzelt zwischen dem Gutensteiner- und dem darüber folgenden Wettersteinkalk bzw. -dolomit auf.

Wettersteinkalk und -dolomit, hellgrauer, gelblicher bis weißer Kalk und Dolomit, der sowohl geschichtet als auch in ungegliederten Felsmassen auftritt, wichtigstes Bauelement der Schneealpe infolge seiner großen Mächtigkeit, die bis zu 1000 m beträgt, wie etwa im Gebiet des Ameisbühels und des Windberges. Die Dolomit-Variante (auch Ramsaudolomit), überwiegt mengenmäßig gegenüber der Kalk-Variante. Beide Varianten sind nicht streng trennbar, sondern durch stetige Übergänge miteinander verbunden. Der Dolomit zeichnet sich durch typischen Polygonalbruch („zuckerkörniges Zerfallen") aus.

Gosaukonglomerate und -brekzien (Bildungszeit: Oberkreide) wurden im Nordtrum des Schneealpenstollens als große tektonische Schollen von Station 6285 bis 6491 und 7720 bis 7747 sowie in einigen kürzeren Strecken im Liegenden von Werfener Schichten bzw. mit diesen verknetet, durchörtert. Diese Gesteine, die wesentlich jünger sind als die übrigen Bauelemente der Schneealpe, stellen Reste eines tiefgelegenen Baugliedes der Kalkalpen dar, das vom Schneealpenmassiv überfahren wurde.

Gebirgsbildende Bewegungen haben dazu geführt, daß im Schneealpenmassiv (ebenso wie in den übrigen Nördlichen Kalkalpen) Stockwerkbau (Deckenbau) vorliegt. Dadurch wiederholt sich die Trias-Schichtfolge auch in den oberen Teilen des Gebirgsstockes (Grünkogel-Windberg) noch einmal.

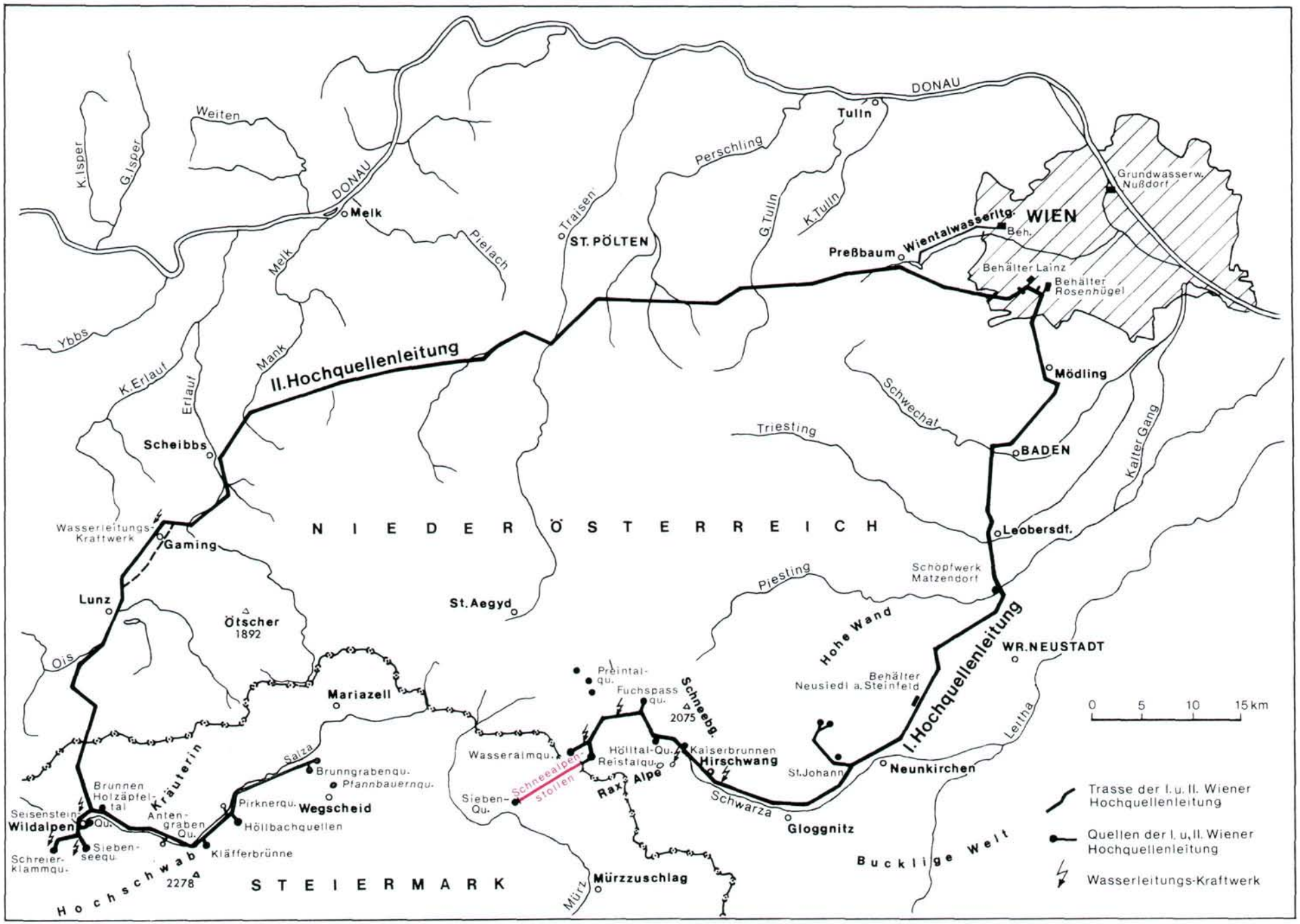


Abb. 1. Situation des Schneealpenstollens im System der I. und II. Wiener Hochquellenleitung.

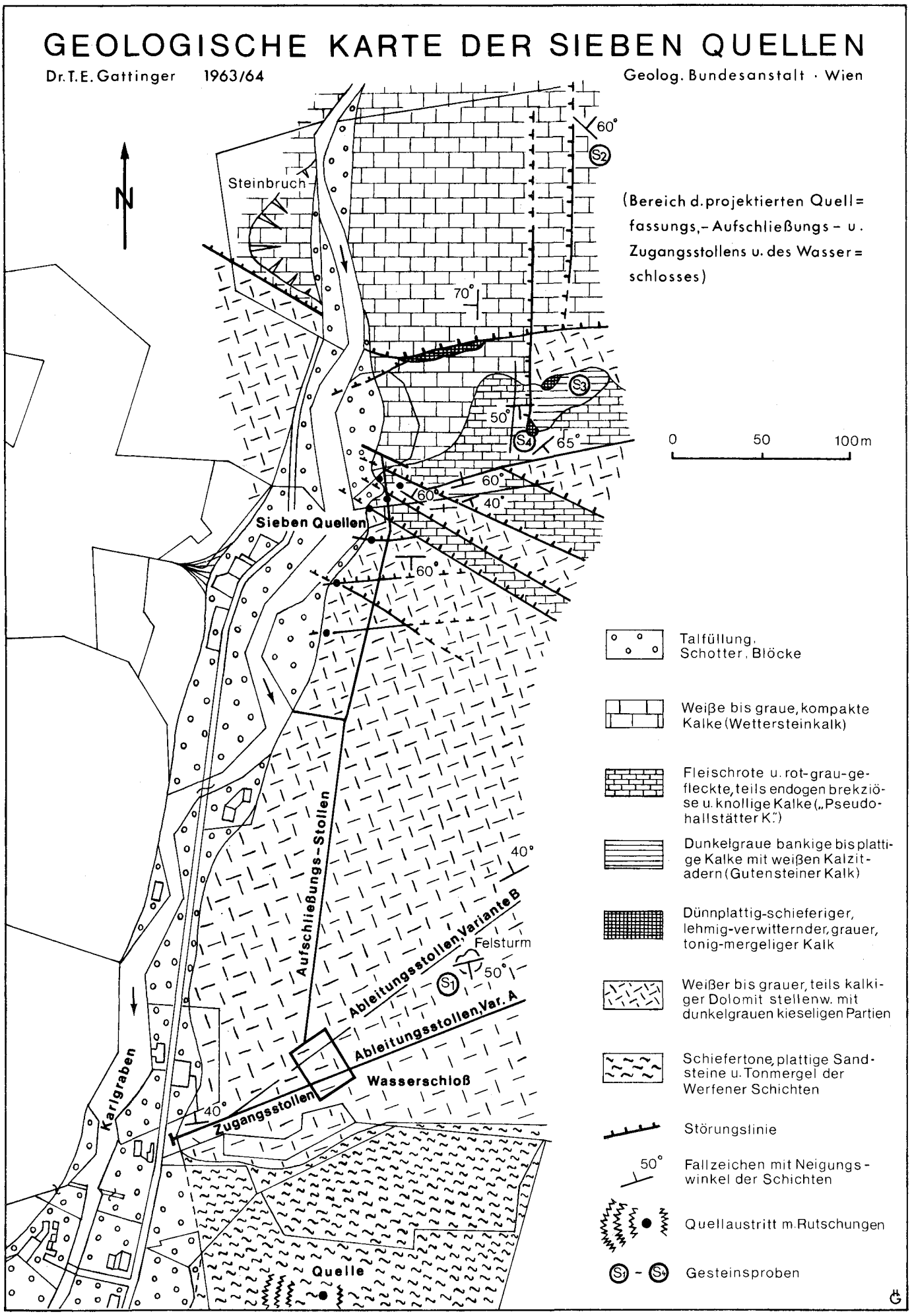


Abb. 2. Geologische Karte der Sieben Quellen

Den basalen Sockel des gesamten Stockwerksystems bilden Schiefer der Grauwackenzone, die an der Südseite der Schneealpe bis über 1200 m Seehöhe hinaufreichen, an der Nordseite aber nicht mehr zum Vorschein kommen, da das Massiv als Ganzes nach Norden gekippt ist.

Bruchsysteme verschiedener Richtungen zerteilen das Massiv der Schneealpe in eine Vielzahl von Gebirgsschollen. Der große Anteil, den kalkige und dolomitische Gesteine am Aufbau der Schneealpe haben, bedingt die starke Verkarstung dieses Gebietes. Die Auflockerungszonen entlang Bruchspalten haben den Niederschlag- und Schmelzwässern durch lange Zeiträume das tiefe Eindringen in den Gebirgskörper ermöglicht, wobei Lösungsvorgänge die unterirdischen Fließwege zu oft komplizierten und teilweise großlumigen Hohlraumsystemen erweitert haben.

Als Voraussetzung für die Projektierungsarbeiten wurden bereits frühzeitig Voruntersuchungen des Gesamtgebietes sowie wesentlicher Teilgebiete sowohl in baugeologischer als auch in hydrogeologischer Hinsicht vom Verfasser durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten war, zunächst der Planung und späterhin der Durchführung des Stollenbaues und der Nebenarbeiten möglichst handfeste Angaben über die zu erwartenden Gesteins- und Wasserverhältnisse zu Grunde zu legen. Zwischen 1961 und Baubeginn (Dezember 1965) wurden ausgearbeitet:

1. Hydrogeologisches Gutachten über die Sieben Quellen (1961).
2. Gutachten über die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Stollenprojektes Schneealpe (1962).
3. Geologische Situation der Sieben Quellen im Bereich des projektierten Quellenfassungs-, Aufschließungs- und Zugangsstollens sowie des Wasserschlosses (1964).
4. Erläuterung zur geologischen Aufnahme der Sieben Quellen im Karlgraben auf dem Schichtenplan 1 : 500 (1964).
5. Empfehlungen und Hinweise für die Anlage des Entnahme-, Überfalls-, Aufschließungs-, Zugangs- und Ableitungsstollens (im Bereiche der Meßkammer) der Sieben Quellen auf Grund der geologischen Detailaufnahme 1 : 500 und der Festlegung der Stollentrasse (1964).
6. Geologische Aufnahmen 1 : 500 vom Eingang der Reistalklamm bis unterhalb der Reistalquelle (Bereich Ausgang des Ableitungsstollens der Sieben Quellen und Einleitung in die I. Wiener Hochquellenleitung) (1964).
7. Luftbildgeologische Untersuchungen der Schneealpe für die Fassung und Einleitung der Sieben Quellen in die I. Wiener Hochquellenleitung (1964).
8. Geotechnische Empfehlungen für die Anlage der Deponie des Schneealpenstollens im Bereiche des Stollenausganges bei Hinternaßwald (mit Hinweis auf die Anlage der Stollendeponie im Bereiche des Stolleneinganges auf der Steirischen Seite bei Neuberg an der Mürz) (1965).

Dazu kamen Stellungnahmen und Äußerungen im Rahmen des wasserrechtlichen Verfahrens zur Klärung grundlegender Fragen hinsichtlich des Wasserhaushaltes des Projektgebietes Schneealpe.

Ebenfalls im Frühstadium der Planung war von G. Fuchs eine geologische Stellungnahme zu den Stollenprojekten Pfannbauernquelle—Brunngraben—Krampen—Naßwald (1961) und ein geologisches Gutachten zum Stollenprojekt Sieben Quellen (1962) abgegeben worden, das in recht allgemein gehaltener Form einen Überblick über die geologischen Verhältnisse in ihrer Auswirkung auf den Stollenbau zu geben versuchte.

Die konkreten Ergebnisse meiner Voruntersuchungen werden im folgenden dargestellt:

1.1. Hydrogeologie der Sieben Quellen und ihres Einzugsbereiches

Lage und Auftreten der Sieben Quellen

Die Sieben Quellen liegen nordöstlich von Krampen/Mürz an der linken (östlichen) Seite des Karlgrabens, 1 km oberhalb dessen Mündung in die Mürz. Sie treten nicht im Talgrund, sondern etwas zurückgesetzt am linken Talhang aus. Von kleineren Austrittsstellen abgesehen, fließt das Wasser aus den sieben größeren, namensgebenden Quellen, die voneinander 8,5 bis 35 m Abstand haben. Die Entfernung von der nördlichsten zur südlichsten Austrittsstelle beträgt in gerader Linie rund 100 m. Die nördlichste Quelle ist im folgenden mit 1 bezeichnet, die südlichste mit 7.

Abb. 3. Die Sieben Quellen im Karlgraben bei Neuburg an der Mürz. Blick auf die Quellnische mit den Quellen 1, 2 und 3.

Quelle 3 hat einen 5,3 m von ihr entfernt liegenden Nebenaustritt (3 a). Die Quellen 1 bis 3 a liegen in einer tiefen Quellnische, während bei den übrigen die Quellnischen nur angedeutet sind. In Quelle 7 war zur Zeit der Untersuchungen ein Rohr eingelegt, sie versorgte die unterliegenden Häuser im Karlgraben mit Trink- und Nutzwasser.

Geologische Situation im Quellenbereich.

Die nähere Umgebung der Quellen wird von lichten, oft rötlichen Kalken aufgebaut, die in muldenförmiger Lagerung mit axialem Einfallen nach Westen über Wettersteindolomit liegen. Die Kalke, von H. P. Cornelius in der geologischen Spezialkarte 1 : 75.000 (Blatt Mürzzuschlag) als Pseudo-Hallstätterkalke ausgeschieden, entsprechen nach Alter und Stellung dem mitteltriadischen Wettersteinkalk. Sie bilden einen schmalen Zug, der sich nach Osten rund 300 m fortsetzt und sich dann um den gegen den Rauhenstein ansteigenden Rücken in zwei schmale Züge teilt, deren nördlicher nach weiteren 300 m aushebt, während der südliche bis nordöstlich Schlapfen zieht. Im Westen tauchen die Kalke unter Mürztaler Schichten (dunkle Kalke und Mergel) des Kuhkogels ab, kommen aber auf der Höhe des Kuhkogels gewölbeartig wieder zum Vorschein, ebenso weiter westlich, im Krampengraben.

Mit Ausnahme der Quellen 3 und 3 a, bei denen die ungünstigen Aufschlußverhältnisse den Austritt des Wassers aus dem Anstehenden nicht erkennen lassen, zeigen alle übrigen Quellen,

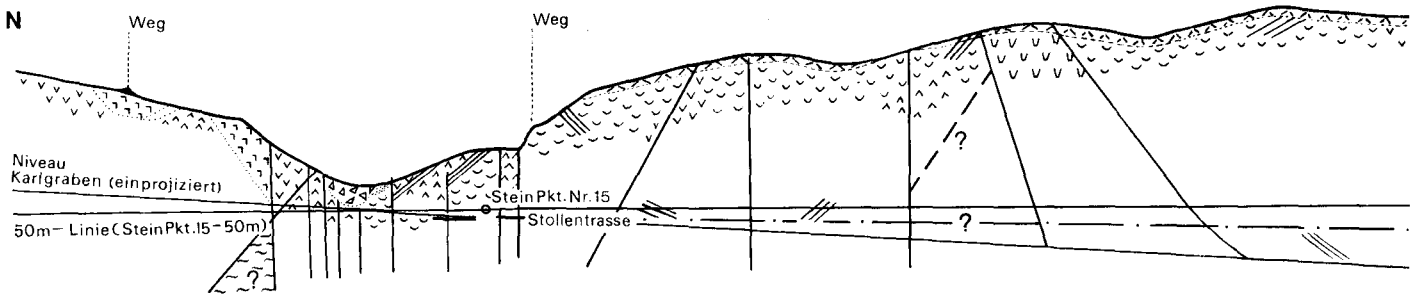
daß sie ihre Wässer nach tektonischen Störungsfugen (Klüften) im Wettersteinkalk (Pseudo-Hallstätterkalk) und Wettersteindolomit zum Austritt bringen. Dabei herrschen zwei Kluftrichtungen deutlich vor, und zwar die Richtung W 10° N—S 10° E, in der Längsstörungen mit weit offenen Spalten laufen, und die Richtung NNE-SSW bis NE-SW, die gut ausgeprägte Querstörungen mit großer Häufigkeit bringt. Diese Kluftsysteme wirken als Zubringer des Wassers. Als wasserstauende Sohle fungieren Werfener Schichten (Schiefer und dichte Sandsteine), die nördlich von Alpl aufgeschlossen sind. Sie fallen unter die Kalk-Dolomit-Mulde der Sieben Quellen ein und bilden deren Unterlage.

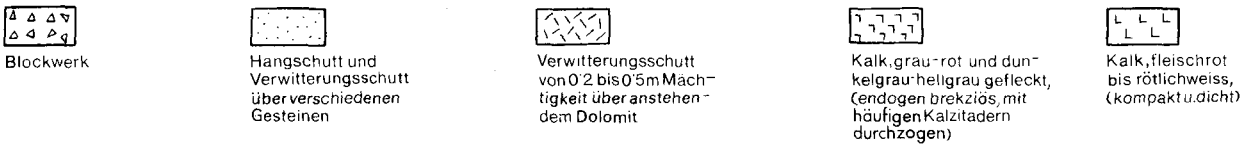
Von besonderer Bedeutung ist, daß nur die Gesteine an der linken Talflanke des Karlgrabens im Quellenbereich starke tek-

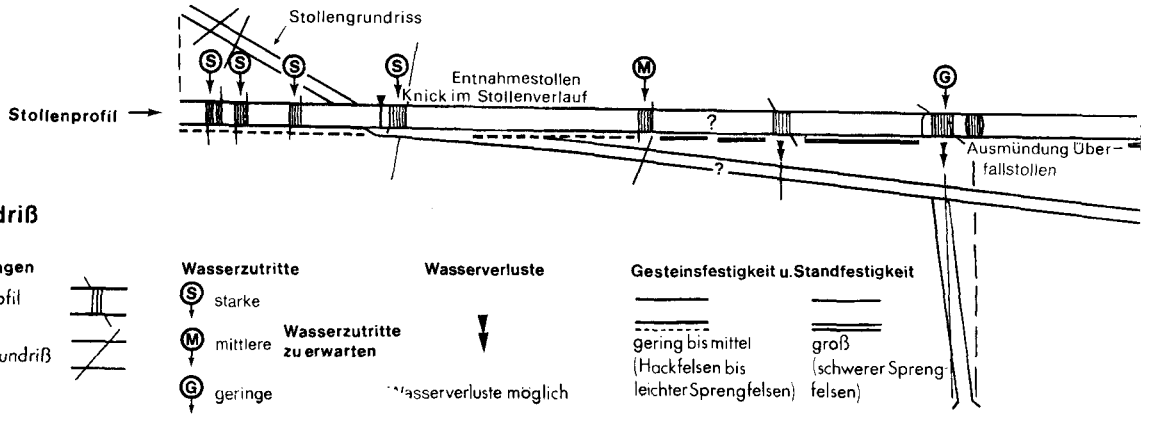
Zugangs-Aufschließungs-und Entnahmestollen

Dr.T.E.Gattinger

Sammelprofil







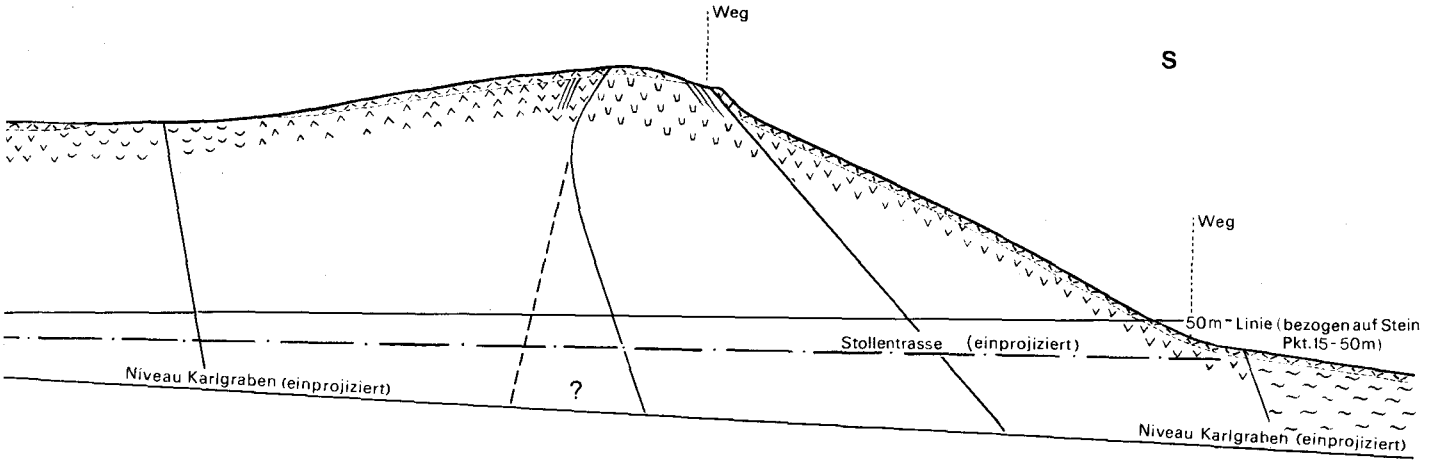
Stollenprofil und Grundriß

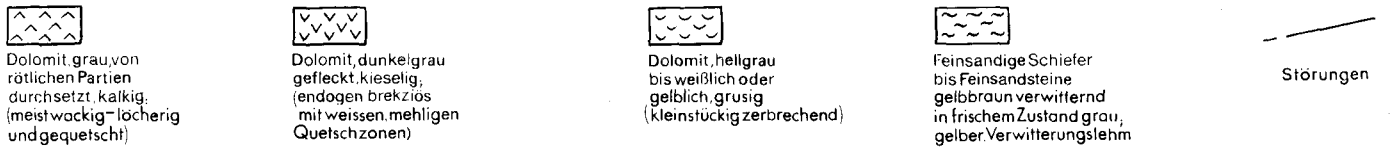
tonische Auflockerung zeigen (Klüftung), während an der rechten Talseite die Gesteine kompakt und dicht sind und keine offenen Klüfte, sondern nur feinere Risse erkennbar sind.

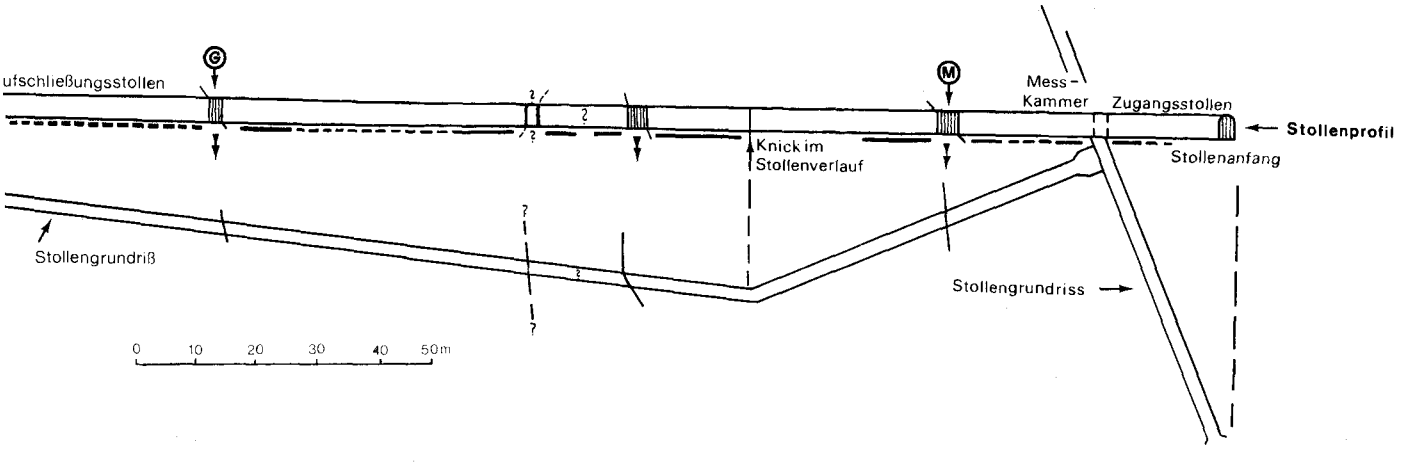
Bemerkenswert ist außerdem, daß von NNW her eine große Querstörung über Rotgrübl, Naßköhr, Ramleiten, Griesmäuer und Glockriegel auf die Sieben Quellen zustreicht, in deren Bereich sie auf die W-E-Längsstörungs-Zone trifft.

Besonderheiten beim Austritt der Wässer, Bemerkungen über Quellschüttung und Schüttungsschwankungen

Die Wässer der verschiedenen Austrittsstellen der Sieben Quellen kommen nicht durchwegs gleichartig zutage. Unterschiede bestehen insoferne, als bei den Quellen 1, 2, 3, 4, 5 und 7 freies Aufließen zu beobachten ist, während bei 3 a und 6 das







Wasser „wallt", also ein gewisser, wenn auch nur geringer Auftrieb bei der Förderung eine Rolle spielt.

Die Hänge oberhalb der Sieben Quellen sind trocken, es zeigt sich keine stärkere Bodendurchfeuchtung oder gar Vernässung. Dieser Umstand weist darauf hin, daß die zum Austritt kommenden Wässer auf weitere Strecken in der Tiefe an die Austrittsstellen herangeführt werden.

Der Karlgraben ist oberhalb der Sieben Quellen bis zur Gefällstufe der Wildbachverbauung (unter der Einmündung des Lahn-Grabens) normalerweise oberflächlich trocken, eine mit Schutt und Blockwerk erfüllte Rinne. Ebenso der obere Teil des Karlgrabens. Selbst zur Zeit der Schneeschmelze und nach ausgiebigen Regenfällen ist kein obertägiges Gerinne vorhanden, wie frühere Begehungen (so im Mai 1961, also in einer Zeit sehr ausgiebiger Regenfälle und während der Schneeschmelze) gezeigt haben. Hingegen reagieren die Sieben Quellen deutlich und rasch auf Veränderungen des Wasserdargebotes im Einzugsgebiet, die durch Niederschläge oder durch Schneeschmelze einerseits bzw. durch das Ausbleiben dieser Faktoren andererseits hervorgerufen werden. Als Folge längerer Trockenperioden läßt die Quellschüttung merklich nach. Am Ende einer langen Trockenzeit, die nur von kurzen, geringfügigen Niederschlägen unterbrochen war (Sommer und Herbst 1961), war festzustellen, daß sich bei den Quellen 2 bis 7 die Schüttung deutlich verringert und daß die (höchstgelegene) Quelle 1 zu schütten aufgehört hatte. Kurz nach den ergiebigen Niederschlägen, welche die herbstliche Trockenperiode zum Abschluß brachten, stieg die Schüttung in allen Quellen deutlich an, und auch die Quelle 1 lieferte wieder normal.

Diese allgemeinen Beobachtungen während der ersten Untersuchung ließen bereits den Schluß zu, daß die einziehenden Wässer den Weg vom Einzugsgebiet bis zu den Austrittsstellen mit relativ großen Geschwindigkeiten zurücklegen und daß die natürliche Reinigungsfähigkeit (Filterung) der Wässer somit als gering anzusehen ist. Ebenso die Möglichkeit zum Ausgleich der chemischen Eigenschaften (= zu vollständiger gegenseitiger Durchmischung der Wässer), wenn die Wässer nicht aus einem einheitlichen, geschlossenen, sondern aus einem in verschiedene Teile gegliederten Einzugsgebiet stammen sollten.

Die chemischen Eigenschaften der Wässer.

Daß eine solche Gliederung des Einzugsgebietes gegeben ist, darauf weisen die Ergebnisse der chemischen Analysen der Wässer hin. Sie sind untereinander ungleich, wobei ein Teil (Quellen 1 und 5) größere Ähnlichkeit mit den Wässern des Hinteralm-Naßköhr-Gebietes, der andere mit den Wässern des Schneealpen-Gebietes aufweist (Quellen 2, 3, 4 und 7). Nachstehend die Analysenwerte der einzelnen Quellen:

Tabelle 1

Quelle	pH	dGH°	dKH°	dNKH°	GaO mg/l	MgO mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg l
Quelle 1	7,4	9,0	6,4	2,6	82	6	4	14
Quelle 2	6,8	8,6	7,0	1,6	57	21	6	32
Quelle 3	7,6	8,5	7,0	1,5	59	19	6	32
Quelle 4	7,4	9,5	7,0	2,5	67	20	6	34
Quelle 5	7,6	9,3	7,3	2,0	79	10	5	22
Quelle 6	7,4	9,6	7,0	2,6	66	22	5	20
Quelle 7	7,4	9,9	7,0	2,9	64	25	4	24

(Die Probennahme erfolgte am 24. Oktober 1961, die Analysen wurden im chemischen Laboratorium der Geologischen Bundesanstalt von Dr. W. PRODINGER durchgeführt.)

Das Einzugsgebiet (Gliederung, Größe, wesentliche hydrogeologische Merkmale)

Wie die geologischen Verhältnisse der weiteren Umgebung der Sieben Quellen erwarten und wie die Ergebnisse der chemischen Analysen erkennen lassen, gliedert sich das Einzugsgebiet in Teilbereiche.

Für den Einzug von Wässern zu den Sieben Quellen steht zunächst ein Einzugsgebiet zur Verfügung, das von obertägigen Wasserscheiden gegen benachbarte Gebiete abgegrenzt wird. Seine Grenzlinie, die von den Sieben Quellen über die Glockriegel-Ostseite, Öde Kirche, Schönhaltereck, Windberg, Grünkogel, Rauhenstein und dessen Westrücken (P. 1163) zurück zu den Sieben Quellen verläuft, schließt das Gerinnesystem des Karlgrabens mit seinen Zubringern (insbesondere Lahn- und Gamskar-Graben) mit einer Fläche von rund 5 km² ein. Bei einem Jahresniederschlagsdurchschnitt von 1500 mm fallen auf diese Fläche durchschnittlich 7,5 Mion. m³ Niederschläge pro Jahr. Rechnet man, wie im Mittel- und Hochgebirge (unter der Schneegrenze) üblich, überschlägig mit 1/3 Verdunstung der Niederschläge, berücksichtigt man ferner, daß bis zum Austrittsort der Sieben Quellen kein im Jahresdurchschnitt nennenswerter obertägiger Abfluß aus diesem Gebiet erfolgt, so kommen auf die genannte Fläche im Jahresdurchschnitt 5 Mion. m³ Wasser zum untertägigen Einzug, was einer Menge von rund 160 l/sec. entspricht.

Selbst dann, wenn die Sieben Quellen keine größere Durchschnittsmenge als 160 l/sec. an Schüttung aufzuweisen hätten, könnte nicht damit gerechnet werden, daß alles einziehende Wasser ausschließlich durch die Sieben Quellen zutage käme. Vielmehr wird ein Teil des Einzuges seinen Weg untertägig, vor allem im Untergrund der Talfüllung des Karlgrabens bis unterhalb der Sieben Quellen, teilweise wohl bis zum Anschluß an das Grundwasser des Mürztales fortsetzen. Daraus ergibt sich, daß außer dem durch obertägige Wasserscheiden begrenzten Einzugsgebiet noch weitere Bereiche an der Einspeisung teilnehmen müssen.

Den geologischen Voraussetzungen nach kommt dafür einerseits jener Teil des Schneealpen-Plateaus, der von der Linie Rauhenstein—Schauerkogel—Mooskogel—Windberg begrenzt wird, andererseits der von der großen NNW-SSE-Störung im Westen begrenzte Teil des Naßköhr-Bodnerau- und südlichen Großboden-Gebietes in Betracht. Dabei ist ausschlaggebend, daß sowohl die in diesen beiden Gebieten zahlreich auftretenden tektonischen Störungen, als auch die sehr häufigen Schwinden, Schlucklöcher und Dolinen mit ihren Anschlüssen an Karströhren und im Zusammenhang mit günstigen Kluftrichtungen und Schichtneigungen die Zufuhr des Wassers zum Sieben-Quellen-Bereich besorgen. Die beiden zusätzlichen Einzugsbereiche werden voneinander durch den nach dem Kleinboden-Graben hin entwässernden Kramerin-Glaskogel-Zug getrennt. Zusammengerechnet, kommen mit ihnen zu dem durch obertägige Wasserscheiden begrenzten Einzugsgebiet noch 4 bis 5 km² hinzu, so daß die Gesamtgröße der ganzen Einzugsfläche bei rund 10 km² liegen wird. Färbeversuche mit Farbaufgabe bei der Rinnhoferhütte am 27. Juni 1962, ausgeführt von Dr. F. DOSCH, Hygienisch-bakteriologische Untersuchungsanstalt der Stadt Wien, haben die Zugehörigkeit dieses Bereiches zum Einzugsgebiet erwiesen.

Dem geologischen Aufbau nach besteht das Einzugsgebiet in allen seinen Teilen vorwiegend aus Dolomit (Wettersteindolomit) und aus Kalken (Wettersteinkalk der Schneealpe, Dachsteinkalk des südlichen Großbodens, daneben auch Muschelkalk). Minder durchlässige (Mürztaler Schichten) und stauende Gesteine (Werfener Schichten) treten — außer an der Basis der Schneealpe — nur in geringer Verbreitung im Einzugsgebiet auf und bilden im Naßköhr und in Teilen des Schneealpen-Plateaus wassersammelnde Wannen.

Art des Einzuges

Der Einzug der Wässer erfolgt einerseits nach Schicht- und Störungsfugen (Klüften), die zu Karströhren erweitert sein können, andererseits nach der Felssohle schutterfüllter Geländerinnen (Gräben und Bäche). Es war zu beobachten, daß mehrere Zubringer des Karlgrabens, vor allem Lahn- und Gamskar-Graben, ihre ursprünglich obertägig fließenden Wässer erst kurz vor der Einmündung in den Karlgraben zur Gänze an den Untergrund (Talschutt) verlieren.

Das Aussetzen der Quelle 1, wie es während der Trockenperiode des Jahres 1961 und in folgenden Trockenperioden beobachtet werden konnte, und das gleichzeitige, wenn auch verminderte Weiterschütten der übrigen (tiefergelegenen) Quellen kann zweierlei bedeuten: Entweder die Quelle 1 ist mit eigenem Einzugsweg an ihr Einzugsgebiet angeschlossen und der Nachschub aus diesem Einzugsgebiet blieb infolge der Trockenheit aus, oder, was in den stark aufgelockerten Gesteinen des Quellenbereiches wahrscheinlich ist, den Sieben Quellen ist ein gemeinsamer, untertägiger Sammelraum oder ein Sammelraum-System vorgeschaltet, in welchem Niveau-Ausgleich stattfinden kann, wobei beim Sinken des Wasserspiegels (als Folge der Trockenzeit) die höchstgelegene Austrittsstelle (Quelle 1) trokkenfällt, während die anderen Austrittsstellen tief genug liegen, um unter dem Wasserspiegel zu bleiben und somit weiter beliefert werden zu können. Die Erfahrungen beim Bau des Stollens haben starke Argumente für die zweite Deutung geliefert.

Bemerkungen über Fassungsarbeiten und Schutzgebiet

Zur Zeit der Voruntersuchungen war es wichtig, im Hinblick auf die bevorstehenden Aufschließungs- und Fassungsarbeiten an den Sieben Quellen darauf hinzuweisen, daß derartige Arbeiten mit größter Rücksichtnahme auf die geologischen Gegebenheiten, wie sie hier dargestellt wurden, und mit äußerster Behutsamkeit vorgenommen werden sollten. Vor allem sollte beim Aufschließen die Verwendung von Sprengmitteln im Quellenbereich möglichst vermieden werden, da in den stark aufgelockerten Gesteinen Sprengschläge zum Verschießen von Wasserwegen führen hätten können. Die Unterfahrung des Quellensystems durch den Stollen hat inzwischen eine Wasserfassung im Berg technisch möglich gemacht.

Bedingt durch die dargestellten hydrogeologischen Verhältnisse des Einzuges der Wässer kam der Verlegung eines Schutzgebietes bei Nutzung der Sieben Quellen zu Trinkwasserzwecken besondere Bedeutung zu. Die 1965 abgeschlossenen Arbeiten zur Abgrenzung des Schutzgebietes um die I. Wiener Hochquellenleitung hatten ergeben, daß nach hydrogeologischen Gesichtspunkten der Schneealpen-Bereich in seinen überwiegend kalkig-dolomitischen Anteilen in ein Schutzgebiet einzubeziehen war, zumal von ihm aus auch Wassereinzug nach der Nord- bzw. Nordostseite der Schneealpe zu den Quellen im oberen Naßbachgebiet (Quellen der I. Wiener Hochquellenleitung) erfolgt. Damit war auch der erforderliche Schutz der Sieben-Quellen-Wässer gewährleistet.

1.2. Hydrogeologie des Bereiches der Stollentrasse

Die Schneealpe stellt einen selbständigen Karstkörper dar, dessen Basis von wasserstauenden Werfener Schichten gebildet wird. Dementsprechend bewegen sich die in diesem Gebiet einziehenden Wässer überwiegend in Hohlraumsystemen im Gestein mit relativ großen Fließgeschwindigkeiten zu den am Fuße des Berges über dem Wasserstauer gelegenen Austrittsstellen, die als Quellen mit zum Teil starker Schüttung in Erscheinung treten. (Sieben Quellen, Wasseralm-Quelle, Kalte Quelle.)

Die Entstehung der als Wasserwege benützten Hohlgänge zeigt enge Beziehung zur Tektonik des Gebietes, indem Bruch- und Störungszonen als Auflockerungsbereiche im Gestein die Lösung der Kalke und Dolomite ganz wesentlich begünstigen, wo hingegen reine Lösungshohlräume, welche ohne vorherige tektonische Gesteinsauflockerung zustandegekommen sind, sehr selten auftreten. Die beim Stollenbau zu erwartenden Wasserverhältnisse waren daher weitgehend von Anlage und Verlauf von Störungszonen, kurz, von den tektonischen Gegebenheiten abhängig.

Nachfolgend sollen, beim Sieben-Quellen-Bereich beginnend, der bereits näher beschrieben wurde, die Verhältnisse abschnittweise dargestellt werden. Zunächst ist jedoch auf die Führung der Stollentrasse noch kurz einzugehen. Von den beiden bei der Planung in Betracht gezogenen Stollentrassen A (südliche) und B (nördliche) zeigte die Variante A einen hydrogeologischen und baugeologisch etwas günstigeren Verlauf, besonders was den südwestlichen Endabschnitt betrifft. Zwar schneidet auch sie östlich der Sieben Quellen spitzwinkelig eine Schar von Störungen, die vom Rauhenstein gegen den Quellenaustritt streichen und als Wasserzubringer der Sieben Quellen fungieren, doch weicht die Variante A immerhin dem Karlgraben weitgehend aus, der von der Variante B unterfahren worden wäre. Der Karlgraben stellt mit seiner Schuttfüllung einen Wasserbehälter dar, überdies ist seine Anlage tektonisch mitbedingt, beides Umstände, durch welche die Variante B größere Schwierigkeiten erwarten ließ als die Variante A. Daß auch diese letztere, die weiterhin besonders ins Auge gefaßt wurde, Schwierigkeiten erwarten ließ, kam als Ergebnis der Voruntersuchungen 1962 deutlich zum Ausdruck.

Wie bereits erwähnt, kommen bei den Sieben Quellen zu einem großen Teil Wässer zum Austritt, welche im Schneealpen-Plateau einziehen. Infolge guter Wasserwegigkeit des Gebirges legen sie den Weg vom Einzugsgebiet zum Austritt rasch zurück. Die zu Karsthohlräumen erweiterten Störungsfugen, welche als Fließwege benützt werden, müssen daher bis tief in den Gebirgskörper hinein offen sein. Zwar war zu erwarten, daß der Stollen zum Teil diesen hohlraum-offenen Bereich unterfahren und daher meiden würde, bedingt durch seine Lage in einer Tiefe, in welcher durchaus nicht mehr alle Störungsfugen klaffen. Trotzdem bestand auch in dieser Tiefe die Gefahr von Wassereinbrüchen infolge der Gesteinsauflockerung in den größeren Störungszonen in Verbindung mit der Druckentlastung durch das Auffahren des Stollens.

Wie bereits ausgeführt, war damit zu rechnen, daß dem Sieben-Quellen-Austritt ein Hohlraum oder Hohlraumsystem als Wassersammler vorgeschaltet sei, dessen Gestalt und Ausmaße jedoch unbekannt waren. Es bestand daher die Möglichkeit, daß der Stollen diesen Stauraum östlich der Sieben Quellen treffen würde, was neben der Wassereinbruch-Gefahr zumindest eine Schüttungsminderung, wenn nicht das zeitweise Trockenfallen der Quellen zur Folge haben konnte. Im Falle eines Wassereinbruches durch Anfahren des Sammelraumes hinter den Sieben Quellen war mit einem Wasseranfall zu rechnen, der anfänglich die normale Schüttung der Quellen weit übertreffen, also wesentlich größer als 250 bis 300 l/sec. sein konnte.

Unter dem Plateaubereich der Schneealpe unterfährt der Stollen zunächst die Dolinenfelder, die zwischen Grünkogel, Schauerkogel und Rinnhoferhütte liegen. Allein in diesem Bereich können, ohne die Randgebiete einzubeziehen, über sechs Dutzend Dolinen gezählt werden, die zumeist als Schlucklöcher aktiv sind, wobei eine direkte Verbindung dieser Speisstellen mit den

Sieben Quellen durch den Färbeversuch der Gemeinde Wien nachgewiesen wurde. Es war zwar allgemein damit zu rechnen, daß sich die zahlreichen an die Dolinen anschließenden Wasserwege im Berginneren zu weniger zahlreichen, dafür aber größeren und wasserreicheren Fließwegen noch über dem Stollenniveau vereinigen, doch war auch hier das Vorhandensein einzelner tiefreichender Störungsfugen als gegeben anzunehmen, welche die Wasserabfuhr bis zur Tiefe des Stollens zu besorgen imstande sein sollten.

Vom Mooskogel an gegen Nordosten ändern sich die Verhältnisse insoferne, als das Gebirge nicht mehr durch eine große Zahl von Dolinen und damit verbundenen Karstschläuchen durchsetzt ist. Es wird jedoch bis gegen die Reißtal-Klamm von einer Anzahl größerer und kleinerer Störungszonen durchsetzt, welche NW-SE und NNW-SSE quer zur Stollentrasse streichen. Daß auch diese Störungszonen als Wasserbringer in die Tiefe wirken würden, war aus der Anlage der Senkungsfelder im Plateaubereich abzulesen, die entstehungsmäßig an die Störungszonen gebunden sind.

Folgende hydrogeologisch wichtige Störungszonen waren besonders zu beachten:

Zwischen Mooskogel und Schauerkogel, Beginn am Westfuße des Mooskogels und Nachmittagshalt, im Sattel zwischen den beiden Erhebungen, mit Streichen gegen den oberen Lomgraben in südöstlicher Richtung.

Zwischen Nachmittagshalt und P. 1730, setzt ein im Ostfuße der Kleinen Burgwand, streicht in die Westwände des Lomstein (Zäunl-Wand), ist im Plateaubereich durch ein ausgedehntes Senkungsfeld markiert.

Die Reichenschal-Störung, welche den Reichenschal-Graben durchzieht, im Sattel zwischen Ameisbühel und Schauerwand nach Osten umschwenkt und über die Ameisbühel-Alm gegen die Naßwand streicht. Westlich der Ameisbühel-Alm zweigt von der letztgenannten Störung eine Seitenstörung ab, die auf den Gipfel der Schauerwand zustreicht und durch eine kleine Senkungszone markiert wird. Parallel zur Reichenschal-Störung streicht die Ameisbühel-Störung, die westlich unterhalb der Baumtalhütte einsetzt und den Südfuß des Ameisbühels (nördlich der Alm) umzieht und in ENE-Richtung in das Hochtal westlich der Kühwand einschwenkt.

Eine weitere Störung, die, vom kleinen Sattel (Jägerhütte) zwischen Hoher Turm und Natterspitz kommend, die Flanken des Ameisbühel-Grabens durchzieht, die kleine Verebnung auf dem Ostsporn des Ameisbühels in rund 1710 m Höhe quert und in Richtung Naßwald weiterstreicht. Die Bindergraben-Störung, die, vom Binderkogel kommend, den Bindergraben durchzieht und über das obere Karlböndle in Richtung Naßwand streicht.

Schließlich die Schöner-Luken-Störung, die oberhalb des Strohtenn einsetzt und über Schöner Luken zum Naßkamm streicht, und eine kleine N-S-Störung im Bereich der Hornermauer südwestlich der Reißtalklamm.

Zu diesen quer verlaufenden Störungen kommt noch eine Störungszone, welche der Stollentrasse in SW-NE-Richtung ungefähr parallel läuft. Sie setzt ein in der Senke westlich des Schneealpen-Hauses, wo sie durch Dolinenreihen gekennzeichnet ist, und zieht östlich am Mooskogel vorbei im oberen Teil der Wände, die den Lomgraben gegen Nordwesten abschließen, und weiter durch die Eintalung südlich von P. 1730. Östlich dieses Punktes kreuzt sie die Reichenschal-Störung. Ihr weiterer Verlauf ist nicht sicher feststellbar. Möglicherweise streicht sie über die Ameisbühel-Westflanke gegen die Wasseralm.

Außer den Störungen ist eine Gruppe von Dolinen zu erwähnen, die z. T. nicht unmittelbar auf deutlich erkennbaren Störungsfugen aufsitzen, aber das in ihnen einsickernde Wasser über Klüfte an die Störungen heranführen können, wie im Bereiche der Ameisbühel-Alm zu beobachten war.

Bei den genannten Störungszonen bestanden von vornherein Anzeichen, daß sie von einem wesentlichen Teil der einziehenden Wässer auf deren Weg zu den Austrittsstellen, vor allem zur Wasseralmquelle, als Fließwege benützt werden, während zwischen den Störungszonen im großen und ganzen trockene Gebirgsabschnitte zu erwarten waren.

Naturgemäß war die Gefahr von verstärktem Wasserzudrang oder Wassereinbrüchen im Kreuzungsbereich von Störungszonen verschiedener Richtung besonders groß, da es in diesem Bereichen häufig zur Ausbildung von Wasserschloten und -gängen kommt, welche die Wässer verschiedener Einzugsgebiete sammeln und gesammelt weiterleiten. Solche Kreuzungszonen wurden hinter den Sieben Quellen gegen den Rauhenstein (etwa unter P. 1163 und in der südlichen Verlängerung des Karlbodens), ferner zwischen Mooskogel und Schauerkogel, sodann am Plateaurand östlich des Mooskogels und am oberen Ausgang des Lomgrabens auf das Schneealpen-Plateau, und schließlich ganz besonders ausgeprägt im Sattel zwischen Schauerwand und Ameisbühel westlich der Ameisbühel-Alm festgestellt.

Wie im Falle eines Anfahrens des Sammelraumes hinter den Sieben Quellen eine negative Beeinflussung der Quellenschüttung zu erwarten war, ebenso ließ die Anzapfung der wasserführenden Störungszonen im mittleren und nordöstlichen Plateaubereich, insbesondere im Gebiet Schauerwand—Ameisbühel und nordöstlich davon (Karlböndle, Schöner Luken bis Reißtal-Klamm) eine wesentliche Schüttungsminderung vor allem der Wasseralm-Quelle, aber auch anderer Quellen, wie etwa der Kalten Quelle und der Schiefauer Quelle, erwarten. Außerdem war damit zu rechnen, daß ein Teil jener Wässer im Stollen abgefangen würde, welche in den anschließenden Talregionen nicht als sichtbare Quellaustritte, sondern als seitliche Zuflüsse zum Begleitgrundwasser von Bachläufen einziehen.

Wassermenge

Auf Grund der aus den Voruntersuchungen gewonnenen Resultate konnte der auf der gesamten Stollenstrecke zu erwartende Wasserzudrang überschlägig geschätzt werden. Dabei ergab sich, daß dieser in der Größenordnung von 1/2 bis 1 Kubikmeter pro Sekunde liegen würde. Wesentlich war dabei, darauf hinzuweisen, daß diese Angabe nur als Größenordnung der durch ständigen Einzug anfallenden Wässer anzusehen war, und daß beim eventuellen Anfahren größerer wasserspeichernder Gesteinshohlräume bis zum Leerlaufen derselben in Summe sowohl wie im Einzelfalle Wassermengen zutreten könnten, die das angegebene Maß je nach Inhalt solcher Speicherräume beträchtlich übersteigen würden.

Zur frühzeitigen Feststellung wasserführender Zonen während des Vortriebes wurden Tastbohrungen (vorauseilende Bohrungen), Temperaturmessungen am Gestein und das Abhören der Stollenbrust im Vorgutachten empfohlen. Außerdem wurde auf die Möglichkeit der Einschwemmung von Gesteinsmaterial (Lehm, Sand) bei Wassereinbrüchen, und auf die Notwendigkeit der chemischen Analyse der im Stollen austretenden Wässer zur Erfassung baustoffschädigender Bestandteile hingewiesen.

1.3. Geologische Situation im Bereich der Quellfassung, des Aufschließungs- und Zugangsstollens und des Wasserschlosses (ursprüngliche Planung)

Im Zuge der Vorarbeiten wurden diese Planungsbereiche gesondert untersucht und im Maßstab 1 : 2880 sowie 1 : 500 aufgenommen. Beim Bau des Ableitungsstollens wurde das Hohlraumsystem, das den Sammelraum der Sieben-Quellen-Wässer darstellt, durchfahren und damit die Möglichkeit geschaffen, auf die Anlagen des Aufschließungsstollens und der Quellfassung zu verzichten, weil die Quellwässer im Berginneren regelbar in den Ableitungsstollen gebracht werden können.

Ob von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht werden kann oder ob das ursprüngliche Projekt zur endgültigen Durchführung gelangen muß, wird von der Entscheidung der Wasserrechtsbehörde abhängen. Die technisch bessere und elegantere Lösung wäre jedenfalls die Fassung der Wässer im Berginneren.

Oberhalb des Austrittes der Sieben Quellen stehen weiße bis graue, kompakte Kalke beiderseits des Karlgrabens an. Im Steinbruch nördlich der ehemaligen Touristenherberge Karlgraben und in den Felswänden unterhalb der Gefällsstufe (Wildbachverbauung) herrschen die hellen, weißlichen massigen Typen vor, während die höheren Teile des linken Talhanges und das Gebiet gegen die Sieben Quellen zu von grauen Kalktypen eingenommen wird, die deutliche Bankung zeigen, dunkle, kieselige Flasern enthalten und kantig brechen. Sie bauen die Kalkrippe auf, die in der West-Süd-Umbiegung des Karlgrabens liegt und nach Osten in Richtung zum Rauhenstein hin emporzieht. In den Felswänden in der Karlgraben-Umbiegung, etwa 150 m über dem Talgrund, war ihr Einfallen mit 60° in nordöstlicher Richtung zu messen, während sie, ebenfalls am linken Talhang, ungefähr 120 m nordnordöstlich der Sieben Quellen, mit 70° Neigung gegen Westen fallen.

Die genannten Kalke werden von zahlreichen kleineren und einigen durchgreifenderen Störungen durchsetzt bzw. begrenzt. Eine Bruchlinie verläuft parallel zum unteren Karlgraben südwärts, eine weitere, parallel zur ersten verlaufende, kann bis nordnordöstlich oberhalb der Sieben Quellen verfolgt werden, wo sie einerseits die grauen Kalke gegen Dolomit und andererseits fleischrote, dickbankige Kalke gegen dünnschichtige, dunkelgraue, stellenweise mergelige Kalke mit zahlreichen Kalzitadern abschneidet. Diese Störung, deren Fläche mit 60 bis 70° nach Westen einfällt, wird von einer Bruchlinie mit Ost-West-Verlauf gekreuzt. An dieser treten in den tieferen Teilen des linken Talhanges dünnplattige und tonig-mergelige, lehmig-sandig verwitternde, stark gepreßte Kalke auf. Etwa zwanzig Meter oberhalb des Talgrundes gabelt sich die Bruchlinie. Ihr südlicher Ast verläuft in westsüdwestlicher Richtung, während der nördliche nach Nordwesten umschwenkt und an der rechten Talseite weiter verfolgt werden kann, wo er die im Steinbruch aufgeschlossenen lichten Kalke gegen körnigen Dolomit abgrenzt. Diese Grenze ist durch eine scharfe Geländefurche gekennzeichnet.

Die oben erwähnten fleischroten Kalke, die im untersuchten Bereich rötlich-weiße, rötlich-graue und rot-grau-gefleckte, endogen brekziöse Varianten zeigen, treten in der näheren Umgebung der Sieben Quellen auf und sind streifenförmig, an tektonischen Linien gegen Dolomit abgesetzt, nach Osten bzw. Südosten aufwärts zu verfolgen. Nur an ihrem Nordrand scheinen sie den grauen Kalken stratigraphisch aufgelagert zu sein. Sie bilden einzelne Felsmassen im Wald NE oberhalb der Sieben Quellen und fallen dort nach Süden bzw. Südosten ein, an einer Stelle mit 50°, an einer benachbarten mit 65°. Zwei weitere Streifen der roten Kalke setzen bei den Quellen ein. Dabei zeigt der breitere nördliche, der durch eine etwa west-ost-laufende Störung von der Hauptmasse rötlicher Kalke abgesetzt und weiter oberhalb zwischen Dolomit tektonisch eingekeilt ist, deutliche Antiklinalstruktur, indem er im nördlichen Teil mit 60° nach Nordnordwest, im südlichen mit 40° nach Südsüdost einfällt. In einer Geländenische am Weg oberhalb der Sieben Quellen ist das faltenförmige Umbiegen der Schichten zu sehen. Der südlichste, schmalste Streifen der roten Kalke wird, ebenfalls begrenzt durch NW-SE-Störungsflächen, vom mittleren durch einen Dolomitstreifen getrennt, der oberhalb der Hauptaustritte der Sieben Quellen mit 60° nach Nordosten fällt und etwas weiter östlich saiger steht. In dem südlichsten Streifen der roten Kalke war ein Einfallen nicht meßbar.

Im Gebiet der nördlichen roten Kalke liegt eine Scholle der bereits oben erwähnten dünnschichtigen dunkelgrauen Kalke, die mit zahlreichen weißen Kalzitadern durchsetzt sind. An der Basis dieser Scholle findet sich Gesteinsmaterial, welches jenem entspricht, das von oberhalb der Gabelung der Störung, welche das Tal übersetzt, in den grauen Kalken beschrieben wurde: dünnplattiger, tonig-mergeliger, lehmig-sandig verwitternder, stark gepreßter Kalk.

Südlich des ganzen Vorkommens roter Kalke folgt Dolomit mit 60° Südfallen. Brüche, an denen nahe dem Talgrund die südlichen Quellenaustritte liegen, verlaufen West-Ost bis Westsüdwest-Ostnordost und werden von einer Störung gekreuzt, welche mit NW-SE-Richtung parallel zu jenen Störungen liegt, welche die roten Kalke streifenförmig zerlegen. Nahe der Quellaustritte erscheint der Dolomit etwas kalkig, weiter nach Süden zu wird er reiner, durchgreifende Störungen waren dort nicht festzustellen. Doch tritt weiter nach Süden bzw. Südosten zu ein Wechsel in der Lagerung ein. Nordöstlich oberhalb des seinerzeit geplanten Wasserschlosses bildet der Dolomit einen Felsturm und fällt dort mit 50° etwa gegen Süden, während ca. 50 m nördlich davon 40° Nordwestfallen gemessen wurde. Beim Mundloch des Zugangsstollens herrscht wiederum Nordfallen mit 40°. Der Dolomit bildet somit südlich der Sieben Quellen zunächst eine Mulde, der sich im Süden eine Antiklinale anschließt, die ihrerseits im Süden wieder von muldenförmiger Lagerung abgelöst wird.

Südlich vom Zugangsstollen und Wasserschloß hebt der Dolomit über Schiefertonen, Sandsteinen und Tonmergeln aus. Diese Gesteine beherrschen das südlich anschließende Wiesengelände, in dem sich eine Quelle befindet. Typische Geländeformen, wie Abrißnischen und Stirnwülste, weisen darauf hin, daß in diesem Gelände Rutschungen stattgefunden haben.

Die Zuordnung der beschriebenen Gesteine zu entsprechenden Gesteinseinheiten in größerem Rahmen kann wie folgt gegeben werden:

Der Komplex der weißen und grauen Kalke gehört dem Wettersteinkalk an, der Dolomit ist Wettersteindolomit. Zu den Werfener Schichten gehören die im Süden dem Dolomit folgenden Schiefertone, Sandsteine und Tonmergel. Die roten Kalke wurden, wie bereits unter 1.1. erwähnt, von H. P. Cornelius in der geologischen Spezialkarte 1 : 75.000, Blatt Mürzzuschlag, als „Pseudo-Hallstätterkalk" bezeichnet und ins Niveau des Wettersteinkalkes gestellt (Ladinische Stufe).

Zum Muschelkalk, u. zw. zum Gutensteiner Kalk, gehören die dunkelgrauen, etwas mergeligen Kalke mit weißen Kalzitadern. Bei den lehmig-sandig-verwitternden, dünnplattig-schiefrigen, zerquetschten Kalken, welche an der Basis der Muschelkalk-Scholle und in der durchgreifenden West-Ost-Störung nördlich der Sieben Quellen auftreten, handelt es sich um stark tektonisierte Partien des Muschelkalkes.

1.4. Geologische Situation im Gebiet des Anschlagpunktes des N-Trums (Gebiet der Reistalklamm)

Das Gebiet um den Anschlagpunkt des Nordtrums des Schneealpenstollens (Talfurche des Reißtales) zeigt in seinem Aufbau eine Reihe von Unter- und Mitteltriasgesteinen, welche Werfener Schichten, Gutensteiner Kalk und Gutensteiner Dolomit, Reiflinger Kalk, Wettersteindolomit und Wettersteinkalk umfassen. Der Talgrund des Reistales und die talnahen Hangteile bestehen teils aus quartärer Talfüllung (Moränenmaterial), teils aus alluvialen und rezenten Bildungen (Talalluvionen, Hangschutt, Schuttstrom als Grabenfüllung, Schwemmkegel).

Werfener Schichten, teils mit kalkigen Einlagerungen, finden sich vom Binderwirt an nach Süden über den Naßkamm hinweg (bis hinunter ins Altenberger Tal). Sie bilden die Unterlage der Kalkserie der Schneealpe. Im Gebiet der Reistalklamm treten sie nicht an die Oberfläche. Hingegen sind sie weiter im Norden, im Gebiet Hinternaßwald—Wasseralm, wieder vorhanden, dort allerdings nur in Sandstein- und Schiefer-Fazies. Die kalkigen Einlagerungen fehlen.

Gutensteiner Kalk und Gutensteiner Dolomit reichen ebenfalls nicht in den Bereich der Reistalklamm herein, finden sich jedoch in der Nachbarschaft, u. zw. die Kalke in schmaler Zone vom Binderwirt nach Westen und unter die Naßwand streichend unter Einschaltung von Dolomit, Dolomitschollen südöstlich Binderwirt unterhalb der Bärenlochkögeln und östlich des Naßkammes.

Reiflinger Kalk ist im Reistalklamm-Bereich aufgeschlossen und streicht von dort nach Südwesten in die Hornermauer. Ein Ausläufer stößt nach Norden gegen das Gebiet des Stollenanschlagpunktes des Nord-Trums vor, reicht jedoch nicht in dieses hinein.

Das Gebiet um den Anschlagpunkt wird von Wettersteinkalk und -dolomit beherrscht. Diese Mitteltrias-Gesteine nehmen den weitaus größten Teil der gesamten Umgebung ein. Sie bilden die Talflanken beiderseits des Reistales und bauen im Südwesten und Westen den wesentlichen Anteil der Schneealpe (Ameisbühel—Natterspitz—Wasseralm-Südseite) auf.

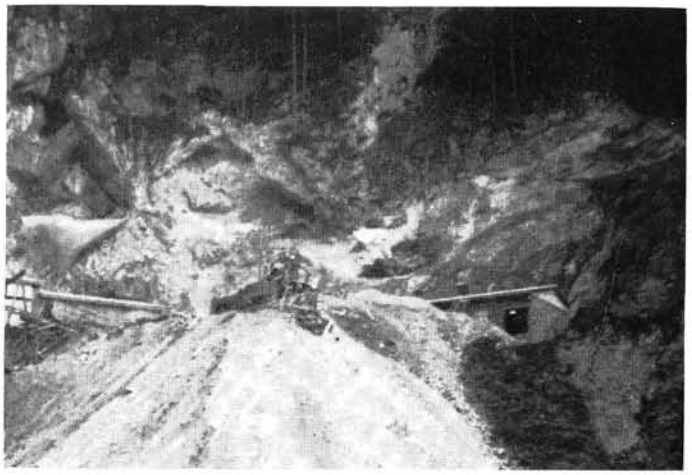


Abb. 5. Anschlagbereich Schneealpenstollen-Nordtrum, bestehend aus wandbildendem Wettersteinkalk und -dolomit.

Detailbeschreibung.

Eingang Reistalklamm:

Während der Südteil des Untersuchungsbereiches aus Wettersteindolomit besteht, wird der Nordteil von Wettersteinkalk aufgebaut. Die Grenze zwischen beiden Gesteinsarten verläuft vom Talboden nach Westen hangaufwärts, und zwar ca. 200 m nördlich des Anschlagpunktes.

Anstehend kommt der Wettersteinkalk nördlich dieser Grenzlinie in einzelnen Aufbrüchen unter Hangschutt im Jungwald vor, es ist jedoch kein Zweifel, daß unter dem seichten Schuttschleier, der durchwegs aus Lockermaterial dieses Gesteines besteht, keine anderen Schichtglieder eingeschaltet sind, was sich schon aus der Verteilung der Aufschlüsse ergibt. Das Einfallen der Kalke liegt mittelsteil in Richtungen um Ost.

Wesentlich besser sind die Aufschlußverhältnisse im südlichen, von Dolomit eingenommenen Bereich. Zwar sind im südlich an den Kalkbereich anschließenden, mit Hochwald bestandenen Teil die Aufschlüsse zunächst auch auf einzelne Schollen beschränkt, die aus dem Hangschutt aufragen, der südlich anschließende Graben mit Felsflanken und schließlich die vom Eingang Reistalklamm nach Südwesten aufsteigende Felsrippe lassen jedoch Gesteinsverhältnisse, Lagerung und Störungssystem einwandfrei erkennen.

Es handelt sich dabei um hellen, grusig zerfallenden, mittelgrauen, dichten, stellenweise auch dunkelgrauen, kleinstückig brechenden Dolomit. Während die hellen bis mittelgrauen Gesteinstypen an den Grabenflanken und in der Felsrippe zu finden sind, nimmt der dunkelgraue Dolomit die waldbestandene Geländenische unterhalb der Felswand in jenem Teil des Gebietes ein, über welchem das Mundloch des Nordtrums liegt.

Lagerung: Die Dolomite zeigen meist deutliche Schichtung bis Bankung. Das Einfallen liegt allgemein in Richtungen um Ost, ist im tieferen Teil steil, im oberen mittelsteil hangauswärts, meist steiler als der Hang, gerichtet.

Störungen: Im gut aufgeschlossenen Südteil des Gebietes waren zwei Störungssysteme zu beobachten, die einander annähernd rechtwinkelig schneiden. Das eine, welches den Grabenverlauf vorzeichnet, ist SW-NE gerichtet.

Der durchgehenden Grabenstörung parallel laufen zahlreiche kleinere Einzelbrüche, besonders in der Umgebung der Grabenenge oberhalb des Anschlagpunktes, ebenso im höchsten Teil des Mundlochgebietes, bei den Felstürmen oberhalb des Anschlagpunktes und in den tiefer gelegenen Teilen, im Bereich der Felswände am Reistalklamm-Eingang.

Das System der Querstörungen mit SE-NW-Verlauf erscheint auf diesen tieferen Teil beschränkt. Es handelt sich dabei um staffelförmig übereinanderliegende Brüche. Dazu kommen schräg einfallende Bruchflächen, die am Felswandfuß am Eingang zur Reistalklamm eingemessen wurden. Stellenweise liegen diese Bruchflächen so zahlreich und dicht hintereinander, daß sie den Eindruck einer Schichtung erwecken.

Die beobachteten Störungen liegen einerseits (SW-NE-System) parallel zum heutigen Stollenverlauf, andererseits (SE-NW-System) queren sie diesen. Zonen starker oder gar extremer Zerrüttung waren nirgends aufgeschlossen zu beobachten, konnten jedoch für den Teil, der morphologisch durch den Grabenriß gekennzeichnet ist, nicht ausgeschlossen werden. Allerdings liegt dieser bereits nördlich außerhalb der Stollentrasse.

Junge Deckschichten: Diese finden sich einerseits als Hangschuttschleier über Dolomit und weisen als solche nur geringe Mächtigkeiten (bis höchstens eineinhalb Meter) auf. Größere Mächtigkeit erreicht stellenweise die Schuttstrom-Füllung im Grabenbereich nördlich des Anschlagpunktes (möglicherweise bis 4 m).

Talbereich (Eingang Reistalklamm bis unterhalb Reistalquelle):

Unmittelbar unterhalb des Einganges der Reistalklamm wird die Talfüllung von Terrassenschottern gebildet, und zwar bis zur Überspannung der Straße durch die Lichtleitung. Von dort abwärts sind die Terrassenschotter von einem vom Osten bis an den Reistalbach herabreichenden Schwemmkegel überschüttet, die Terrasse kommt unterhalb desselben auf der Wiese wieder zum Vorschein und reicht bis an die Biegung des Reistalbaches, wo sie mit deutlichem Rand gegen den Bach und gegen die Talseite (Norden) abgesetzt ist (Höhendifferenz bis 2 m). Bachabwärts ist das Tal von Moränenmaterial erfüllt, das aber im Bereich der Straße bis etwa zum südlichen Zaun des Reistalquelle-Schutzgebietes von einem kleineren, ebenfalls vom Osten kommenden Schwemmkegel überlagert wird.

Moränenmaterial (Schotter und Lehm mit einzelnen Blöcken) bildet auch die östliche Talflanke vom Eingang der Klamm bis hinunter zum größeren, südlichen Schwemmkegel und weiters unterhalb desselben bis zum kleineren Schwemmkegel. Nördlich desselben lagert Hangschutt, aus dem innerhalb des Schutzgebietszaunes Wettersteinkalk in kleinen Felsmassen zum Vorschein kommt.

Zwei ehemalige, jetzt trocken liegende Quellrinnen sind im Moränenmaterial nahe der jetzigen Quellfassung der Reistalquelle morphologisch ausgeprägt, wobei die eine, breitere rund 25 m oberhalb der Quellfassung, die andere, schmälere, unmittelbar an der Quellfassung ansetzt.

Die steile bis mittelsteile, meist steiler als der Hang bergauswärts gerichtete Lagerung der Dolomite im Mundlochbereich, die allgemein quer durch den Stollen verläuft, bedingte gutes Stehen des Gesteins und konnte im allgemeinen beim Ausbruch den Gebirgsdruck weitgehend aufnehmen. Davon ausgenommen waren stark gestörte Zonen, in denen das Gestein durch engständige Bruchflächen aufgelockert war, was insbesondere zu Nachbrüchen von der Firste her Anlaß gab. Dies traf für oberflächennahe Teile in der Nähe des Mundloches hinter dem Wasserschloß zu. Ungünstig wirkte sich auch streckenweiser Verlauf des Stollens innerhalb einer in gleicher Richtung (NE-SW) verlaufenden Längsstörung aus, doch stellten sich solche Störungen über längere Distanzen als geöffnete Fugen erst tiefer im Gebirgskörper ein.

Im Berginneren war mit der Möglichkeit eines Hineinragens von Muschelkalk vom Liegenden her in den Stollenbereich zu rechnen. Mit dem Emportauchen von Werfener Schichten bis über die Stollentrasse mußte gerechnet werden, je mehr sich der Vortrieb dem Bereich Weiße Wand—Ameisbühel näherte, ebenso mit der Möglichkeit von Wassereinbrüchen.

Rohrtrassengelände Reistal:

Im Gebiet vom geplanten Wasserschloß bis unterhalb der Reistalquelle waren bis auf die Schuttstromfüllung des Grabens nördlich der Felsrippe der Reistalklamm keine nachteiligen Erscheinungen, wie rutschungsgefährdete Hänge, Sackungen und dergleichen zu beobachten. Bei entsprechender Sicherung des Grabenüberganges war daher gegen den geplanten Verlauf der Rohrleitungen vom Wasserschloß talauswärts (Ableitungsrohrstrang) kein Einwand zu erheben.

Deponiegelände Reistal:

Mit Rücksicht auf die Hangschuttbedeckung in dem steileren, für die Deponie vorgesehenen Gelände, erschien es geraten, diese etwas weiter talwärts am Hang ansetzen zu lassen, so daß ein möglichst großer Teil von ihr nicht auf dem bei größerer Belastung mobil werdenden Lockermaterial am Hang, sondern bereits auf dem flachen Talboden zur Auflagerung gelangte.

1.5. Luftbildgeologische Untersuchung des Projektgebietes

Nach dem Abschluß der geologischen Detailuntersuchungen in den Bereichen der Quellenfassung, des Quellfassungs-Stollens, des Wasserschlosses im Karlgraben bei Neuberg/Mürz und der Stollenausleitung bei Hinternaßwald (Reistal) wurde die geologische Detailbearbeitung für den Bereich der Stollentrasse im Schneealpen-Massiv ausgeführt. Da die für das in Betracht kommende Gebiet bereits bestehenden geologischen Unterlagen (Geologische Spezialkarten 1 : 75.000) einerseits zu großmaßstabig, andererseits in tektonischer Hinsicht unbrauchbar waren, war eine Kartierung des Gebietes im Maßstab 1 : 25.000 als Arbeitsunterlage notwendig. Die Aufnahmsarbeiten im Gelände wurden im Frühjahr und Sommer 1965 durchgeführt.

Zur Vorbereitung und Unterstützung der Außenaufnahmen diente die Untersuchung und geologische Auswertung von Luftbildern der Serie 18191 bis 18195. Bearbeiter war Dr. H. Holzer, Geologische Bundesanstalt.

Die Luftbildauswertung hatte eine detaillierte Darstellung der geologischen, insbesondere der tektonischen Verhältnisse des Untersuchungsgebiets zum Ziel. Die Ergebnisse sind im folgenden zusammengefaßt.

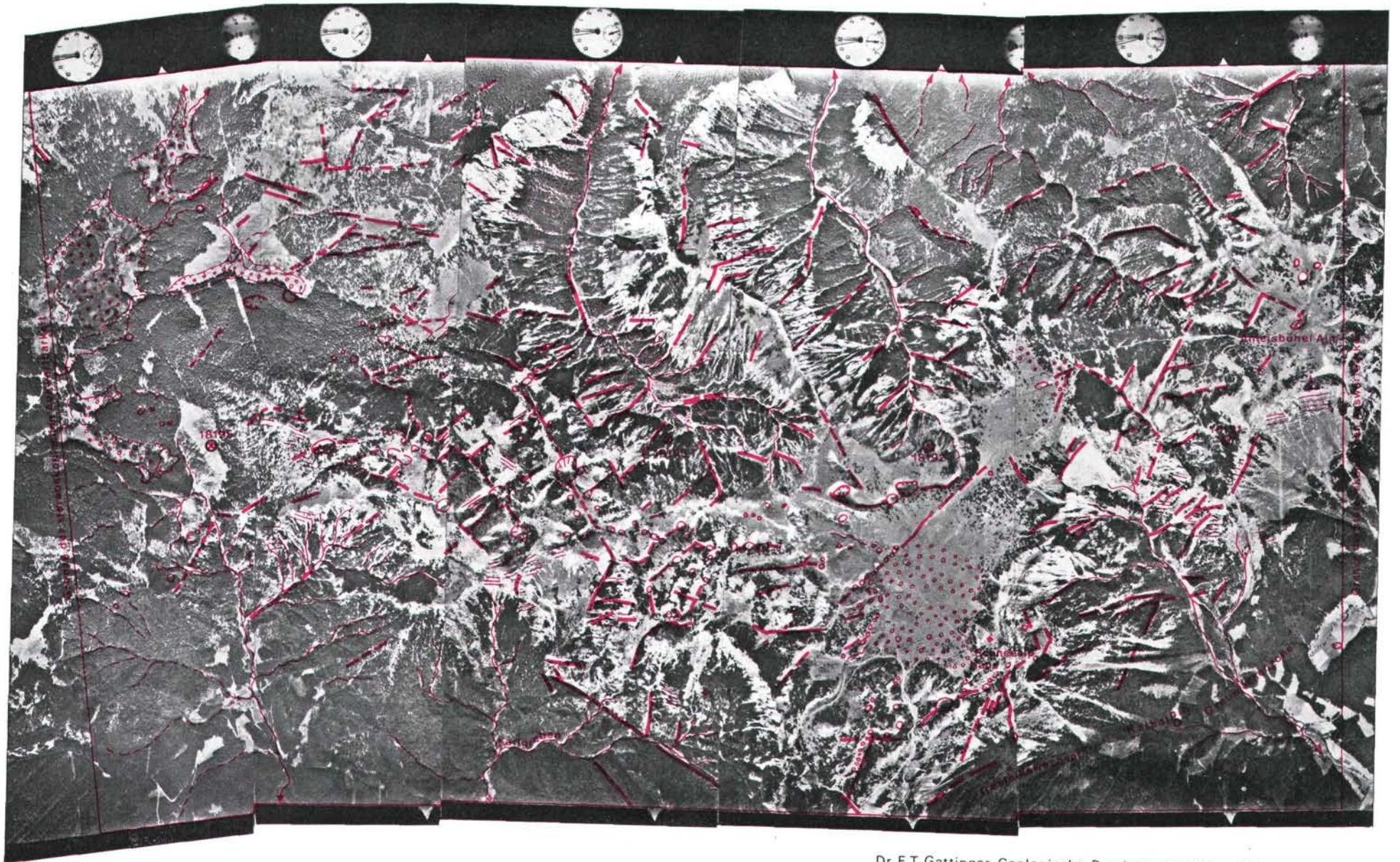
Eine große Anzahl von Störungen durchsetzt den Kalkalpenanteil des Schneealpenmassivs, während der zur Grauwackenzone gehörende Anteil, der den Sockel des Kalkplateaus bildet, keine derartigen Störungen zeigt (Südosten des Untersuchungsbereiches).

Bei den genannten Störungen handelt es sich überwiegend um steilstehende Brüche, die jedoch den Kalkkörper nicht regellos in Schollen zerlegen, sondern zwei Hauptrichtungen folgen, und zwar einerseits der Nordwest-Südost-Richtung, andererseits, ungefähr senkrecht darauf, der Nordost-Südwest-Richtung.

Diese letztgenannte Störungs-Hauptrichtung erschien für das Stollenprojekt besonders bedeutungsvoll, weil sie parallel bis spitzwinkelig zur Stollenrichtung verläuft und damit die Möglichkeit gegeben war, daß der Vortrieb beim Anfahren einer durchlaufenden Störung dieser Richtung auf längere Strecken in der betreffenden Bruchzone verbleiben würde. Da die als Schlucklöcher für Niederschlags- und Schmelzwässer wirkenden Dolinen vorwiegend an Störungslinien gebunden sind, war beim Anfahren der Bruchzonen durch den Stollenvortrieb mit Wasserzudrang zu rechnen.

Daß die mit Hilfe der Luftbildauswertung festgestellten Brüche nicht nur oberflächliche Erscheinungen sind, sondern sich in die Tiefe bis zur Sohle der Kalkauflagerung fortsetzen, ging außer aus Färbeversuchen auf der Schneealpe auch aus Untersuchungen hervor, die in ähnlichen Karstgebieten (Dachsteinmassiv) durchgeführt wurden.

Außer der genauen Erfassung der Störungssysteme hat die Luftbildauswertung auch einen Überblick über Streichrichtungen der Gesteine und die Neigungsverhältnisse der Schichten verschafft. Es ist dabei zu erkennen, daß Fälle auftreten, in denen das Streichen der Schichten die generellen Streichrichtungen um West-Ost verläßt, und daß sich Abweichungen sowohl nach der Südwest-Nordost-Richtung, als auch nach der Nordwest-Südost-Richtung ergeben. Diese lokalen Abweichungen herrschen innerhalb einzelner von tektonischen Flächen (Störungen) begrenzten Schollen.



Dr. E.T. Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien, Schneealpenstollen

LEGENDE:

18193 Bildnummern u. Bildmittelpunkte

Gerinne (zeitweise trocken)

Mulden Dolinen

Lockergesteins-massen

Hangschutt

Störungen durchgehend / unterbrochen

Ausstreichen von Schichtköpfen und Schichtneigung

Abb. 6. Geologische Auswertung der Luftbilder des Trassenbereiches des Schneealpenstollens.

Die Neigung der Gesteine ist generell in Richtung um Nord flach bis mittelsteil gerichtet.
Weiters hat die Luftbilduntersuchung die Feststellung und Abgrenzung wichtiger Lockergesteinsmassen ergeben, die für den Einzug von Niederschlags- und Schmelzwässern in den Kalkkörper des Schneealpenmassivs von Bedeutung sind.
Im Südosten konnte die tektonische Grenzlinie zwischen Kalkanteil und Grauwackenanteil des Untersuchungsgebietes festgelegt werden.

Als Grundlage für die erforderlichen und nachfolgend ausgeführten Geländeaufnahmen an Ort und Stelle waren die Resultate der Luftbildauswertung von größtem Wert, da gerade durch sie jene geologischen und tektonischen Elemente genau erfaßt werden konnten, die einerseits für das Stollenprojekt von wesentlicher Bedeutung waren, andererseits bei der Geländekartierung in dieser Vollständigkeit und Geschlossenheit nur mit unverhältnismäßig großem Zeit- und Arbeitsaufwand hätten erfaßt werden können.

1.6. Geologie des Stollens

Nach feierlichem Stollenanschlag am 6. Dezember 1965 wurde mit dem zweiseitigen Vortrieb begonnen.

Der Durchschlag erfolgte nach zirka zweieinhalbjähriger Bauzeit am 8. Juli1968. Bis zu diesem Tage wurden vom Norden 8101,50 m, vom Süden 1578,78 m Stollen aufgefahren (Gesamtlänge 9680,28 m).

1.6.1. Nordtrum

Der Anschlag des Nordtrums erfolgte im wandbildenden, dickbankigen Wettersteinkalk, den der Reistalbach in der Reistalklamm durchbricht. Der Kalk ist allgemein hellgelb, etwas dolomitisch und enthält dunkelgraue, stärker dolomitische Schollen. Störungsfugen im Bereich der Station 20 bis 25 wurden mit 70° Einfallen in W- bis NW-Richtung eingemessen. Das Schichtfallen lag um 65° in nördlicher Richtung.

Die Anfangsstrecke des Stollens bis Station 50 wurde als Verschub- und Manipulationsraum zum „Bahnhof" mit Sohlbreite 4,5 m erweitert.

Von Station 0 bis 10 wurde eine Sofortsicherung aus Spritzbeton (10 bis 15 cm) mit Baustahlgittereinlage aufgebracht, da sich infolge der oberflächennahen Lage der Anfangsstrecke Auflockerung nach hangparallelen Klüften zeigte.

Ebenfalls durch Baustahlgitter und Spritzbeton gesichert wurde der Felswandbereich oberhalb des Mundloches, um Gefährdung der Mannschaft und der Baustelleneinrichtung durch Steinschlag auszuschließen.
Im weiteren Vortrieb wurde das Gestein zunehmend dolomitisch, bis sich bei Station 45, am Beginn einer 10 m langen Störungszone, die sich durch starke Nachbrüche in der Firste äußerte, reiner Wettersteindolomit einstellte. In der Störungszone erfolgten von Station 45 bis 52 Tropfwasserzutritte aus der Firste, insbesondere aus den dicht hintereinander liegenden Störungsfugen, die mit 50 bis 70° in westliche Richtung einfielen.

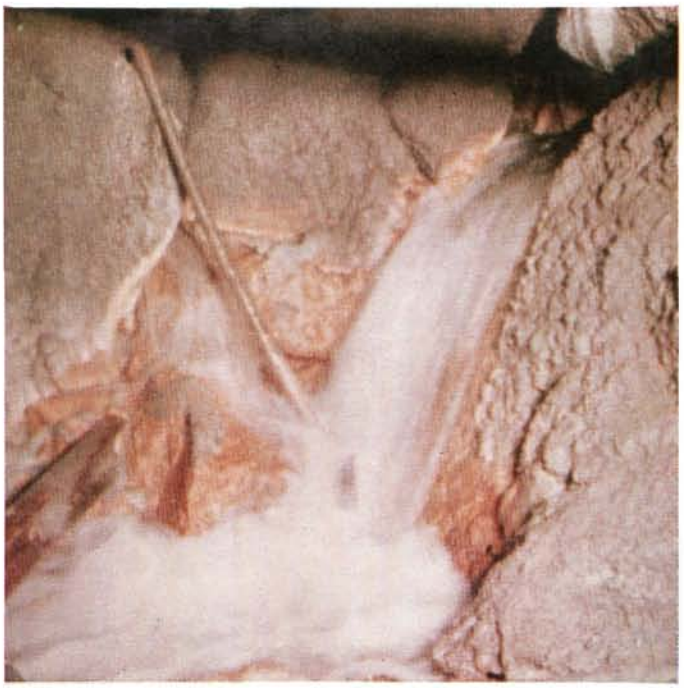


Abb. 7. Wassereinbruch, Nordtrum, Station 182.

Ab Station 65 vollzog sich wieder ein Wechsel vom Wettersteindolomit (teils dunkel-, teils hellgrau) zu einer unregelmäßigen Wechselfolge von Dolomit und Kalk mit fließenden Übergängen. Diese Wechselfolge hielt bis Station 148 an. Bei Station 115 kündigte sich eine schwere Störungszone durch weitständige Klüfte verschiedener Richtungen an, die mit starkem Überprofil, zonenweisem Auftreten von Dolomitmylonit und Lehmfüllungen in den Gesteinsfugen und -klüften bis Station 160 anhielt. Zwischen Station 122 und 136 war die Auflockerung so stark, daß eine Sofortsicherung durch Spritzbeton (10 bis 15 cm) mit Baustahlgittereinlage erforderlich war. Die Hauptrichtung der Störungsfugen im hellgrau-dunkelgrau gemaserten dolomitischen Kalk bis kalkigen Dolomit lief ungefähr in Richtung der Stollenachse und zeigte 60 bis 80° Einfallen in Richtungen um Nord.

Ab Station 148 wurde wiederum Wettersteinkalk, teils dolomitisch, hell, mit dunken Schollen und Nestern, angetroffen. Mehrausbrüche im Bereich des linken Kämpfers und an der Firste, bei Station 170 beginnend, stark zerdrückte Gesteinspartien und Kluftbestege aus gelbem Lehm sowie Harnischflächen kündigten am 9. Februar 1966 die nächste Störungszone an, die bei Station 182 voll angefahren wurde und einen Wassereinbruch von ungefähr 200 bis 250 l/sec. brachte, der bis 21. Februar 1966 auf ca. 80 l/sec. zurückging. Bei Station 200 war die Störungszone durchfahren. Ihre Sanierung erfolgte durch eine Ringbetonauskleidung (Station 171 bis 200), in die (bei Station 192) ein Schieber zum Zwecke der regelbaren Einleitung des Wasserzutrittes in den Stollen eingebaut wurde.

Abb. 8. Beginn der Ringbetonauskleidung, Nordtrum, Station 171 (bis Station 200).

Detailierte Ausführungen über die Karstwasserverhältnisse sind von F. Bauer unter dem Titel: „Karsthydrologische Untersuchungen im Schneealpenstollen in den steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen", Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jahrgang 1969, Graz 1969, veröffentlicht worden.

In der Folge war zu beobachten, daß mit Fortschreiten des Vortriebes kleinere Wasserzutritte bis über Station 900 „mitgezogen" wurden.

Ab Station 200 wurde das Gestein — Wettersteinkalk mit einem Wechsel von hellen und dunklen Lagen, gut geschichtet — wieder kompakt und zeigte sich bis Station 221 kaum gestört.

Von Station 221 bis Station 235 machten stark aufgelockertes Gestein (kleinklüftig) und Mehrausbrüche in Firste und linkem Ulm eine Sofortsicherung mit Spritzbeton und Baustahlgittereinlage notwendig.

Ab Station 235 bis Station 260 war der dezimeter- bis zentimeterschichtige, ab Station 255 stark endogen brekziöse und daher fleckig aussehende Wettersteinkalk gutmütig und erlaubte (z. B. am 24. Februar 1966) Tagesleistungen bis 12 m.

Von Station 260 bis 272 folgte eine Zone, in der die Kalke kleinstückig zerbrochen und von teilweise lehmgefüllten Störungsfugen (SW-fallend mit 60°) durchsetzt waren. Das Schichtfallen wurde mit 45° in Richtung N gemessen.

Bei Station 272 tauchte von Südosten schwärzlicher, dünnbankiger, stark gedrückter Gutensteiner Dolomit und Kalk mit weißen Adern und Nestern von Kalzit empor. Das Gestein war so stark beansprucht, daß es kleinstückig zerfiel und von Station 288 bis 295 eine Sofortsicherung von Spritzbeton mit Baustahlgittereinlage brauchte. Außerdem ergaben sich in der Folge Erschwernisse beim Bohren und Laden dadurch, daß sich, bedingt durch kleinstückigen Bohrlochnachfall, einerseits das Bohrgestänge häufig verklemmte, andererseits nach oft mühsamen Ziehen des Gestänges die zugegangenen Bohrlöcher das Laden erschwerten oder unmöglich machten, so daß neuerliches Aufbohren erforderlich wurde (Tagesleistung am 6. März 1966 am Beginn der Gutensteiner Dolomit- und Kalk-Strecke: nur 4 m!). Sickerwasserzutritte und dünne Lehmbestege auf den Flächen der Kleinklüfte verstärkten noch die unangenehmen Eigenschaften des Gesteins.

Im wesentlichen hielt die Gutensteiner Dolomit- und Kalk-Strecke bis Station 909 an, sie war nur an zwei Stellen von kurzen Einschaltungen anderer Gesteine unterbrochen: von Station 428,5 bis 431 durch einen Span dickbankigen Wettersteinkalkes und von Station 475 bis 479 durch mittelgrauen, mergeligen Kalk in Synklinalstellung, der als Reiflinger Kalk anzusprechen war.

Der Span von Wettersteinkalk war bei Station 431 gegen den nachfolgenden Gutensteiner Dolomit durch eine Dezimeter weit offene Kluft abgesetzt. Die Öffnung reichte 3 bis 4 m über die Firste ins Gebirge. Die übrigen Klüfte zeigten bräunliche und rötliche Lehmbestege. Fast der gesamte rechte Ulm folgte auf mehrere Meter einer Harnischfläche. Aus dem Zentralbohrloch der Brust bei Station 435 trat Wasser aus, das sich nach dem Abschlag allerdings wieder verlor. Die Folgestrecke ging wieder in weniger gestörten, dünnschichtigen Gutensteiner Kalk.

Weitere erwähnenswerte Störungszonen bis Station 909 (vorläufiges Ende von Gutensteiner Dolomit und Kalk) waren Zerrüttungszonen von Station 585 bis 586, dann von Station 701 bis 719, weiters von Station 829 bis 842 und schließlich von 892 bis 899. Im Störungsbereich 829 bis 842 war der dünnbankige Gutensteiner Dolomit stark kieselig. Stellenweise flache Lagerung der Gesteinsbänke über die Firste („Sargdeckelbildung") machte ausgedehnte Ankerung notwendig.

Bei Station 909 wurde der Gutensteiner Dolomit von Reiflinger Kalk abgelöst, der bis Station 917 stark zerrüttet und bis Station 930 reichlich von Harnischflächen durchsetzt war. Ab Station 930 begann Wettersteinkalk vom Firstbereich in die oberen Teile der Ulme hereinzuragen und kündigte die auf die weitgespannte und in sich wiederum gefaltete Gutensteiner Dolomit- und Kalk-Antiklinale folgende Synklinalzone an, die bis zum neuerlichen Auftauchen von Gutensteiner Dolomit bei Station 1014 reichte.

Diese Synklinalzone brachte nicht nur die in Muldenbereichen stets zu erwartenden und auch tatsächlich eingetretenen Wasserzutritte (neben zahlreichen kleineren auch solche mit Anfangsschüttungen bis 20 l/sec. wie bei Station 976,5), sondern auch bedeutende Schwierigkeiten für Vortrieb und Ausbau, da zum erstenmal Gebirge mit allen Erscheinungen tiefer Verkarstung zu durchörtern war. Bei Station 944 bis 946 zeigte der Wettersteinkalk in der Firste reihenweise scharfgratige, karrenartige Rippen von 2 bis 3 cm Höhe. Zwischen Station 948 und 952 wurde am unteren rechten Ulm ein von Harnischflächen begrenzter, mit 20 bis 30° nach Nordwesten aufsteigender Kluftraum von etwa 1 m Kluftweite aufgefahren, der mit fein- bis mittelkörnigem Sand und mit Bohnerzkügelchen bis 2 mm Durchmesser gefüllt war. Beim Öffnen der Kluft lief das Material teilweise aus und gab einen Hohlraum von rund 3 m Höhe frei. Bei Station 979,5 und 983 fuhr der Vortrieb in der Firste zwei runde Karstschläuche von je 40 bis 50 cm Durchmesser an, die in Hohlräume mündeten. Die beiden Kamine zeigten starke Wetterführung, die bei warmer Witterung in den Stollen drückend, bei kalter Witterung aus dem Stollen saugend

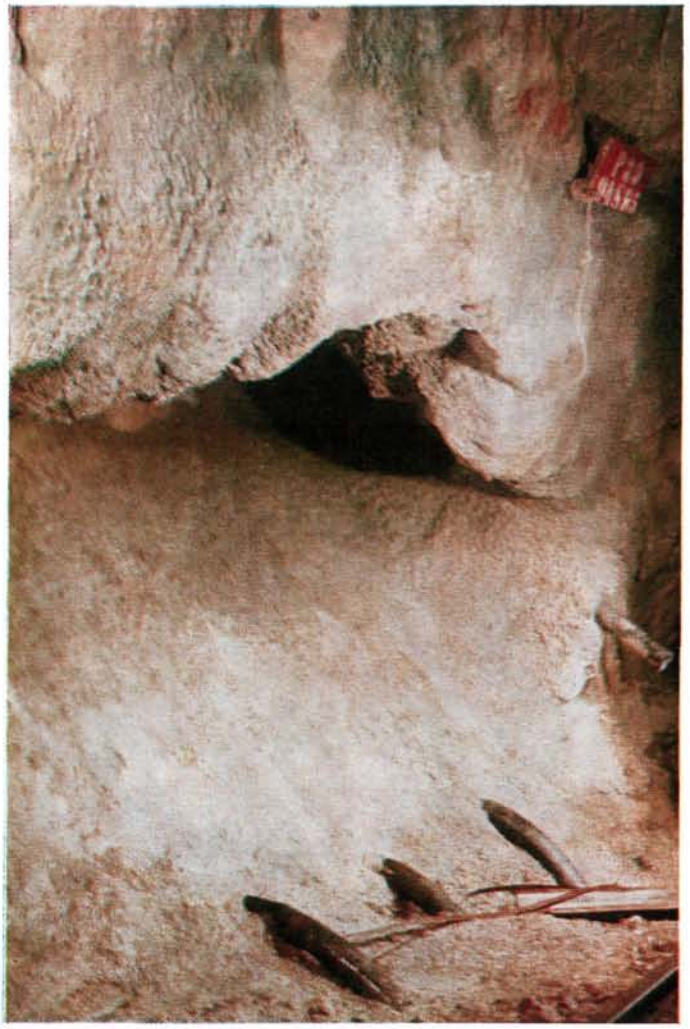


Abb. 9. Mit Spritzbeton plombierte und mit Plastikrohren zur Wasserableitung sanierte Sandkluft, Nordtrum, Station 948 bis 952.

Abb. 10. Karstschläuche in der Firste des Nordtrums bei Station 980 und 983, mit einbetonierten Rohrstutzen und aufgeschraubten Flanschplatten verschlossen.

wirkte. Die Wirkung war so stark, daß sie vorübergehend zur Stollenbewetterung ausgenützt werden konnte. Erst als mit größerer Entfernung des Vortriebes von den Luftschloten wieder künstliche Bewetterung erforderlich wurde, wirkte sich der natürliche Luftstrom als störende Unterbrechung des künstlichen Wetterstromes aus. Es wurden daher geflanschte Rohrstutzen in die Schlotmündungen eingebaut und Metallplatten als Verschlüsse aufgeschraubt.

Die Eintrittsstelle der Karstschlote befindet sich ziemlich genau unter dem Graben der Karlalpe (Karlgraben, nicht zu verwechseln mit dem gleichnamigen Graben, in dem die Sieben Quellen entspringen), die Überlagerung über Stollenniveau beträgt hier rund 250 m.

Noch vor Erreichen dieser großen Hohlräume war von Station 948 bis 952 eine Zone durchfahren worden, in welcher der Wettersteinkalk von kleinen, meist gut ausgewaschenen Hohlräumen bis 10 cm Durchmesser gleichsam durchlöchert war.

Am Ende der Synklinalstrecke bei Station 1005 bis 1013 wurden eine Reihe von kleineren Wasserzutritten angefahren, ehe bei Station 1014 der Vortrieb in eine Antiklinale von Gutensteiner Dolomit eintrat, deren hangende Partien helle Einlagerungen vom Typus Wettersteindolomit führten. Ab Station 1026,5 wurde der Gutensteiner Dolomit frei von solchen Einlagerungen und zeigte sich in bekannter Ausbildung, gut gebankt bis geschichtet, dunkelgrau bis schwärzlich und reichlich von Kalzitadern durchzogen. Das Einfallen wurde um Nordwest mit 50 bis 60° eingemessen. Das Gestein war klüftig und von einer Vielzahl keinerer Harnischflächen durchsetzt. Bei Station 1041 ragte im Firstbereich ein Keil von Wettersteindolomit in den aufgefahrenen Bereich und kündigte das bevorstehende Abtauchen der Gutensteiner Dolomit-Antiklinale an. An einer offenen Kluft bei Station 1053 sank die Antiklinale ab und wurde von Wettersteindolomit abgelöst, der infolge seiner Synklinal-Lagerung im Bereich der Station 1068—1070 starken Firstenregen, besonders aus einer bis 1 m weit offenen Kluft brachte. Das Gestein war in diesem Abschnitt so stark zerdrückt, daß es in kleine, polygonale Stückchen zerbrach. Schichtung war nicht mehr erkennbar. Von Station 1069 bis 1071 wurde der Dolomit sehr stark kieselig, enthielt einzelne kleine Hornsteinknollen und wechselte von hellgelbgrauer zu mittelgrauer Färbung, nahm also insgesamt den Habitus von Reiflinger Kalk — wenn auch in stark dolomitischer Variante — an.

Erstmals bei Station 1071 trat als Kluftfüllung ein mylonitisches, grünes, sich talkig anfühlendes Gestein auf, in dem noch einzelne Schieferstückchen die Deutung nahelegten, es handle sich um tektonisch sehr stark beanspruchte Werfener Schichten.

In der nächsten Aufwölbung von Gutensteiner Dolomit und Kalk von Station 1077 bis 1094 verstärkte sich dieser Eindruck durch Zunahme von grünlichen und grauvioletten Schieferstückchen in den mylonitischen Kluftfüllungen. Von Station 1086 bis 1094 erschien am linken Ulm der Dolomit mittel- bis dunkelgrau und zeigte bräunliche Flecken. Den rechten Ulm nahm ein 10 m langer Harnisch von Station 1079 bis 1089 in seiner gesamten Fläche von der Sohle bis zur Firste mit ungefährem NW-Fallen in 65° Neigung ein. Ihm folgte bis 1094 ein Gestein, das mit dem Pseudo-Hallstätter Kalk vergleichbar ist, wie er nördlich der Sieben Quellen an der Ostflanke des Karlgrabens aufgeschlossen ist: ein rötlich durchäderter, hellgrauer, ziemlich reiner Kalk, und zwar als Schollen in einem stark mergeligen, etwas schiefrigen, dunkelgrauen Kalk eingelagert. Bei Station 1094 folgt diesem Gestein Wettersteindolomit bis Station 1101.

Da die mit dem Pseudo-Hallstätter Kalk des Karlgrabens vergleichbaren Gesteine von Störungsflächen begrenzt sind, läßt sich aus der Tatsache, daß sie im Stollen zwischen Gutensteiner und Wetterstein-Dolomit liegen, kein Schluß auf ihre tatsächliche stratigraphische Stellung ziehen. Es muß auch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß es sich nicht um ein Triasschichtglied, sondern um eine Scholle der später noch zu be-

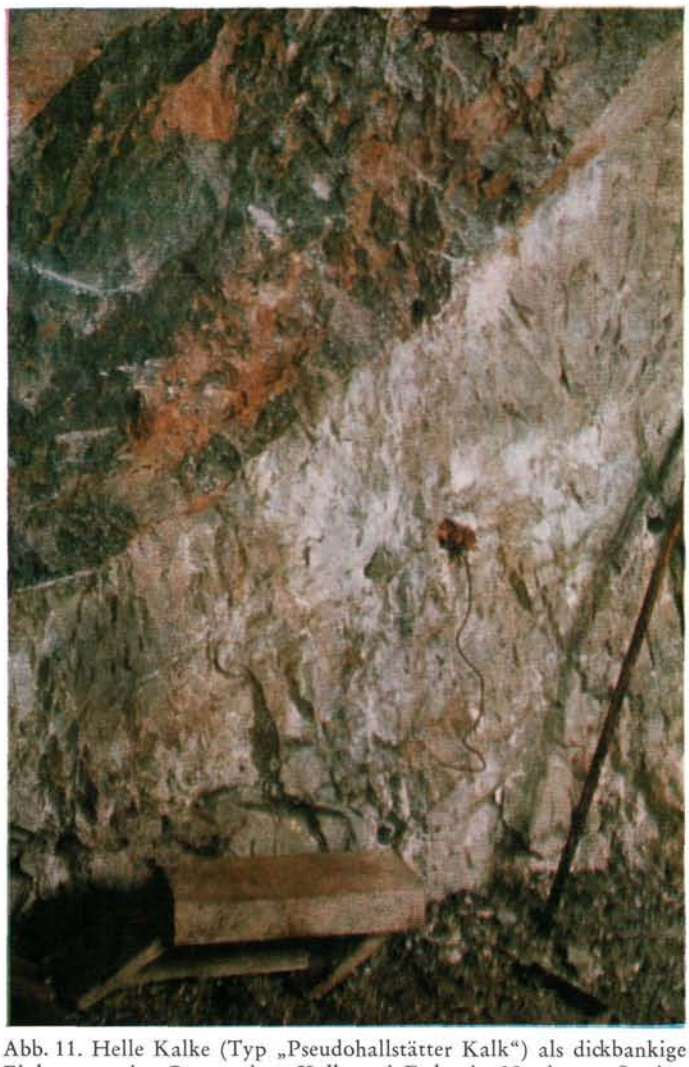


Abb. 11. Helle Kalke (Typ „Pseudohallstätter Kalk") als dickbankige Einlagerung im Gutensteiner Kalk und Dolomit, Nordtrum, Station 1090.

schreibenden Gosaugesteine handelt, die zusammen mit den (hier mylonitischen) Werfener Schichten tektonisch hochgepreßt sein könnte.

Von Station 1101 an wurde Gutensteiner Dolomit in der Firste und im oberen Ulmbereich angefahren, während nahe der Sohle hellgrauer, kompakter Kalk mit muscheligem Bruch aufgeschlossen wurde, der zwischen Station 1125 und 1167 antiklinal aufgewölbt war. Zwischen den beiden Gesteinen waren Werfener Schichten, zum teil stark zerrieben, eingeschaltet. Die Gesteine zeigten im Kulminationsbereich der Antiklinale plattige Ablösungen von der Firste infolge ihrer flachen Lagerung. Sie mußten mit Felsankern gesichert werden. Ab Station 1132 stellte sich starker Firstentropf ein, der auch nach Verlassen des Gutensteiner Dolomites bei Station 1221 in der folgenden Synklinalstrecke von Reiflinger- und Wettersteindolomit bis Station 1250 anhielt. Dazu kamen zahlreiche Wasserzutritte in der Firste und in Firstnähe, so bei Station 1227, 1256 und 1272,5, und aus beiden Ulmen bei Station 1260,5 aus einer offenstehenden Kluft. Als die Brust bei Station 1274 stand, wurden aus Klüften Lehmwürstchen durch den Kluftwasserdruck ausgepreßt und dünne Wasserfäden rannen aus der Firste. In der Folgestrecke bis zum Ausheben der Wettersteindolomit-Synklinale bei Station 1290 zeigten sich Abschalungen am rechten Ulm nach lehmgefüllten Klüften.

Nach einer Zone von stark zerrüttetem Gutensteiner Dolomit von Station 1290 bis 1309 wurde dieses Gestein dickbankig und hielt mit einem ständigen Wechsel von Mulden- und Sattelzonen bis Station 2407,5 an. Besonderheiten im Bereich dieser Strecke waren: Wiederholte Aufbrüche von Werfener Schichten nach Klüften und kompakte Aufwölbungen derselben zwischen Station 1327 und 1497; starker Firstenregen von Station 1337 bis 1380, 2130 bis 2180 und 2272 bis 2278; Wasserzutritte, und zwar stets in der Firste, bei Station 1440 bis 1444, 1532, 1638, 1648, 1654 (Wasser milchig-trüb, ca. 0,3 l/sec.), 1703, 1953, 1969, 1982, 2026, 2057, 2116, 2176, 2232, 2262, 2264, 2311, 2337 und 2401; schwere Störungszonen wurden von Station 1426 bis 1462, 1608 bis 1655 (mehrere Meter hoch offene Kluft bei Station 1636), 1953 bis 1960 (Aufwölbung von Werfener Schichten im Sohl- und unteren Ulmbereich) und 2230 bis 2239 (1 m weite, mehrere Meter hoch offene Kluft in der Firste, darin sichtbar: große Steine in Lehm) durchörtert. Trotz großer Erschwernisse durch die gestörten Gesteinsverhältnisse und durch Wasserzutritte und -einbrüche (Anfangsschüttung Austritt Station 2232: 25 l/sec., nach einigen Tagen auf 7 bis 8 l/sec. zurückgegangen) wurden dank der Unbeirrbarkeit der Mannschaften in der Gutensteiner Dolomit-Strecke sehr gute Vortriebsleistungen erzielt (14. bis 15. August 1966: 22 m, 17 bis 18. August 1966: 24 m, 24. bis 25. August 1966: 20 m, 7. bis 8. September 1966: 25 m!).

Eine Frage, die bei Betrachtung der Strecke von über 1,1 km, welche der Vortrieb ausschließlich in Gutensteiner Dolomit und Kalk verblieb, zu stellen ist, ist jene nach der wahren Mächtigkeit dieses Schichtgliedes im Unterbau der Schneealpe. Zieht man die Spannweiten der Sättel und Mulden gemeinsam mit dem Aufsteigen (Ausheben) des hangenden Wettersteindolomites am Beginn der Gutensteiner Dolomit- und Kalk-Strecke und mit dem Auftauchen der liegenden Werfener Schichten bei Station 1427 und 1475 in Betracht, so ergibt sich schätzungsweise eine wahre Mächtigkeit von maximal 80 m, minimal 50 m. Diese Zahlen geben selbstverständlich nur ein ungefähres Maß, weil die durch Tektonik verursachten Verstärkungen und Reduktionen der Mächtigkeit zwar fallweise erkennbar, aber im Stollen in ihrer Größe nicht exakt erfaßbar sind. Immerhin stimmen die angegebenen Zahlen aber recht gut mit den Oberflächenverhältnissen an der Südflanke der Schneealpe überein.

Aus den Lagerungsverhältnissen des fast ausnahmslos gut gebankten oder geschichteten Gutensteiner Dolomites und Kalkes

Abb. 12. Crinoiden im Grenzbereich Wettersteinkalk—Gutensteiner Kalk und Dolomit. Nordtrum, Station 2858.

geht weiters hervor, daß die Basis des Gebirgskörpers in diesem Bereich des Vortriebes — und, wie sich nach Beendigung der Vortriebsarbeiten erwies, im überwiegenden Teil der Schneealpe — in Richtung der Stollenachse und damit ungefähr im Streichen des Gebirges, ein sanftes Undulieren zeigt, das sekundär durch Brüche mit vertikalen Versetzungsbeträgen bis maximal 100 m zerstückelt erscheint.

Bei Station 2407,5 wurde in einem Bereich, der so stark gestört war, daß eine Sofortsicherung der Firste gegen Nachbrüche mit Baustahlgitter und Kurzankern erforderlich war, Wettersteindolomit und -kalk angefahren, der mit kurzen Unterbrechungen durch ein Auftauchen von Werfener Schichten von Station 2490 bis 2492, zusammen mit Mylonit aufgepreßt, und durch zwei Aufwölbungen von Gutensteiner Kalk bzw. Dolomit von Station 2527 bis 2546 und 2861 bis 2910, bis zur Station 3060 anhielt.

Diese insgesamt 652,5 m lange Strecke wurde vom 24. Oktober bis 14. Dezember 1966 vorgetrieben. Die anfängliche Störungszone hielt bis Station 2509 an. Nach Tropfstrecken zwischen Station 2447 und 2467 und Durchfahren einer Mylonitzone zwischen Station 2478,5 und 2492 erfolgte bei Station 2509 ein Wassereinbruch von ca. 30 l/sec. aus dem rechten Ulm und dem rechten Sohlbereich, der sich durch kleinere Wasserzutritte bei Station 2505,5 bereits angekündigt hatte. Nach Passieren der wasserführenden Kluftzone wurde das Gestein — Wettersteindolomit mit dunklen, dem Gutensteiner Dolomit ähnlichen Bänken bis 1 m Mächtigkeit als Einlagerungen — wieder kompakt und für den Vortrieb unproblematisch.

Noch vor Erreichen der ersten der beiden folgenden Aufwölbungen von Gutensteiner Kalk bzw. Dolomit, nämlich bei Station 2524, kam es am 4. November 1966, um 18 Uhr 10, zu einem schweren Unfall, der vier Verletzte forderte: In einer Bohrlochpfeife an der Brust nahe dem linken Ulm war ein Sprengstoffrest in Bauchhöhe durch die reibende Bewegung einer Abstützstange der Bohrlafette zur Detonation gekommen, wobei ein Mineur ein Auge einbüßte und einen Armbruch erlitt, während drei weitere Mineure durch Gesteinssplitter Gesichtsverletzungen davontrugen.

Nach Durchfahren der Gutensteiner Kalk und Dolomitenaufwölbung von Station 2527 bis 2546, die im Trockenen vor sich ging, setzte im folgenden Wettersteindolomit, der schichtig bis banking war, wieder Firstenregen ein, der bei Station 2581 aus kleinen Hohlräumen mit stark eisenschüssiger Kluftlehmfüllung kam. Von Station 2583 bis 2592 mußten an der Firste lose hängende, keilförmige Gesteinspartien, von Station 2616 bis 2630 plattige Abschalungen an der Firste und am rechten

Ulm gesichert werden. Bei Station 2642 wurden in der Firste Wasserzutritte mit einer Anfangsschüttung von ca. 22 l/sec. im mittelgrauen, auch weiterhin gut geschichteten und mit 40° W 15° N einfallenden Wettersteindolomit geöffnet. Ein kleiner Wasserzutritt (0,2 l/sec.) folgte bei Station 2661,5 aus einer Kluft am linken Ulm nahe der Sohle, ein weiterer bei Station 2689 mit ca. 5 l/sec. aus der Firste. Von diesem Wasserzutritt an wurde eine Regenstrecke bis zu Station 2800 durchfahren. Ab Station 2694 war der Wettersteindolomit endogen brekziös, dicht, und die Bankung wurde undeutlich. Auf der Strecke zwischen 2712 und 2737 war das Gestein von einer Vielzahl von zentimeterweiten, lehmgefüllten Klüften und von kleineren Harnischflächen durchsetzt. Im Bereich der Station 2735 setzte wieder deutliche Schichtung mit flachem bis mittelsteilem Einfallen in Vortriebsrichtung ein. Die freigelegten Schichtköpfe neigten zum Abreißen und mußten mit Baustahlgitter gesichert werden. Sicherungen durch Baustahlgitter und teilweise durch Kurzanker waren auch von Station 2744 bis 2756 und von Station 2771 bis 2779 erforderlich.

Beim Aufbohren der Brust bei Station 2801 kündigte sich der nächste größere Wasserzutritt durch Wasserandrang aus den Bohrlöchern an. Er wurde im linken Firstenbereich bei Station 2803 aufgefahren und brachte 6 bis 8 l/sec. aus Klüften im dünn gebankten Wettersteindolomit. Ein weiterer, kleinerer Wasserzutritt kam bei Station 2851 aus einer Kluft am linken Ulm.

Im Übergangsbereich zur folgenden Gutensteiner Kalk- und Dolomitantiklinale traten bei Station 2860 bis 2870 (Firstenbereich) Gesteine auf, die ich zur raschen Charakterisierung an Ort und Stelle als „Forellenkalk" und „Augenkalk" bezeichnete: mittelgrauer bis bräunlichgrauer, dichter Kalk mit „Augen" und kleinen Linsen von sehr hellem bis weißem Kalk (jedoch kein reiner Kalzit), die Größen bis 3 cm aufwiesen. Diese Gesteine bildeten das normale Hangende des ab Station 2770 aus der Sohle auftauchenden und bei Station 2776 auch die Firste erreichenden Gutensteiner Kalkes und Dolomites, der bis Station 2910,5 stark knollig, beinahe schwarz, stark aufgelockert und mit eingepreßten Werfener Schichten in den zahlreichen Klüften anhielt. In der Aufwölbungszone mußte an mehreren Stellen sofort mit Baustahlgitter, Kurzankern und Spritzbeton gesichert werden.

An einer ausgeprägten Störungsbahn bei Station 2910,5 verließ der Vortrieb den Gutensteiner Kalk und Dolomit und ging unvermittelt wieder in Wettersteinkalk und -dolomit weiter, der mit 55° W 10° N einfiel. Das Gestein war auch in der Folgestrecke stark gestört und mußte in verschiedenen Abschnitten, so von Station 2925,5 bis 2935 und 2941 bis 2970, mit Spritzbeton und teilweise durch Ankerung gesichert werden. Von Station 2962 bis 2970,5 traten wieder die „Augenkalke" auf, ebenso bei Station 2978 bis 2979. Eine Kluft mit 70° W-Fallen enthielt bei Station 2985 am rechten Ulm eingepreßte grauviolette Werfener Schichten. Von Station 2986 bis 3033 zeigten sich starke schalige Ablösungen sowohl an den Ulmen als auch an der Firste im nunmehr sehr dichten, weißlichen bis glasig grauen Wettersteinkalk. Von Station 3024 bis 3028,5 entstand im mittleren Teil des linken Ulms ein Abriß, der sich zunehmend erweiterte und ebenfalls zu Abschalungen führte. Ab Station 3026 begleitete heftiger Firstenregen den Vortrieb, worauf von Station 3034 bis 3052 eine Reihe von Wasseraustritten im Firstbereich und am linken Ulm folgte.

Bei Station 3060 wurde der Wettersteinkalk und -dolomit verlassen und bis Station 3072 bräunlichgrauer, kieseliger und mit einzelnen Hornsteinknollen durchsetzter Reiflinger Kalk durchörtert.

Von Station 3072 an wurde eine weitgespannte Aufwölbung von Gutensteiner Kalk und Dolomit durchfahren, der zunächst flaches Einfallen nach Osten zeigte, das jedoch nach einer Trümmerzone zwischen Station 3085 und 3087 in N-Fallen mit 65 bis 70° überging. Das Gestein war auch weiterhin stark beansprucht. Bei Station 3093 bis 3098 kam es einige Zeit nach dem Auffahren zu kleinstückigen Schalenbrüchen im rechten Kämpferbereich.

Eine neuerliche Tropfstrecke setzte bei Station 3112,5 ein und hielt bis Station 3135 an. Im übrigen war das Gebirge hier trocken.

Zwischen Station 3130 und 3151,5 durchsetzten zahlreiche, sich im First- und Ulmbereich verschneidende Störungsfugen den etwas kieseligen Gutensteiner Kalk und Dolomit, die durchwegs mit bis zu 10 cm mächtigen Füllungen von Werfener Schichten besetzt waren. Das Schichtfallen war allgemein 60 bis 65° in Richtungen um West. Durch die tonigen Kluftfüllungen verloren einzelne Schollen des Festgesteins bereits wenige Stunden nach dem Aufschließen den Zusammenhalt und brachen aus dem Verband, so daß eine rasche Spritzbetonsicherung geboten war.

Von Station 3151,5 an wurden die Verhältnisse auf eine kurze Strecke günstiger. Der hier dünnschichtige Gutensteiner Kalk und Dolomit zeigte ruhige, leicht wellige Lagerung bei sanftem W-Fallen. Doch bereits bei Station 3167 setzte wieder starke Zertrümmerung des Gesteins ein und hielt bis Station 3192 an. Von Station 3179 bis 3181 war am linken Ulm eine bemerkenswert schöne Spitzfalte in dem allgemein stark durchbewegten dünnschichtigen Material aufgeschlossen worden.

Der Vortrieb des Jahres 1966 endete am 21. Dezember bei Station 3182. Im ersten Jahr waren somit etwas über 3 km Stollen geöffnet worden.

Am 4. Jänner 1967 wurden die Arbeiten wieder aufgenommen. Nach Verlassen der stark gestörten Zone bei Station 3192 wurde das Gebirge gutmütig und ließ Tagesleistungen bis 21 m im Vortrieb zu. Dabei behielt das Gestein seinen bisherigen Charakter (dünnschichtig, kieselig) bei. Es zeigte leichtes Undulieren mit Spannweiten der Sättel und Mulden von 5 bis 12 m, wobei das Fallen der östlichen Sattelflanken jeweils flacher (etwa 15°) war, als jenes der Westflanken (etwa 45°).

Von Station 3215 bis 3235 wurde eine Tropfstrecke durchörtert, die nächste, die bei Station 3280 im linken Firstbereich einen geringen Wasserzutritt brachte, folgte zwischen Station 3270 und 3284, eine weitere Tropfstrecke, die in eine starke Regenstrecke überging, lag zwischen Station 3310 und 3350 und enthielt einen konzentrierten Wasserzutritt, allerdings von geringer Ergiebigkeit, in der Firste bei Station 3320.

Bei Station 3366 war die langanhaltende Zone des Gutensteiner Kalkes und Dolomites an einer NW-fallenden Störung unvermittelt abgeschnitten und der Vortrieb trat in eine Strecke wechselhafter Gesteinsverhältnisse und starker Störungen mit einzelnen Wasserzutritten ein: Von Station 3366 bis 3372 wurde Wettersteinkalk, dann bis 3375 Gutensteiner Dolomit, bis 3383 wieder Wettersteinkalk und -dolomit, danach bis 3398 Gutensteiner Kalk und Dolomit, bis 3402 eine Einlagerung von Wettersteinkalk, bis 3403 ein Span von Gutensteiner Dolomit und bis 3405,5 schließlich noch eine Scholle Wettersteinkalk durchfahren. Im Bereich von 3393 bis 3398 gingen dezimeterstarke Kalzitlagen senkrecht zur Schichtung durch den Gutensteiner Kalk und Dolomit, dessen Lagerung dort mit 60° W 20° N eingemessen wurde.

Nach dem Eintritt in Gutensteiner Kalk und Dolomit bei Station 3405,5 hielten diese Gesteine bis Station 3589 an. Sie waren wie meistens gut geschichtet, zeigten aber als Besonderheit reiche Wechsellagerung mit dünnen Bänken von mittel- bis hellgrauem Kalk-Dolomit.

Abb. 13. Zwei Genrationen von Kalzit-Kluftfüllungen, nachträglich durch tektonische Bewegungen zerlegt und versetzt.

Abb. 14. Intensive Wechsellagerung von Gutensteiner Kalk und Dolomit mit Wettersteinkalk und -dolomit. Nordtrum, Station 3405,5 bis 3589.

Ab Station 3450 begannen sich die Abschalungen von Gesteinsschwarten bis Station 3575 zu häufen, und zwar bemerkenswerterweise stets am linken Ulm, gelegentlich auch im Firstbereich, nie jedoch am rechten Ulm. Für die Erklärung dieses Phänomens sind zwei Fakten von ausschlaggebender Bedeutung, nämlich einerseits die Mächtigkeit der Überlagerung, die in diesem Stollenabschnitt annähernd 1000 m erreichte, und andererseits die pultartige Schräglage der gesamten Gesteinsmasse der Schneealpe mit S-N-Neigung. Die massenhaften Abschalungen am linken, d. h. südlichen Ulm sind Ausdruck des Freiwerdens von tektonischen Restspannungen in der Hauptspannungsrichtung. Ähnliche Erscheinungen wurden auch weiterhin in einer ganzen Reihe von Vortriebsabschnitten beobachtet, besonders dann, wenn die Gesteine relativ wenig von Störungen durchsetzt waren und somit die Entspannung keinen vorgegebenen Fugenraum zur differenzialen Dislokation benützen konnte, sondern diesen durch Aufsprengen in Form von Schalenbrüchen erst schaffen mußte.

Innerhalb der Strecke von Station 3405,5 bis 3589, die im Gutensteiner Kalk und Dolomit zurückgelegt wurde, trat ein Wasserzutritt von 5 bis 6 l/sec. bei Station 3533 und ein kleiner (ca. 0,3 l/sec.) bei Station 3557 auf, starker Firstentropf stellte sich bei Station 3564,5 ein und hielt bis Station 3581 an.

Von Station 3524 bis 3537, wo ein großer Harnisch über die ganze Höhe des linken Ulms aufgeschlossen wurde, traten häufig kleine Schollen von Wettersteinkalk tektonisch eingelagert zwischen förmlich aufgespaltenen Bänken von Gutensteiner Kalk und Dolomit auf.

Nach einer Störungszone mit stark verlehmten Großklüften ab Station 3581, wurde zwischen Station 3589 und 3623 eine eng zusammengepreßte, sehr stark zerrüttete Mulde von Wettersteinkalk und -dolomit durchfahren. Das Gestein zeigte ausgeprägten

Abb. 15. Abgerissene Bank von Gutensteiner Kalk und Dolomit, tektonisch eingeschoben im hangenden Wettersteinkalk und -dolomit. Nordtrum, Station 3524.

Abb. 16. Gutensteiner Kalk- und Dolomit-Bänke, beim tektonischen Einschub in Wettersteinkalk und -dolomit aufgespalten. Nordtrum, Station 3527.

Wechsel von hell- und dunkelgrauen Bänken und war so stark hergenommen, daß es nicht einmal wenige Stunden offen stehengelassen werden konnte, sondern starke Sofortsicherung mit gitterbewehrter Spritzbetonauskleidung verlangte. Von Station 3602 bis 3606 erfolgten kleine Wasserzutritte aus der Firste.

Die Folgestrecke brachte wiederum wechselhafte Gesteinsverhältnisse: Gutensteiner Kalk und Dolomit von Station 3623 bis 3653; Wettersteinkalk und -dolomit mit bis zu 0,8 m starken Mylonitzonen von Station 3653 bis 3665; Gutensteiner Kalk und Dolomit von Station 3665 bis 3687; Wettersteinkalk und -dolomit von Station 3687 bis 3695; und schließlich wieder eine Aufwölbung von Gutensteiner Kalk und Dolomit mit tektonischen Einlagerungen von Wettersteinkalk und -dolomitlagen von Station 3695 bis 3736. Die gesamte Strecke war tektonisch sehr unruhig, das Einfallen wechselte rasch von flach bis mittelsteil gegen Nordwesten auf steil Südost, die zahlreichen, bis mehrere Zentimeter weiten Klüfte waren häufig mit Rotlehm gefüllt, Abschalungen am linken Ulm und Nachbrüche der Firste machten rasche Sicherung notwendig, starker Firstentropf bei Station 3695 bis 3704 und Wasserzutritte im linken Firstenbereich bei Station 3664 stellten sich ein.

Abb. 17. Mylonitstreifen (weißlich) unter Wettersteindolomit. Nordtrum, Station 3653.

Von Station 3736 an wurden die Verhältnisse etwas ruhiger, eine Wettersteinkalk- und -dolomitsynklinale, die erst bei Station 3797 wieder aushob, brachte besseres Gebirge, mit Ausnahme der Strecke 3785 bis 3797 und der Folgestrecke. Der Wettersteinkalk und -dolomit zeigte sich endogen brekziös, kleinklüftig, gut geschichtet. Die zahlreichen Feinklüfte waren häufig mit gelbem Lehm gefüllt, während größere Bruchfugen Füllungen von rotem, tonig-lehmigem Material aufwiesen. Stellenweise wurden im Wettersteinkalk und -dolomit einzelne Schollen von Gutensteiner Kalk und Dolomit angetroffen. Ein Wasserzutritt bei Station 3782 und weitere zwischen Station 3785 und 3791, alle aus der Firste, waren wenig ergiebig. Hingegen flossen bei Station 3792 im linken Firstbereich ca. 10 l/sec. aus einer Zertrümmerungszone.

Nach dem Wiedereintritt des Vortriebes in Gutensteiner Kalk und Dolomit (Station 3797) zeigte sich das Gestein, das Zentimeter bis Dezimeter dünn geschichtet war, bis Station 3831 intensiv gefaltet und sogar eng gefältelt. Stellenweise waren beim Ausbruch die Muldenkörper stehengeblieben, ragten von der Firste in den Lichtraum herein und mußten wegen Nachbruchgefahr abgesichert werden. Der Gutensteiner Kalk und Dolomit enthielt in dieser Strecke immer wieder zerrissene dünne „Schnüre" und bis maximal 8 cm dicke Schichten von hellem, dem Wettersteinkalk und -dolomit sehr ähnlichem Gestein.

In der Folge war das Gebirge stark gebräch, kleine Wasserzutritte wurden bei Station 3841, 3869 und 3872 in der Firste angefahren, letzterer in einem Bereich, in dem die Firste infolge der dort flachen Lagerung des Gesteins zur Ausbildung großer Sargdeckel neigte, die rasch geankert werden mußten.

Ab Station 3910 folgte eine tektonische Mischungszone, in der stark gezerrte Bänke und z. T. verdrehte Schollen von Wettersteinkalk und -dolomit im Gutensteiner Kalk und Dolomit eingelagert waren, wobei diese Einlagerung an mehreren Stellen so erfolgt war, daß die Schichtfugen des Gutensteiner Kalkes und Dolomites durch den eingeschobenen Wettersteinkalk und -dolomit regelrecht aufgesprengt und die Gesteinsbänke auseinandergespreizt waren.

Am Ende dieser Strecke, bei Station 3956, erfolgte ein Wassereinbruch von ca. 20 l/sec., und zwar aus dem linken Kämpferbereich, während am rechten Ulm in Sohlnähe ein Wasserzutritt von 2 bis 3 l/sec. aufging. Von da an ging der Stollen auf eine

Abb. 18. Faltung im Gutensteiner Kalk und Dolomit. Nordtrum, Station 3820.

Abb. 19. Schollen von Wettersteinkalk und -dolomit in stark gestörtem Gutensteiner Kalk und Dolomit. Nordtrum, Station 3910.

Strecke von 1700 m (unterbrochen nur durch einen wenige Meter kurzen Aufbruch von Gutensteiner Kalk und Dolomit) in Wettersteinkalk und -dolomit. Diese 1700 m Vortieb sollten die größten Schwierigkeiten und Risiken des gesamten Bauloses Nord enthalten.

Zunächst waren jedoch nur weitere Wasserzutritte bei Station 3960 bis 3965 mit zusammen etwa 20 l/sec. unangenehm. Sie lagen an der Firste und am rechten Ulm und kamen aus Störungsfugen, die den hellen bis weißlichen, stark endogen brekziösen Wettersteinkalk und -dolomit durchsetzten. Die Strecke war nachbrüchig und mußte gegen Nachbruch und Nachfall von der Firste mit Kurzankern und Baustahlgitter gesichert werden.

Ohne hier schon auf die Gebirgsklassifizierung näher einzugehen, die in einem späteren Abschnitt behandelt wird, ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, daß die einzelnen Gebirgsklassen nicht immer in streng aufsteigender oder absteigender Sequenz einander ablösten, sondern daß wiederholt auf standfestes Gebirge (Klasse α) — ohne Zwischenschaltung von gebrächem Gebirge (Klasse β) — druckhaftes Gebirge (Klasse γ) folgte, oder umgekehrt.

So wurde z. B. bei Station 3965 druckhaftes Gebirge abgelöst von standfestem, und zwar bis Station 3973, worauf wieder druckhaftes Gebirge unmittelbar anschloß.

Daß die Bezeichnungen der Gebirgsklassen wie „gebräch" oder „druckhaft", die nicht vom Geologen eingesetzt worden waren, für die herrschenden Gebirgsverhältnisse nicht ganz glücklich gewählt waren, wird im Abschnitt über die Gebirgsklassifizierung noch näher zu erläutern sein.

Am 5. März 1967 wurde bei Station 3978 ein Waller in der Sohle angefahren, der eine maximale Wassermenge von 165 l/sec. brachte! Die Folgestrecke zeigte stark lehmführende Klüfte, besonders der Firstbereich neigte zu Nachbrüchen und mußte unmittelbar nach dem Vortrieb mit Felsankern und Baustahlgitter gesichert werden.

Weitere Wassereinbrüche mit Anfangsschüttungen von etwa 60 l/sec. und 75 l/sec. kamen bei Station 4005 (Sohle rechts) und Station 4012 (linker Ulm in Sohlnähe) aus sehr brekziösem Wettersteinkalk und -dolomit, der von lehmgefüllten Störungsfugen durchsetzt war. Von Station 4018 bis 4034 behinderte starker Firstenregen die Vortriebsarbeiten. Ab Station 4037 wurde das Gestein wieder kompakter, war von Harnischflächen durchsetzt und enthielt einzelne schwärzliche Einlagerungen. Von Station 4056 bis 4097 neigte der rechte Ulm zu großen Schalenbrüchen. Ein kleiner Wasserzutritt in der Firste rechts wurde bei Station 4109 angefahren.

Mit Ausnahme der Strecken 4202 bis 4230, 4233 bis 4254, 4356 bis 4380 und 4391 bis 4394, in denen Schalenbrüche im ganzen Stollenumfang sofortige Sicherungen notwendig machten, war der teils stark brekziöse Wettersteinkalk und -dolomit, dem auch weiterhin häufig dunkelgraue Schollen eingelagert waren, bis Station 4400 allgemein gutmütig und standfest.

Wasserzutritte an der Firste wurden bei Station 4206 (offene Kluft), 4325, 4359 und 4381 angefahren, doch waren diese von geringer Ergiebigkeit. Hingegen brachte ein Sohlaustritt nahe dem linken Ulm bei Station 4386 eine Dauerschüttung von 5 l/sec.

Im weiteren Vortrieb gab es bis Station 4483 keine wesentliche Veränderung der Gesteinsverhältnisse. Nur in den Strecken 4409 bis 4028 sowie 4460 bis 4480 gingen Schalenbrüche in gesamtem Umfang auf und mußten gesichert werden.

Bei Station 4483 wurde das Gebirge im Bereich einer Störungsschar plötzlich stark nachbrüchig, die Störungen zeigten zwei Hauptrichtungen, von denen eine normal zur Stollenachse NW-SE, die andere N-S, also im spitzen Winkel dazu, verlief. Die Flächen standen ungefähr vertikal und waren gegeneinandergepreßt. Es gab keine geöffneten Klüfte.

Beim letzten Abschlag des 19. April 1967 wurde bei Station 4498 in der Sohle nahe dem rechten Ulm ein Wasserzutritt aufgerissen, der kräftig wallte und große Massen von feinkörnigem Quarzsand in den Stollen schwemmte, die Wassergraben und Gleisanlagen verlegten. Bis zum folgenden Tag wurden rund 120 m³ Feinsand aus dem Stollen gefördert. Als daraufhin der Vortrieb wieder aufgenommen wurde, begann am 20. April 1967 nach dem ersten Abschlag bei Station 4500 die Firste nachzubrechen, und beim Anfahren einer weiteren, stark wasserführenden Kluft (anfangs 90 l/sec.) bei Station 4502 kam es zum totalen Niederbruch der Firste und zum Einbruch von stark erweichten Sand- und Lehmmassen mit Gesteinsbrocken, bestehend aus nagelfluhartig verfestigtem Konglomerat, die sich in den Stollen zu schieben und diesen zu erfüllen begannen. Bis zum 24. April 1967 erreichte der Schlammstrom die Station 3320 und wurde dort durch eine eilig errichtete Kantholzsperre aufgestaut. Der Wassergraben war bereits gänzlich verlandet, das aus dem Verbruch einströmende Wasser und die aus den übrigen Zutritten anfallenden Wässer überfluteten Sohle und Gleis, das schlammführende Wasser war selbst in die Luftleitung eingedrungen und hatte diese durch sein Gewicht aus der Aufhängung gerissen. Die Braunfärbung der Oberflächenwässer durch Schwebstoffe reichte über Naßbach und Schwarza bis in die Leitha im Raum Wiener Neustadt (rund 75 km!).

Abb. 20. Ende des Schlammstromes im Nordtrum bei Station 3320 nach dem Schlammeinbruch bei Station 4500.

Am 25. April 1967 war der Schlammstrom zum Stillstand gekommen, und es konnte mit der Freilegung des Stollens begonnen werden. Es mußten rund 1300 m³ eingedrungenes Material ausgefördert werden, schätzungsweise weitere 700 bis 1000 m³ Feststoffe waren mit den Wassermassen ausgeschwemmt worden. Die Räumungsarbeiten dauerten bis 30. April 1967.

Nach vollendeter Freilegung des Stollens bot sich vor Ort folgendes Bild:

Quer zur Stollenachse verlief eine 2 bis 4 m weite, offene Kluft, aufwärts mit Erweiterungen auf 6 bis 8 m, im Stollenbereich 8 bis 9 m hoch, domartig geöffnet. Von rechts stürzte ein Wasserfall über eine rund 8 m hohe Felsstufe (ca. 50 l/sec.). Im Kluftbereich standen einzelne Gesteinslamellen von wenigen Dezimetern Stärke und 0,8 bis 1 m Höhe rechts vom Stollenbereich. Die Hohlräume stiegen steil über dem Stollen auf, der weitläufigste erschloß sich links aufwärts. Von rechts, mit dem Wasserfall kommend, zeigte sich kräftiger Nachfall von Gesteinstrümmern (Wettersteinkalk und -dolomit) bis über 0,5 m Durchmesser. Der Zustand der Sohle war zur Zeit der wegen des ständigen Nachfalls äußerst gefährlichen Besichtigung noch nicht feststellbar, da sie nicht geräumt werden konnte, solange kein Kopfschutz eingerichtet war, sie erwies sich aber nach gelungener Räumung als standfest. Die begrenzende Kluftwand, in Vortriebsrichtung gesehen, bestand aus festem, kompaktem Wettersteinkalk und -dolomit, doch konnten dahinter weitere Parallelklüfte erwartet werden.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um die Sanierungsmaßnahmen wurde auch die Frage der Umfahrung der Schadensstelle durch einen Ausweichstollen erörtert, doch wurde vom Berichterstatter von dieser Maßnahme dringend abgeraten, da zu rechnen war, daß bei der großen Seitenausdehnung der Kluftzone ein Stollen mit um 25 oder 30 m nach links oder rechts verlegter Achse in gleiche Schwierigkeiten geraten würde.

Am 2. Mai 1967 wurde daraufhin mit der Sanierung der Schadensstelle begonnen. Über die Maßnahmen wird im Kapitel 2 im einzelnen berichtet. Die Arbeiten konnten nur durch den vollen, aufopfernden Einsatz der Mannschaften bewältig werden. Bis 15. Mai 1967 war der Verbruch saniert und der Stollen bis Station 4510 gesichert, so daß der normale Vortrieb wieder aufgenommen werden konnte.

Es wurde weiterhin Wettersteinkalk und -dolomit mit Einlagerungen von schwärzlichen Dolomitschollen aufgeschlossen. Die Voraussage, daß Begleitstörungen zur großen Verbruchzone zu erwarten seien, erfüllte sich mit dem Erreichen der Station 4526, von wo an bis Station 4537 weitständige Klüfte mit roten Kluftlehmfüllungen, die in den Stollen drängten, angefahren wurden. Bei Station 4531 brachen neuerlich mit Lehm und Sand vermengte Wässer ein, der Druck an der Firste führte zu Schäden an der ersten Spritzbetonsicherung, und es brauchte zwei Tage, die gefährdete Strecke zu sanieren. Eine weitere Kluftzone folgte bei Station 4545, danach wurden die Gebirgsverhältnisse wieder günstiger. Die Tendenz zu Abschalungen am linken Ulm blieb jedoch bestehen.

Von Station 4654 bis 4662 wurde ein von lehmbesetzten Störungsflächen begrenzter Aufbruch von Gutensteiner Kalk und Dolomit durchfahren, in dem ein Wasserzutritt aus dem linken Ulm kam. Ab Station 4662 ging der Vortrieb wieder in Wettersteinkalk und -dolomit, der gut geschichtet bis gebankt war und auch weiterhin schwärzliche Dolomitschollen und mit Rotlehm gefüllte Klüfte enthielt. Ein kleiner Wasserzutritt am rechten Ulm nahe der Firste wurde bei Station 4702 aufgeschlossen. Von Station 4696 bis 4703 war das Gebirge stark gestört, das Gestein zerdrückt und von lehmerfüllten Klüften durchsetzt. Die Gebirgsverhältnisse besserten sich auch in der folgenden Strecke bis Station 4755 durchaus nicht. Das Anhalten der Störungszone machte bis zu dieser Station eine Sofortsicherung durch Baustahlgitter, Ankerung und Spritzbetonauskleidung in dem ganzen Stollenumfang notwendig. Im weiteren war das Gebirge dadurch gekennzeichnet, daß der Wettersteinkalk und -dolomit Quetschzonen und große Harnischflächen zeigte. Die Einlagerungen von schwärzlichem Dolomit und die Rotlehmfüllungen der Klüfte blieben bis zum Ende der Wettersteinkalk und -dolomit-Strecke erhalten. Starker Firstenregen zeigte sich von Station 4760 bis 4795, bei Station 4931, von Station 5025 bis 5045, Station 5215 bis 5265, Station 5370 bis 5460, Station 5510 bis 5553 und Station 5610 bis 5645. Wasserzutritte erfolgten bei folgenden Stationen: 5130 (linker Ulm nahe der Firste), 5160 und 5165 (linker Kämpfer), 5321 (rechter Ulm), 5324 (Firste rechts), 5385 (Firste rechts), 5408 (rechter Kämpfer), 5562 (rechter Kämpfer), 5567 (linker Ulm nahe der Firste), und 5570 (rechter Ulm, Mitte). Die meisten dieser Zutritte brachten nur Wassermengen von wenigen Litern pro Sekunde. Eine Ausnahme bildete jener bei Station 5562, der mit einer Anfangsschüttung von 100 bis 120 l/sec. einbrach. Beim Zutritt Station 5570 zeigte sich deutlich, daß das Wasser in dieser Zone

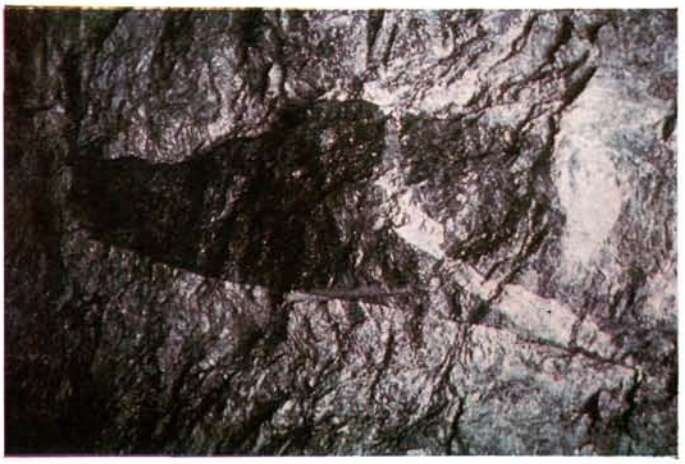


Abb. 21. Scholle von Gutensteiner Dolomit im Wettersteinkalk und -dolomit. Nordtrum, Station 4518.

unter erheblichem Druck stand: es spritzte aus der Austrittskluft wie aus einer Düse, nachdem der Stollen weit genug geöffnet war, mehrere Meter weit in Vortriebsrichtung. Eine weitere Kluft mit Spritzwasser wurde bei Station 5625 am linkem Ulm geöffnet.

Die Lagerung des Wettersteinkalkes und -dolomites zeigte flaches bis mittelsteiles Einfallen in Richtungen um Nord und leichtes Undulieren in der Stollenrichtung. Anzeichen dafür, daß hier der Vortrieb im liegenden Teil bzw. in der Basis der Wettersteinkalk- und -dolomit-Masse der Schneealpe ging, waren nicht nur die immer wieder eingeschalteten Schollen von schwärzlichem Dolomit, sondern auch kurze, aber geschlossene Aufwölbungen von Gutensteiner Dolomit von Station 5340 bis 5343 und von Station 5390 bis 5395, die infolge des generellen N-Fallens der ganzen Serie nur im linken Ulm und auch dort nur bis zu 1 m über der Stollensohle auftauchten, während am rechten Ulm durchgehend Wettersteinkalk und -dolomit anstand.

Weiters zeigten stark zerriebene Werfener Schichten in einer in Vortriebsrichtung flach aufwärts gerichteten Bewegungsbahn innerhalb des Wettersteinkalkes und -dolomites (Station 5591 bis 5600), daß das Gutensteiner Dolomit-Paket im Liegenden nicht von großer Mächtigkeit sein konnte.

An einer scharfen Störungsfuge bei Station 5657 war der Wettersteinkalk und -dolomit gegen Gutensteiner Dolomit abgesetzt. Es folgte eine stark zerhackte Zone mit mehrmaligem Gesteinswechsel: Gutensteiner Dolomit von Station 5658 bis 5672, Wettersteinkalk und -dolomit bis Station 5677, Gutensteiner Dolomit bis Station 5683, wiederum Wettersteinkalk und -dolomit bis Station 5693. Erst ab dieser Station folgte eine geschlossene Gutensteiner Dolomit-Strecke bis Station 5789, allerdings reichlich durchsetzt mit Schollen und Lagen von hangendem Wettersteinkalk und -dolomit, wobei diese Einlagerungen z. T. so häufig waren, daß sich die Ulme stark scheckig oder gebändert zeigten.

Der Gutensteiner Dolomit war dezimeter-bankig bis zentimeterschichtig, was bei allgemein flacher Lagerung zum plattigen Nachbrechen der Firste führte. Dem wurde mit Kopfschutz aus Baustahlgitter mit Ankerung begegnet.

Der Antiklinalbereich des Gutensteiner Dolomites von Station 5658 bis 5789 war naturgemäß wesentlich wasserärmer als der vorangegangene Synklinalbereich im Wettersteinkalk und -dolomit, obwohl im Gutensteiner Dolomit die Wegsamkeiten durch offene Klüfte und Schichtfugen durchaus nicht geringer waren. Es gab lediglich von Station 5680 bis 5690 eine Zone mit Wasserfäden aus der Firste und bei Station 5710 einen Wasserzutritt aus der Firste rechts.

Abb. 22. Aufwölbung von Gutensteiner Kalk und Dolomit unter Wettersteinkalk und -dolomit. Nordtrum, Station 5340.

Abb. 23. Einlagerung von Wettersteinkalk und -dolomit in zerrissene Partien von Gutensteiner Kalk und Dolomit. Nordtrum, Station 5693.

Nach einer Unterbrechung durch das Hereinragen einer keilförmigen Partie von Wettersteinkalk und -dolomit, die in der Firste von Station 5789 bis 5804, in der Sohle von Station 5794 bis 5800 reichte und außer starker Klüftung keine Besonderheiten zeigte, ging der Vortrieb im bankigen bis dünnschichtigen Gutensteiner Dolomit weiter. Dabei wurden in den Strecken von Station 5810 bis 5815 und Station 5866 bis 5878 schöne, annähernd isoklinale Sattelstrukturen aufgeschlossen.

Ab Station 5931 stellte sich zunehmend Zerreibsel von Werfener Schichten als Kluftfüllung ein.

Zwischen Station 5960 und 5965 wurden an den Ulmen prachtvolle Faltenbilder aufgeschlossen. Die Faltenachsen waren flach (15 bis 20°) in Richtungen um SE geneigt.

Von Station 6005 am rechten und 6015 am linken Ulm tauchte, bemerkenswerterweise unter dem Gutensteiner Dolomit und begrenzt durch eine flach in Vortriebsrichtung ansteigende Störungsfläche mit Harnischbildung, eine Scholle von Wettersteinkalk und -dolomit auf, die bei Station 6020, an einer steil SW-fallenden Störung, wieder gegen Gutensteiner Dolomit abgesetzt war.

Ab Station 6040 nahmen die Klüfte, die von zerriebenen Werfener Schichten erfüllt waren, an Häufigkeit zu. Die durch das unstabile Material begrenzten Schollen von Gutensteiner Dolomit neigten in verstärktem Maße zum Ausbrechen aus Firste und Ulmen, so daß häufige Sicherungen mit Baustahlgitter und Ankern über größere Strecken notwendig wurden. Außerdem machte sich kräftiger Gebirgsdruck in Form von Abschalungen bemerkbar, an denen die Schichtköpfe parallel zur Leibung in Schwarten von 1 bis 2 dm abrissen, so daß mit Baustahlgitter, Ankern und Spritzbeton gesichert werden mußte.

Trotz solcher Hindernisse wurden Tagesvortriebsleistungen um 20 m und darüber (4. Oktober und 7. Oktober 1967 je 22 m) laufend bewältigt.

Am 17. Oktober 1967 war der Gutensteiner Dolomit an einer steilstehenden Störung bei Station 6285 messerscharf abgeschnitten, und der Vortrieb trat in eine kompakte, dichte Konglomerat-Brekzie ein. Die Grundmasse bestand aus rötlichem, etwas körnigem („sandigem") Kalk, die Komponenten aus Wettersteinkalk und Gutensteiner Dolomit.

Der offensichtlich bedeutungsvollen Grenzstörung war von Station 6220 an eine sehr beanspruchte und unter starkem Gebirgsdruck stehende Zone in brekziös zerbrochenem Gutensteiner Dolomit vorausgegangen, der von so geringer Standfestigkeit war, daß der ganze Stollenumfang unmittelbar nach dem Auftun mit Baustahlgitter und Spritzbeton gesichert werden mußte.

Abb. 24. Gosaukonglomeratbrekzie. Komponentengröße bis etwa 20 cm Durchmesser. Nordtrum, Station 6360.

Abb. 26. Abschalung in der Gosaukonglomeratbrekzie nach Aufgehen einer 1 bis 2 cm weiten Entspannungskluft im ursprünglich kompakten Gestein. Nordtrum, Station 6310.

Die Stellung der rötlichen Konglomerat-Brekzie war zunächst unklar. Es wurden daher intensive Obertags-Begehungen in der näheren und weiteren Umgebung durchgeführt mit dem Ziel, diese Gesteine im Gelände in einer zweifelsfrei zuordenbaren Position aufzufinden. Diesem Bemühen kam der Umstand zugute, daß an der Straße Neuberg—Mürzsteg westlich Krampen durch Straßenverbreiterung und Vergrößerungen von Kurvenradien frische Felsböschungen in größerem Ausmaß geschossen und die gleichen Konglomerat-Brekzien aufgeschlossen wurden, die eindeutig der Gosau von Krampen angehören.

Nach dieser Klärung stand fest, daß der Stollen eine an der Basis der Trias-Serie der Schneealpe liegende Scholle von Gosaugesteinen angefahren hatte.

Wie sich bald zeigte, handelte es sich dabei nicht um eine kleine, tektonisch stark beanspruchte Scholle, sondern um einen kompakten Gesteinskörper, in dem sich der weitere Vortrieb über 200 m bis Station 6491 bewegte.

Die Komponenten der Konglomerat-Brekzie weisen partienweise stark unterschiedliche Größen auf. Am häufigsten sind Typen mit Komponentengrößen zwischen 5 cm und 2 dm, seltener feinkörnige Typen mit Komponentengrößen unter 1 bis 2 cm. Daneben kommen — so zwischen Station 6428 und 6442, linker Ulm — Stellen vor, an denen Riesenblöcke von Wettersteinkalk und -dolomit in der rötlichen Grundmasse „schwimmen".

Abb. 25. Gosaukonglomeratbrekzie. Komponentengröße bis etwa 15 cm Durchmesser. Nordtrum, Station 6372.

Mit Ausnahme von Störungszonen war die Standfestigkeit des Gebirges in den Konglomerat-Brekzien allgemein gut. Je kompakter das Gestein war, desto eher zeigten sich Abschalungen parallel zur Leibung, oft schon wenige Stunden nach dem Auffahren mit dem Aufgehen von Haarrissen beginnend, die sich binnen weniger Tage zu Ablösungsflächen erweiterten.

Bereits wenige Meter nach Beginn der Konglomerat-Brekzien-Strecke, bei Station 6296, wurde in der Firste rechts ein kleiner Wasserzutritt aufgeschlossen. Im weiteren war die Strecke allgemein trocken, bis am 24. Oktober 1967 bei Station 6445 aus der Firste links strahlartig ein Wassereinbruch mit 5 m Wurfweite und einer maximalen Anfangsschüttung von ca. 50 l/sec. aus einer NE-SW-laufenden Kluft erfolgte. Mit dem Wasser wurden nach und nach ca. 600 m³ Feinsand in den Stollen eingeschwemmt. In den Wintermonaten 1967/68 ging die Schüttung auf 3 l/sec. zurück, zeigte aber während der Schneeschmelze im April 1968 wieder Anstiege bis 20 l/sec., woraus hervorgeht, daß dieser Wasserzutritt mit den obersten Zonen des Karstwasserkörpers in direkter Verbindung steht, obwohl er sich im tiefsten durch den Stollen aufgeschlossenen geologischen Stockwerk befindet (F. Bauer, 1969).

Von Station 6445 bis 6466 war das Gebirge so stark gestört, daß First- und Ulmbrüche größeren Ausmaßes nur durch sofortige Sicherung durch Spritzbetonauskleidung mit Baustahlgittereinlage verhindert werden konnten.

Bei Station 6491 tauchten die Konglomerat-Brekzien an einer steil SW-fallenden Störungsfläche unter stark brekziösen, flachwellig gelagerten Gutensteiner Kalk und Dolomit ab, der in sich nach quer zur Stollenachse laufenden Störungen in Bruchkörper zerlegt war, die um Dezimeter-Beträge gegeneinander versetzt waren. Ab Station 6530 war das Gestein so stark zerrüttet, daß sofort eine Spritzbetonsicherung aufgebracht werden mußte. Eine wesentliche Besserung trat erst wieder bei Station 6573 ein und hielt bis Station 6637 an, wo stark endogen brekziöser Wettersteinkalk den dort mit 15° NE-fallenden Gutensteiner Dolomit ablöste. Der Wettersteinkalk und -dolomitkomplex war von Station 6640 bis 6670 stark gestört, so daß sofortige Spritzbeton-Auskleidung erforderlich war. Zwischen Station 6661 und 6670 waren im Bereich des rechten Kämpfers mehrere Wasserzutritte zu verzeichnen.

Die Strecke im Wettersteinkalk und -dolomit reichte bis Station 6682, dann trat der Vortrieb wieder in Gutensteiner Kalk- und Dolomit ein, der, von Station 6807 bis 6865 in kantige Bruchstücke zerlegt, auftrat, die von breiten Säumen von Kalzit umgeben waren.

Abb. 27. Gutensteiner Kalk und Dolomit, zu tektonischer Brekzie zerbrochen und mit Kalzit ausgeheilt. Nordtrum, Station 6820.

Abb. 29. Strecke von Wasserzutritten, Nordtrum, Station 6785 bis 6800. Blickrichtung stollenauswärts.

Abb. 28. Gutensteiner Kalk und Dolomit, zu tektonischer Brekzie zerbrochen und mit Kalzit ausgekeilt. Nordtrum, Station 6846.

Die Gutensteiner Kalk- und Dolomitstrecke von Station 6682 bis 6865 brachte reichlich Wasser, und zwar aus vier Austritten zwischen Station 6720 und 6730 (Firste), sieben Austritten zwischen Station 6749 und 6755 (rechter Kämpferbereich, Firste links und linker Ulm nahe der Sohle), vierzehn Austritten zwischen Station 6785 und 6800 (rechter Kämpfer und Firste), sowie fünf Austritten zwischen Station 6825 und 6835 (Firste). Nach den karsthydrologischen Untersuchungen von F. Bauer (1969) steht fest, daß die Wässer dieser Austritte aus dem zentralen Karstwasserkörper der Schneealpe stammen und „keine direkte Verbindung mit den obersten Bereichen des Karstwasserkörpers haben", da sie die wärmsten im Stollen austretenden Wässer sind und konstante Schüttung sowie konstanten Chemismus haben.

Von Station 6865 bis 6910 ging der Vortrieb durch Wettersteinkalk und -dolomit, der stark zerbrochen und gestört und teils zu einer Mischbrekzie mit Anteilen aus dem unterlagernden Gutensteiner Kalk und Dolomit zerrieben war. Ab Station 6910 folgte wieder Gutensteiner Kalk und Dolomit bis Station 7201, der an zwei Stellen, und zwar von Station 6930 bis 6935 und von Station 7062 bis 7067, von Wettersteinkalk und -dolomit unterbrochen wurde. Als am 7. Dezember 1968 die Brust Station 6927 erreichte, erfolgte ein Wassereinbruch, der eine Dauerschüttung von 10 l/sec. hatte und binnen einer Woche ca. 1400 m³ Schwimmsand mit sich brachte. Weitere starke Wasserzutritte erfolgten bei Station 6929 und 6931. Das Gebirge war von Störungen ungefähr parallel zur Achsrichtung durchsetzt, die Störungsflächen zeigten quadratmetergroße Harnische. Das Schichtfallen betrug in diesem Bereich um 15° NE bis NNE.

Im weiteren Vortrieb trat keine Änderung der Verhältnisse ein. Bei Station 6952 und 6980 wurden neuerdings größere Wasserzutritte aufgeschlossen. Zwischen Station 6965 und 6971, 6989 und 6992 und 6997 und 7000 war das Gebirge so stark gestört, daß es unmittelbar nach dem Öffnen den Zusammenhalt verlor. Die Folge waren schwere Verbrüche der Firste und der Ulme, die sofort saniert werden mußten.

Bei Station 7057 brachte ein Wasserzutritt neuerlich größere Mengen Schwimmsand mit sich, während zwei weitere Zutritte bei Station 7059 und 7061 rein waren.

Nach Durchfahren der erwähnten Wettersteinkalkscholle von Station 7062 bis 7067 zeigten sich im gut geschichteten Gutensteiner Kalk und Dolomit schöne Faltenbilder (Station 7075 bis 7085). In der Folgestrecke war die Lagerung teils söhlig, teils flach (um 10°) nach Nordwesten geneigt. Klüfte waren häufig mit Rotlehm gefüllt. Bis zum Ende dieser Gutensteiner Kalk- und Dolomitstrecke wurden nach Station 7061 folgende Wasserzutritte angefahren: Station 7073 (rechter Ulm); 7087 (linker Kämpfer); 7109 (linker Kämpfer); 7118 (rechter Kämpfer); 7125 (Sohle rechts); 7133 (linker Kämpfer); 7187 (rechter Kämpfer). Diese Wasserzutritte brachten jeweils 1 bis 5 l/sec. Dauerschüttungsmenge.

Bei Station 7201 erreichte der Vortrieb wieder Wettersteinkalk und -dolomit, der teils stark zerbrochen und von Station 7222

an von Mylonitzonen, bestehend aus mehligem Gesteinszerreibsel, durchsetzt war. Dementsprechend ließ streckenweise die Standfestigkeit sehr zu wünschen übrig. Besonders ungünstig waren diesbezüglich die Verhältnisse zwischen Station 7222 und 7242, wo sofort mit Spritzbetonsicherung Abhilfe geschaffen werden mußte. Bei Station 7237 brachte ein Wasserzutritt anfänglich größere Mengen von Schwimmsand in den Stollen. Bei Station 7310 trat aus mehreren Klüften im linken Firstbereich Wasser aus. Von Station 7330 bis 7333 tauchte im Sohl- und unteren Ulmbereich Gutensteiner Kalk und Dolomit auf. Im übrigen bestand die Strecke bis Station 7720 weiterhin aus Wettersteinkalk und -dolomit, der teils stark endogen konglomeratisch-brekziös war und besonders von Station 7605 bis 7645 kubikmetergroße Schollen von Gutensteiner Kalk und Dolomit einschloß. Gesteinsklüfte, die oft bis zu 1 dm geöffnet waren, zeigten häufig Füllungen von rotem Lehm.

Am 28. März 1968 wurde bei Station 7720, aus der Sohle emporsteigend, wieder Gosau-Konglomeratbrekzie angefahren. In diesem Gestein verblieb der Vortrieb bis Station 7758, unterbrochen von einer von Störungsflächen begrenzten Scholle von Gutensteiner Kalk und Dolomit, die im ganzen Umfang von Station 7747 bis 7752, in der Firste nach einem Verbruch aber bis Station 7756 reichte. In der Gosaustrecke traten bei Station 7726 und 7744 in der Firste links zwei kleine Wasserzutritte auf.

Mit Erreichen der Station 7758 trat der Vortrieb aus der Gosau-Konglomeratbrekzie in eine Aufwölbung der basalen Serie der Werfener Schichten der Schneealpe ein, die er bis zum Erreichen der Losgrenze nicht mehr verlassen sollte. Der Gesteinswechsel hatte sich bereits dadurch angekündigt, daß zunehmend stark beanspruchte rote Werfener Schiefer in dezimeterweite Kluftfugen der vorangegangenen Konglomeratbrekzie eingepreßt waren.

In der Folgestrecke nach Station 7758 zeigten die Werfener Schichten folgenden Gesteinsbestand: graugrüne und violettrote, teils weiche, teils mergelige Tonschiefer mit roten und grauen, sehr stark mergeligen, dünnschichtigen Kalkeinlagerungen. Als Fremdbestand fanden sich bis 1,5 m lange Schollen von Gosau-Konglomeratbrekzie in die weichen, stark durchbewegten Anteile eingewürgt. Aus den grauroten Kalken kam bei Station 7812 im rechten Kämpferbereich ein Wasserzutritt mit 3 l/sec. Dauerschüttung.

Zwischen Station 7814 und 7848 sowie 7852 und 7898 zeigten sich häufig Einlagerungen von Haselgebirge mit Gips und Anhydrit, Mylonitzonen und starken Rotlehm-Kluftfüllungen. Das gesamte Material der Werfener Schichten war sehr stark gequält, die kalkigen Partien waren zerrüttet und mit Hohlräumen von mehreren Kubikmetern Größe durchsetzt, so z. B. am linken Ulm von Station 7869 bis 7873 und in der Firste von Station 7876 bis 7881.

Von Station 7848 bis 7852 war eine Scholle von stark zerquetschtem Gutensteiner Kalk und Dolomit eingelagert.

An verschiedenen Stellen der Strecke innerhalb der Werfener Schichten mußten zusätzlich zum nacheilenden Spritzbetonausbau, der ab Station 7758 mit sulfatbeständigem Zement (Kontragreß) ausgeführt werden mußte, Profilstahlbögen in 1,5 bis 2 m Abstand und zwei Lagen Baustahlgitter eingebaut werden, da sich das Gebirge naturgemäß druckhaft zeigte. Außerdem wurde der sofortige Einbau einer Sohlen-Sicherung als Luftabschluß und als Schutz gegen Wasserzutritte in dem stark erweichbaren Gebirge erforderlich.

Ab Station 7898 trat zunehmend Anhydrit und Gips zu den Haselgebirgstonen hinzu. Bereits geringste Mengen von Sickerwasser, wie sie zwischen Station 7900 und 7920 sowie 7950 und 7960 am linken Ulm auftraten, führten schon wenige Stunden nach dem Aufmachen zu Deformationen des Hohlraumes. Dabei wurde die bereits aufgebrachte Spritzbetonsicherung von 15 cm Stärke, die mit Baustahlgitter und Thorstahlbögen (Abstand 0,5 m) armiert war, durch den starken Quelldruck in den genannten Strecken in der Firste scharnierartig abgerissen und von links um ca. 1 m als Ganzes in den Hohlraum hereingeschoben.

Zur Sanierung wurden der Bauaufsicht bzw. Bauleitung außer der Verwendung von sulfatbeständigem Zement folgende Maßnahmen als wesentlich empfohlen:

Spritzbetonsicherung 30 cm mit 2 Lagen Baustahlgitter und Thorstahlbögen im Maximalabstand von 0,5 m; Perfo-Anker 2,5 m nach festgelegtem System, wobei darauf hingewiesen wurde, daß den Ankern infolge des ungünstigen Gebirgszustandes keine mittragende Wirkung beizumessen sei, sondern daß ihre Aufgabe darin bestehe, die Auskleidungsröhre als Ganzes gegen Verschiebungen zu sichern.

Ferner wurde die Ausführung von Beton-Dichtscheiben in den Grenzbereichen Haselgebirge-Anhydrit zur Unterbindung von Wasserzirkulationen entlang der Auskleidungsröhre, die Ausbildung einer statisch geformten, verankerten Sohle (Stärke 30 cm, stark armiert) und der Verzicht auf das weitere Mitziehen des Wassergrabens, sowie das Verpressen der Sohldrainage mit sulfatbeständigem Zement nach Beendigung des Ausbaues empfohlen.

Nach Durchführung dieser Maßnahmen trat der Vortrieb bei Station 7963 in eine Zone ein, die vorwiegend aus Gips, untergeordnet aus Haselgebirge bestand, und erreichte ohne weitere Schwierigkeiten am 14. Juni 1968 die Losgrenze bei Station 8101,5. Damit waren die Vortriebsarbeiten im Nordtrum abgeschlossen und es begannen die Arbeiten für den endgültigen Ausbau dieses Teiles des Schneealpenstollens.

1.6.2. Südtrum

Der Anschlag des Südtrums erfolgte in grusigem, etwas klüftigem Wettersteindolomit, der keine Schichtung zeigte.

Bereits bei Station 23 wurde ein nahezu 4 m weiter, fast bis Station 27 reichender Kluftraum angefahren, der mit Lehm, Geröll und Hangschutt erfüllt war.

Das nachfolgende Gebirge war stärker geklüftet als jenes von Station 0 bis 23, wobei das vorherrschende Einfallen der Klüfte gegen WSW gerichtet war.

Ein weiterer lehmerfüllter Kluftraum von 0,5 m Weite wurde von Station 113 bis 116 durchfahren.

Ab Station 130 wurde der Wettersteindolomit erstmalig schichtig und zeigte NW-Fallen um 10°.

In einer Schutternische wurden bei Station 147 am rechten Ulm kleine, isolierte Hohlräume mit kreisrundem Querschnitt (Karstschläuche) und beginnender Tropfsteinbildung aufgeschlossen.

Etwa von Station 155 an war das Gestein dunkler, und die Zunahme des Kalkgehaltes wurde durch immer häufiger werdende Kalzit-Kluftfüllungen angezeigt.

Bei Station 165 bis 170 traten zum ersten Mal Einlagerungen von schwärzlichen Dolomitschollen auf, wie sie von der Obertagsaufnahme dieses Gebietes bereits bekannt waren und wie sie späterhin in bestimmten Stollenabschnitten sowohl des Nord- als auch des Südtrums häufig vorkamen.

Bei Station 189 erfolgte der erste Wasserzutritt von 2 l/sec. Bis dorthin war der Stollen im trockenen Gebirge vorgetrieben worden. Ein weiterer Wasserzutritt wurde bei Station 200 beim Anfahren einer dezimeterweiten, lehmgefüllten Kluft aufgeschlossen.

Anders als im Nordtrum wurde im Südtrum mit 2‰ fallend vorgetrieben. Das anfallende Wasser mußte daher abgepumpt werden, was über einen 150 mm weiten Rohrstrang erfolgte.

Ab Station 215 erschien im linken Ulm eine Aufwölbung von stark brekziösem Gutensteiner Dolomit, der jedoch in halber Ulmhöhe verblieb und bei Station 224,5 wieder in der Sohle verschwand.

Der weiterhin stark zerdrückte und von offenen Klüften durchsetzte Wettersteindolomit, der besonders zwischen Station 240 und 250 reichlich bis kopfgroße Schollen von Gutensteiner Dolomit enthielt, wurde bei Station 256,5 an einer steil SW-fallenden Störungsfläche gegen Gutensteiner Dolomit abgesetzt.

Dieses Gestein war allgemein stark zerrüttet, endogen brekziös, von Klüften zerhackt und neigte durch plattige Ausbildung bei flacher Lagerung zu Nachbrüchen von der Firste.

Wasserzutritte aus Klüften waren zunächst nur bei Station 296 bis 298 am rechten Ulm zu verzeichnen. Im übrigen war das Gebirge bis Station 351 im wesentlichen trocken. Bei Station 351 wurde an der Sohle links ein Wasserzutritt am Beginn einer starken Störungszone angefahren. Zwei weitere Zutritte erfolgten im rechten Sohlbereich bei Station 352 und 353.

Ein lehmerfüllter Hohlraum, der sich im unteren Teil des rechten Ulms bis 1 m erweitere, beendete die Gutensteiner Dolomit-Strecke bei Station 390,5, und der Vortrieb trat in tektonisch so stark beanspruchten Wettersteinkalk ein, daß die Strecke von Station 391 bis 420 mit sofortiger Spritzbetonauskleidung mit Baustahlgittereinlage und von Station 395 bis 400 auch mit Profilstahlbögen gesichert werden mußte.

Bei Station 420 wurde ein Wasseraustritt von 2 l/sec. im linken Sohlbereich geöffnet, weitere Austritte in gleicher Position erfolgten bei Station 424 und 425,5. In diesem Bereich kam es auch zu größeren Firstverbrüchen im stark aufgelockerten Wettersteinkalk. Ein kleiner Karsthohlraum, der quer über der Firste lag, wurde bei Station 435 geöffnet.

Ab Station 452 wurde das Gebirge wieder kompakter. Der Wettersteinkalk reichte bis Station 518 und wurde dort wieder von Wettersteindolomit abgelöst, der ebenfalls massig und fest war und die bereits bekannten Einlagerungen von schwärzlichen Dolomitschollen enthielt.

Bei Station 567 bis 570 trat Gutensteiner Dolomit, bezeichnenderweise von der Firste her, an einer flachen Störungsbahn mit SE-Fallen von 40 bis 60° in das Profil ein. Das Gestein war zwischen Station 508 und 520 so stark gestört, daß Profilstahlringe in die Spritzbetonsicherung eingbaut werden mußten. In dieser Strecke traten auch die ersten großen Wassereinbrüche (Station 510 bis 522) mit über 200 l/sec. auf. Die Wassermassen konnten durch dichte Stollenauskleidung und Einbau von Schiebern nur teilweise beherrscht werden. Es kam zu weiteren Austritten aus Klüften vor und hinter der Auskleidungsstrecke.

Als am 20. Juni 1966 der Vortrieb Station 637 erreichte, brachen erneut 80 l/sec. aus einer mit sandigem Kluftlehm und Steinen sowie Blockwerk gefüllten, quer über den Stollen laufenden Kluft ein. In den folgenden Tagen stieg die Zutrittmenge auf über 100 l/sec. bei gleichzeitigem Absinken der Schüttung der Sieben Quellen und erreichte nach starken Regenfällen über 400 l/sec. Die Zunahme der Schüttung aus dem Austritt bei Station 637 in den ersten Tagen nach dem Aufmachen war durch eine Erweiterung der Wasserwege durch Ausschwemmen von Lehm und Sand bedingt. Diese Ablagerungen standen bei Station 140 noch 80 cm hoch im Stollen.

Katastrophenniederschläge vom 23. und 24. Juli 1966 brachten einen weiteren Schüttungsanstieg der Stollenwässer auf

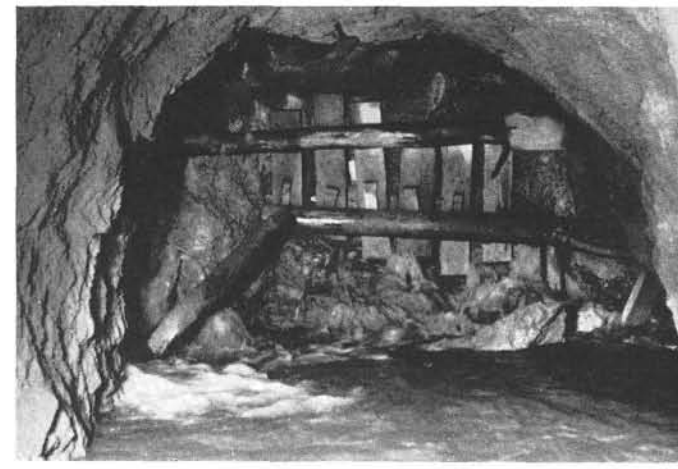


Abb. 30. Provisorische Abdämmung des Wassereinbruches im Südtrum bei Station 637.

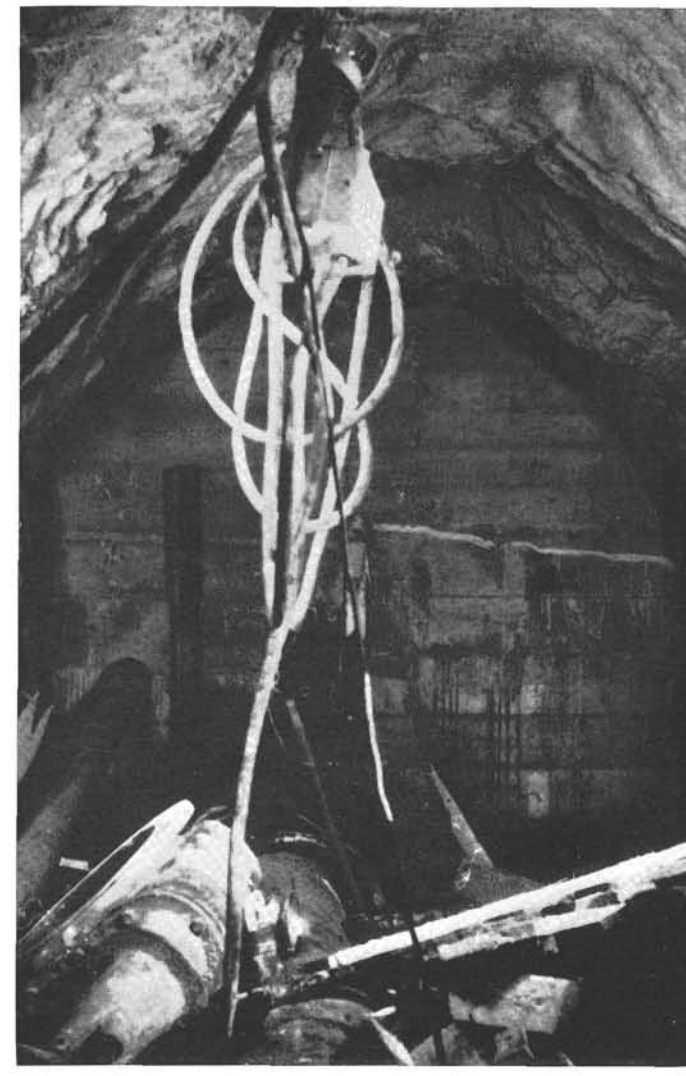


Abb. 31. Abmauerung des Südtrums (Blindstollen) bei Station 532/533 nach dem Wassereinbruch bei Station 637.

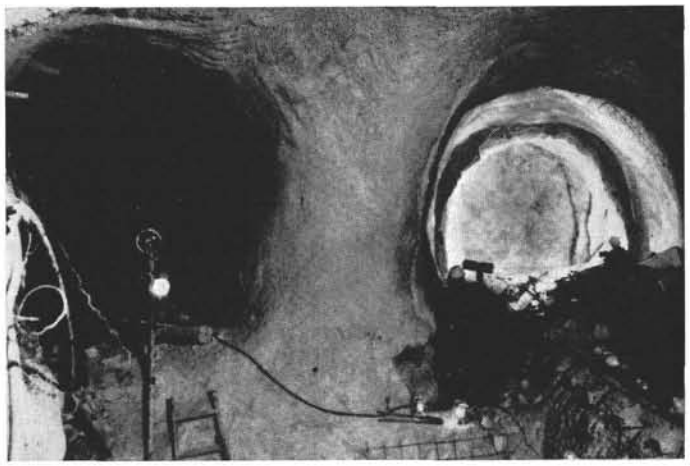


Abb. 32. Abzweigung des Umfahrungsstollens (Hauptstollens, rechts) vom aufgegebenen Blindstollen (Wasserhaltungsstollen, links). Südtrum, Station 488. Die geringe „Fleischstärke" der Felszwischenwand zwischen beiden Hohlgängen bei gestörten Gebirgsverhältnissen an der Abzweigungsstelle machte eine Verstärkung durch schwer armierten Spritzbeton notwendig.

1300 l/sec., die Sieben Quellen stiegen gleichzeitig auf über 2000 l/sec. Trotz des 2‰bergeinwärtigen Gefälles des Stollens floß das Wasser aus dem Stollenmundloch aus, der Bereich der Stollenbrust konnte nur mit einem Floß erreicht werden. (Weitere technische Details finden sich bei A. Drennig und J. Donner, 1967, weitere hydrologische Details bei F. Bauer, 1969.)

Unter den gegebenen Umständen war an eine Fortsetzung des Vortriebes zunächst nicht zu denken.

Erst am 20. September 1966, als die Wassermenge aus dem Stollen auf unter 400 l/sec. gesunken war, konnte mit der Sanierung durch Abmauerung begonnen werden. Die Sanierungsmaßnahmen sind im Abschnitt 2.5. beschrieben.

Nach eingehender Prüfung der Situation und Beratung zwischen Bauherrn, Bauleitung und geologischem Sachverständigen war der Entschluß gefaßt worden, vom abgemauerten Stollen mit dem Vortrieb nach Süden auszuweichen. Dabei war von vornherein klar, daß eine Stollentrasse mit 25 m Achsabstand parallel zur ursprünglichen Trasse durchaus keine besseren Gebirgsverhältnisse erwarten ließe. Wesentlich war jedoch die Wirksamkeit des aufgegebenen (Blind-)Stollens bei der Wasserhaltung, wobei der Umstand, daß der Blindstollen näher am Sieben-Quellen-System lag als der Ausweichstollen, ausschlaggebend war.

Die Abzweigung des Ausweichstollens erfolgte bei Station 488, also am Ende des großen Pumpen- und Hebersumpfes, der Vortrieb wurde am 10. Oktober 1966 wieder aufgenommen und bewegte sich zunächst wieder im Wettersteinkalk. Vorher wurde zwecks Herstellung des Übergangsbogens zum neuen Stollen der bestehende Stollen ab Station 464 allmählich auf 7,5 m² Querschnitt erweitert. Mit diesem Querschnitt und mit 1‰ steigend wurde der weitere Stollen ausgebrochen. Obwohl häufig Nagelungen und Spritzbetonsicherung notwendig waren, gingen die Arbeiten zügig und ohne nennenswerte Behinderungen durch Wasserzutritte bis Station 642 voran.

Bereits bei Station 636 bis 642 kündigte sich allerdings eine Veränderung durch starke Häufung von bis zu 0,5 m weiten, lehmerfüllten Klüften an.

Bei Station 642 traf man in einer mit S 30° W—70° einfallenden Grenzfläche auf die Störungszone, die im aufgelassenen Stollen bei Station 637 angefahren worden war. Wie dort, bestand auch im Umfahrungsstollen die Brust aus Lehm und Sand mit Steinen und Geröllen, wobei das Material zunächst trocken war. Es konnte nur noch händisch unter Verwendung von Stahlstreckenbögen (1 m Abstand) und Verzugsblechen und mit sofortigem Aufbringen einer armierten Spritzbetonsicherung weitergearbeitet werden.

Bei Station 644 wurde ein Wasserzutritt von ca. 25 l/sec. im Sohlbereich aufgeschlossen, der bis Station 648 anhielt, wobei die Gesamtschüttung aus dieser 6 m langen Zutrittsstrecke auf ca. 100 l/sec. anstieg.

Als der Vortrieb Station 651 erreichte, bestand die Brust in der linken Hälfte aus breiigem, lehmigen Kluftsand, in der rechten Hälfte aus Dolomitmylonit.

Erst ab Station 654 waren wieder Gesteinstrümmer bis m³-Größe von Wettersteindolomit im Kluftlehm und Kluftsand eingeschlossen. Von Station 661 bis 667 wurde stark geklüfteter und aufgelockerter Wettersteinkalk und -dolomit mit Wasserzutritten von 5 l/sec. bzw. 15 l/sec. bei Station 664 (rechter Ulm nahe Sohle) und Station 665,5 (rechter Ulm) durchörtert.

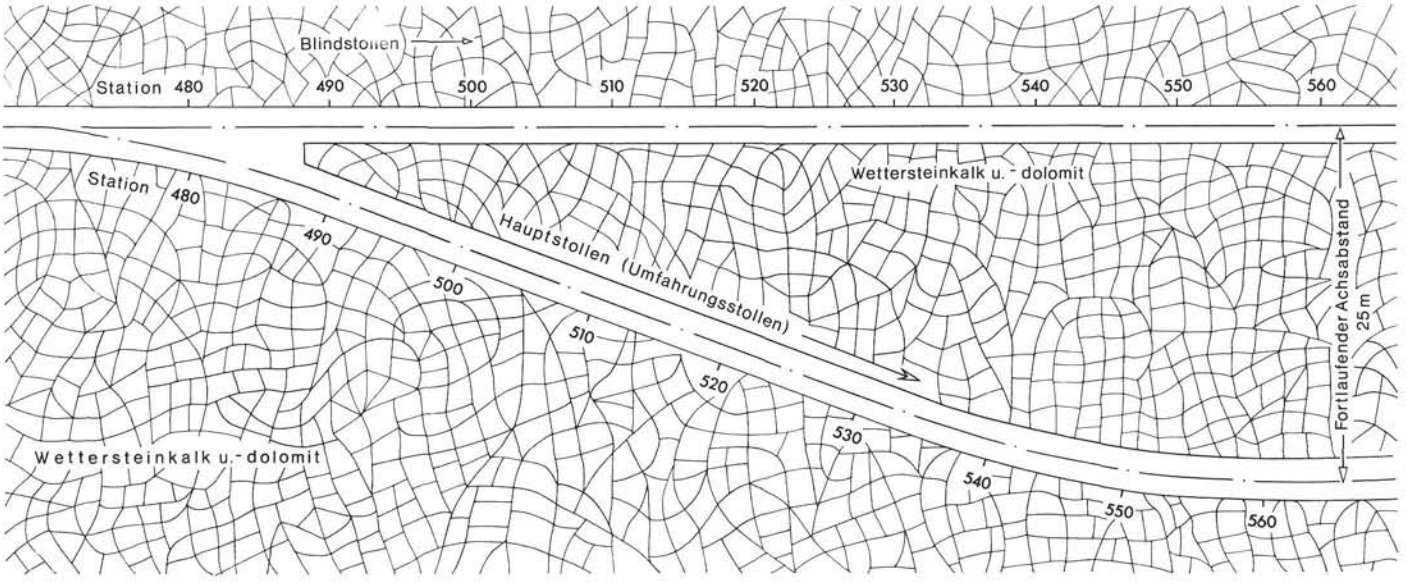


Abb. 33.
Schematische Darstellung der Abzweigung des Umfahrungsstollens (Hauptstollens) vom Blindstollen (Wasserhaltungsstollen) im Südtrum.

Abb. 34. Trümmerzone (Lehm und Blockwerk) mit Wasserzutritt. Südtrum, Station 665.

Ab Station 667 taten sich über der Firste schliefbare Hohlräume auf, in denen Gesteinsblöcke bis 10 m³ gegeneinander verkeilt beobachtet wurden. Diese Hohlraumzone wurde bei Station 672 durch eine mit grobem, lehmigem Sand gefüllte, mittelsteil SW-fallende Kluft abgeschlossen. Es folgte zertrümmerter Wettersteinkalk und -dolomit mit mitlaufenden Wasserzutritten, vorwiegend aus dem rechten Ulm. Das Gestein war streckenweise in isolierte Blöcke aufgelöst, die in sandigem Lehm eingebettet waren. Bei Station 679 bis 680 und 682 bis 684 wurden in der Firste neuerlich Karstschläuche angefahren, deren deutliche Wetterführung eine Verbindung mit der Oberfläche erkennen ließ. Die an den Kluftwänden auftretenden, karrenartigen Grat- und Muldenbildungen sowie Sandsteinkonkretionen waren deutliche Anzeichen dafür, daß die Hohlräume zeitweise wasserführend waren. Bei Station 732 öffnete sich hinter dem rechten Ulm eine 3 m weite, 4 m lange Höhle, die schräg abwärts zog und in der schlammiges Wasser stand. Sie mußte, wie andere Hohlräume auch, mit Blockwerk ausgeschlichtet und nach Herstellung der Stollenröhre (Profilstahlbögen, armierter Spritzbeton) mit Zementmörtel verpreßt werden.

Als der Vortrieb am 31. Jänner 1967 die Station 739 erreichte, begann ein etwa 1 bis 1,5 m mächtiges Band von stark durchbewegtem Werfener Schiefer zwischen dem Blockwerk aus dem linken Sohlbereich quer über die Brust aufzusteigen. Ab Station 746 bestand dann die gesamte Brust aus Werfener Schiefer, in den Blöcke von Wettersteindolomit eingewürgt waren. Zwischen Station 770 und 778 standen NE-fallende, 1,5 bis 2 m starke Lamellen von stark klüftigem Wettersteindolomit, die durch ca. 1 bis 1,5 m starke Zonen von stark zerquetschtem Werfener Schiefer voneinander getrennt waren.

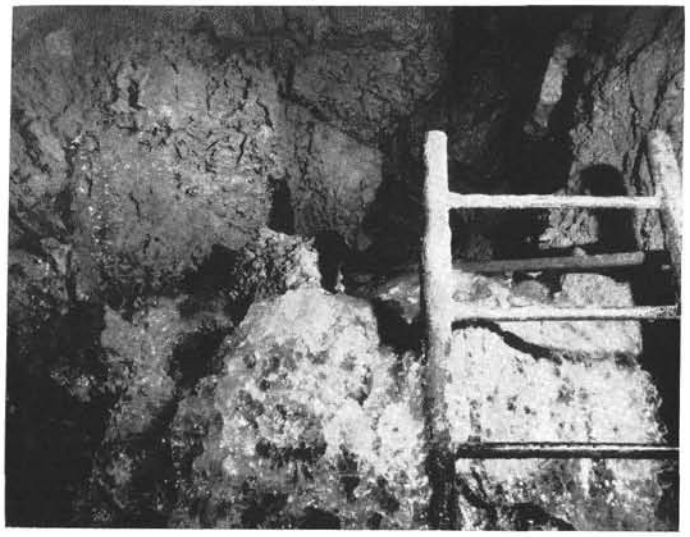


Abb. 35. Öffnung eines schliefbaren Hohlraumes. Südtrum, Trümmerzone zwischen Station 667 und 672.

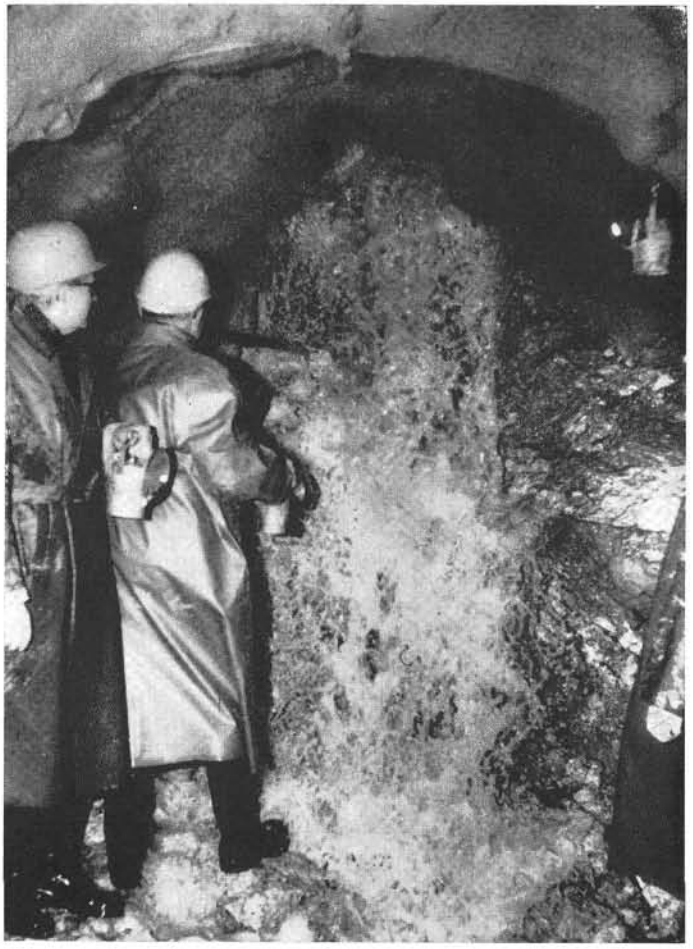


Abb. 36. Starker Wasserzutritt aus Karstschlauch im Wettersteinkalk und -dolomit. Südtrum, zwischen Station 672 und 679.

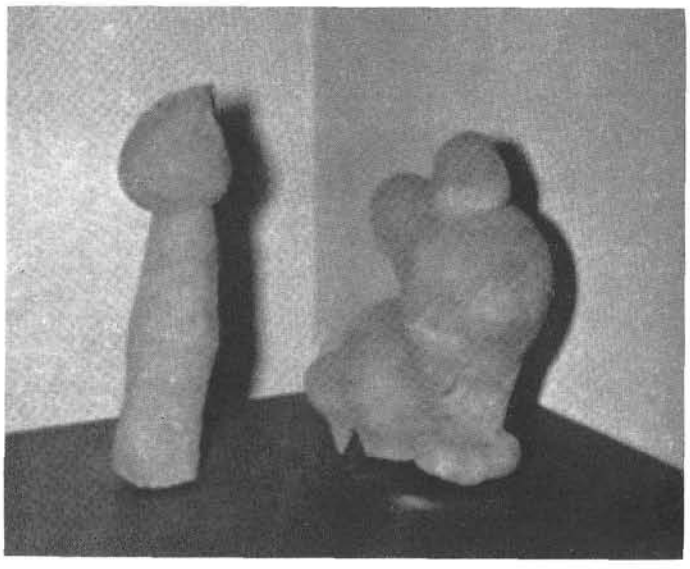


Abb. 37. Sandsteinkonkretionen aus Karsthohlräumen. Südtrum, Station 682 bis 684.

Von Station 778 bis 847 trat dann Werfener Schiefer zunächst nur noch als Füllung von bis zu 0,5 m weiten Klüften in stark zertrümmertem, in Einzelblöcke zerlegtem Wettersteindolomit auf.

Bei Station 842 erfolgte ein Wassereinbruch von ca. 140 l/sec. aus dem linken Ulm. Wie sich bei Erreichen von Station 847 herausstellte, wo die endgültige massive Aufwölbung der Werfener Schichten begann, sollte dies der letzte dem Sieben-Quellen-System angehörende Wasserzutritt sein. Insgesamt hatte der Vortrieb auf 205 m Länge die basale Trümmerzone des Kalkmassivs durchfahren.

Bis Station 876 enthielten die rotvioletten Werfener Schiefer noch Gesteinstrümmer von Wettersteinkalk und -dolomit. Von Station 877 bis 880 folgte ein Einschluß von hellgelbem, lehmigem Feinsand. Danach zeigten sich neben den rotvioletten auch grünliche Schiefertypen. Allmählich wurde das Gestein, das zunächst stark zerkrümelt und partienweise braun verfärbt war, etwas kompakter.

Mit dem Eintritt in die geschlossenen und von Kalk- und Dolomiteinschlüssen freien Werfener Schichten bei Station 876 war ein deutlicher Temperaturanstieg des Gebirges und damit der Stollenluft verbunden.

Da die Gesteine bei Luftzutritt zum Aufquellen und bereits nach 10 Minuten Stehzeit zum Zerfallen neigten, wurde unmittelbar nach dem Aufschließen ein Luftabschluß aus Spritzbeton (3 bis 5 cm) hergestellt. Außerdem wurde wegen des starken Gebirgsdruckes der Stollen mit Stahlstreckenbögen (Abstand ca. 1,5 m) und armierter Spritzbetonsicherung (20 cm) ausgebaut. Zur Sicherung der Sohle gegen Auftreiben wurden zwischen jedem 2. Streckenbogen Querschienen eingebaut und eine armierte Sohlsicherung, ebenfalls in Spritzbeton, aufgebracht.

Bei Station 906,5 und 912 traten im linken Sohlbereich Wasserzutritte mit je 0,5 l/sec., bei Station 918,5 einer mit ca. 1 l/sec. und bei Station 926 einer mit ca. 5 l/sec. auf.

Als der Vortrieb Station 951 erreichte, wurde über der Firste ein rund 10 m hoher, 2 bis 3 m weiter Kamin aufgeschlossen, aus dem lose, stark verwitterte, teils braun verfärbte Werfener Schiefer in den Stollen nachbrachen. Bei Station 953 wurde im linken Sohlbereich ein Wasserzutritt von ca. 1 l/sec. geöffnet.

3 m weiter, bei Station 956, begann aus der Sohle Anhydrit in Wechsellagerung mit Gips flach aufzusteigen und erreichte bei Station 997 schließlich die Firste. Etwa bei Station 1020 keilten die Gipslagen fast völlig aus, und von da an verblieb der Stollen für mehr als 150 m, nämlich bis Station 1174, in hell- bis dunkelgrauem, teils gut geschichtetem, teils massig-kompaktem Dolomitanhydrit. Das Gebirge war standfest, aber die kompakten Partien neigten zu Abschalungen nach Entspannungsklüften, besonders am rechten Ulm, wobei dort offenbar tektonische Restspannungen stärker zur Auswirkung kamen.

Eine mittelsteil NE-fallende Bewegungsfläche brachte bei Station 1174 Haselgebirge, ein Gemisch von Werfener Schiefern, Tonen, Salzlagen und -knollen sowie Gips- und Anhydritschollen ins Profil. Ab Station 1228 traten in verstärktem Maße wieder violette Werfener Schiefer mit eingelagerten Bändern und Knollen von reinem Gips hinzu. Das Gebirge war plastisch und verlangte nacheilenden Ausbau mit Thorstahl-armiertem Spritzbeton. Ab Station 1270 mußten wieder Streckenbögen (Abstand durchschnittlich 2 m) bis Station 1303 gestellt werden.

Bei Station 1303 trat an steil N-fallender Fläche wiederum Anhydrit ins Profil. Das Gestein zeigte starke, lagenweise Einlagerungen von Gips, der schon kurze Zeit nach dem Ausbrechen zu kleinen Knollen und Gesteinsmehl zerfiel.

Etwa ab Station 1348 wurde der Anhydrit etwas kompakter und dünnbankig bis dünnplattig, als Einfallen wurde N 30° W mit 50° gemessen. Von Station 1360 bis 1380 mußten Firste und linker Ulm mit 66 Kurzankern gehalten werden.

Am 22. März 1968, 21.30 Uhr erfolgte ein Einbruch von Salinargasen am linken Ulm, 1 m über der Sohle bei Station 1383. Die Gase entzündeten sich glücklicherweise frühzeitig an der Flamme einer Karbidlampe, so daß keine explosive Gaskonzentration in der Stollenluft entstehen konnte. Das Gas strömte unter Druck aus engständigen Schichtfugen, die Hitzeentwicklung des Brandes brachte dünne Anhydritplatten zum Abspringen. Die chemische Untersuchung des Gases, die teils vom Labor für Aufschluß und Produktion der Österreichischen Mineralölverwaltung AG Wien, teils vom Institut für anorganisch-chemische Technologie und analytische Chemie der technischen Hochschule Graz durchgeführt wurde, brachte folgendes Ergebnis:

Tabelle 2

Gaschromatographische Analyse
Österreichische Mineralölverwaltung, Labor für Aufschluß und Produktion

Bestandteil	Helium (He)	Wasserstoff (H_2)	Kohlendioxyd (CO_2)	Stickstoff (N_2)	Methan (CH_4)	Äthan (C_2H_6)	Propan (C_3H_8) und höhere Kohlenwasserstoffe
Vol-%	0,42	20,95	0,09	38,00	40,20	0,32	0,02

Tabelle 3

Chemische Analyse

Technische Hochschule Graz, Institut für anorganisch-chemischeTechnologie und analytische Chemie. 8 Proben.

Gasprobe	Methan (CH_4)	Wasserstoffgas (H_2)	Sauerstoff (O_2)	Schwere Kohlenwasserstoffe	Kohlendioxyd (CO_2)	Kohlenmonoxyd (CO) in ppm	N 2 in ppm + H_2S		Schwefeldioxyd (SO_2)	Andere S-Verbindungen
1	37,4	19,2	1,3	0,2	0,1	10	41,8	10	—	Spuren
2	38,0	19,8	1,5	0,1	0,1	10	40,5	10	—	Spuren
3	37,5	18,7	1,1	0,1	0,1	10	42,5	10	—	Spuren
4	37,4	19,2	1,5	0,1	0,1	10	41,7	10	—	Spuren
5	36,3	18,1	1,5	0,1	0,1	10	43,8	10	—	Spuren
6	36,5	18,9	1,3	0,1	0,1	10	43,0	10	—	Spuren
7	41,2	22,5	0,2	0,1	0,1	10	35,9	10	—	Spuren
8	40,2	19,8	0,5	0,1	0,1	10	39,3	10	—	Spuren
Tiefstwert und Höchstwert	36,3 bis 41,2	18,1 bis 22,5	0,2 bis 1,5	0,1 bis 0,2	0,1	10	35,9 bis 43,8	10	—	Spuren

Das Auftreten der Salinargase war kein überraschendes Ereignis. Bereits im Vorgutachten (1963) war auf diese Möglichkeit hingewiesen worden. Überraschend war hingegen der hohe Wasserstoffgehalt, der bei Gasvorkommen alpiner Salzlagerstätten bisher nicht festgestellt worden war. Gase, welche in ihrer Zusammensetzung und besonders im hohen Wasserstoffgehalt jenen des Schneealpenstollens ähnlich sind, wurden hingegen aus dem Ural bekannt.

Abb. 38. Brand der Salinargase im Südtrum bei Station 1383. Bläuliche Flammen über den Schichtfugen, gelbbraune Verfärbung des hellgrauen Anhydrits durch Hitzeentwicklung.

Nachdem alle Maßnahmen für eine gefahrlose Fortführung des Vortriebes, auf die im Abschnitt 2 näher eingegangen wird, getroffen worden waren, wurden die Arbeiten wieder aufgenommen.

In der weiteren Anhydrit- und Gipsstrecke, die bis Station 1479 reichte, wurden an folgenden Stellen neuerdings Gasaustritte festgestellt: bei Station 1388 und 1390, bei Station 1403 bis 1405 (Konzentration 34%), bei Station 1410 bis 1412 (Konzentration 35%), bei Station 1424 bis 1426 (Konzentration 30%), bei Station 1430 bis 1431 (Konzentration 70%) und schließlich bei Station 1474 bis 1475 (Konzentration 20%). Die angegebenen Konzentrationen wurden mit dem Gasspürgerät jeweils unmittelbar nach dem Öffnen der betreffenden Zone gemessen.

Am 5. Juni 1968 verließ der Vortrieb das Anhydrit- und Gipsgebirge und trat in vorwiegend violette Werfener Schiefer ein, die an einer steil NE-fallenden Fläche von der Firste herabtauchten. Die Schiefer enthielten Lagen und Schollen von Gips und Linsen von Haselgebirgston mit Salz, die meist rasch wieder ausdünnten. Zwischen Station 1517 und 1528 reichten grüne Werfener Schiefer muldenförmig in den Stollen, gefolgt von einer Aufwölbung desselben Gesteins, die bis Station 1543 reichte. Von Station 1543 bis 1575 ging der Vortrieb wieder durch violette Werfener Schiefer, in die ab Station 1560 zunehmend Haselgebirge eingeschaltet war.

Bei Station 1575 tauchte dünnschichtiger, mehlig zerfallender Gips auf. In diesem Gestein erfolgte am 8. Juli 1968 der Stollendurchschlag und damit bei Station 1578,78 der Zusammenschluß des Südtrums mit dem Nordtrum (Station 8101,5) des Schneealpenstollens.

1.7. Neue Erkenntnisse aus dem Stollenaufschluß

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse, die der Stollenaufschluß vom Tiefenbau der Schneealpe erbracht hat, in kurzer Form zusammengefaßt:

1.7.1. Basale Schuppenzone und basale Faltung

Die geologische Spezialkarte 1 : 75.000 (H. P. CORNELIUS) und die für das Stollenprojekt durchgeführten Voruntersuchungen ließen an der Süd- und Ostseite der Schneealpe basale Schuppung der kalkalpinen Elemente deutlich erkennen. Die Frage war, ob und wie sich die Schuppung in die Tiefe des Gebirgskörpers fortsetzen würde.

Durch den Stollenaufschluß läßt sich diese Frage dahingehend beantworten, daß eine solche Fortsetzung in die Tiefe zumindest bis in den Bereich der Stollentrasse gegeben ist und daß sie in ihrem Erscheinungsbild den an der Süd- und Ostflanke der Schneealpe aufgeschlossenen Verhältnissen ähnlich ist.

In diesem Zusammenhang spielt das Auftreten der hellen, dem Wettersteinkalk bzw. Pseudo-Hallstätter Kalk ähnlichen Kalke im Liegenden von Gutensteiner Kalk und Dolomit bei Station 1089 bis 1094 im Nordtrum und die Aufschlüsse von Gutensteiner Kalk und Dolomit im Hangenden von Wettersteinkalk, ebenfalls im Nordtrum von Station 6005/6010 bis 6020 und im Südtrum von Station 567 bis 570 eine bedeutende Rolle.

Erscheinungen, die im Ansatz über Kräfte und Mechanismus der zur Schuppung führenden Vorgänge Aufschluß geben, sind die bei Station 3524 bis 3537 und 3910 bis 3956 Nord beobachteten Aufspaltungen von Gutensteiner Kalk- und Dolomitenbänken durch den gewaltsamen Einschub von Wettersteinkalk- und -dolomitbänken.

Neben diesem gewaltsam wirkenden Deformationstyp sind im Tiefenbau des Gebirgskörpers trotz der heute noch vorhandenen Überlagerung von ca. 1000 m auch Deformationen möglich, die sonst eher aus oberflächennäheren Zonen mit freierer Beweglichkeit bekannt sind, nämlich enge Faltung, ja Fältelung, besonders im Gutensteiner Kalk und Dolomit, wie sie z. B. bei Station 3179/3181 und 3779 bis 3831 Nord vorkommen. Beim Zustandekommen dieser Faltungsdeformation in der Tiefe mag die Nähe der liegenden Werfener Schichten mit ihrer mechanischen Mobilität eine wesentliche Rolle spielen.

1.7.2. Basale Gesteinszertrümmerung

Die auf 205 m Länge aufgeschlossene basale Störungszone im Südtrum (Station 642 bis 847) gab ein eindringliches Beispiel für die Wirkung der bei Überschiebungsvorgängen auftretenden Beanspruchung starrer Gesteinskörper. Hier erscheint die Basis des Karbonatgesteinskörpers in Gesteinstrümmer von Faustgröße bis Hausgröße zu einem „Reibungsteppich" zerrissen, über dem sich die mehr oder minder unversehrt gebliebene Gebirgsmasse bewegt.

Außer der basalen Trümmerzone im Südtrum gibt es ähnliche Erscheinungen auch im Nordtrum, nur mit dem Unterschied, daß die Zertrümmerung nachträglich „ausgeheilt" wurde. Hier sind vor allem die monomikten, aus Gutensteiner Kalk und Dolomit bestehenden Großbrekzien mit Kalzit-Säumen um die Komponenten zwischen Station 6807 und 6865 Nord, die scheckigen Mischbrekzien, bestehend aus Gutensteiner Kalk und Dolomit und Wettersteinkalk und -dolomit z. B. von Station 5693 bis 5789 Nord, die bis kubitmetergroßen Schollen von Gutensteiner Kalk und Dolomit in Wettersteinkalk von Station 7605 bis 7645 Nord und die gedrehten Schollen von Wettersteinkalk in Gutensteiner Kalk und Dolomit Station 3911 bis 3956 Nord zu nennen.

Es ist möglich, daß diese „verheilten" Trümmergesteine gegenüber den unkonsolidierten Trümmergesteinen des Südtrums eine ältere Generation darstellen.

1.7.3. Undulieren der Basiszone

Aus den Faltenbildern im Gutensteiner Kalk und Dolomit (z. B. Station 3179/3181, Station 3779 bis 3831, Station 7075 bis 7085) geht hervor, daß der Zusammenschub und damit die Überschiebung der Schneealpe in Richtungen um Nord (NNW bis NNE) erfolgt ist. Im Stollen, der ungefähr senkrecht zur Bewegungsrichtung verläuft, zeigt sich, wenn man von der zusätzlichen Bruchdeformation absieht, ein sanftes Undulieren der Basis des Gebirgskörpers, wobei die Spannweiten der Mulden- und Sattelzonen zwischen 1,5 und 3 km liegen und die Vertikaldistanz zwischen tiefster Mulde und höchstem Sattel ca. 150 m beträgt.

Auf Grund von Anlage, Erscheinungsform und Verhalten der Kluftzonen kann Einengung des Gebirges in der West-Ost-Richtung als Ursache der basalen Undulation ausgeschlossen werden. Alle Anzeichen sprechen vielmehr dafür, daß es sich dabei um den Ausdruck der Überschiebung über ein vorhandenes Relief des Substrats (Grauwackenzone und tiefste kalkalpine Elemente) handelt.

1.7.4. Die Stellung der Gosaukonglomeratbrekzie im Tiefenaufschluß

Die Gosaukonglomeratbrekzie ist zwar kein kalkalpines Element, gehört aber, als Teil der Beckenfüllung von Krampen, zum kalkalpinen Bausystem der Schneealpe. Wie im Becken von Krampen, tritt sie auch im Stollen in Gesellschaft der basalen Werfener Schichten auf. Dabei gibt es Stellen (Station 6289), wo diese Werfener Schichten nach Störungen vollständig ausgequetscht oder abgeschert sind, so daß die Oberkreidegesteine unmittelbar vom überschobenen Gutensteiner Kalk und Dolomit überlagert werden.

Andererseits gibt es Anzeichen, daß sich im Liegenden der Gosaugesteine des Stollens noch Werfener Schichten befinden. Von Station 7720 bis 7758 erscheinen sie in einzelnen Zonen hochgepreßt in Klüften der Konglomeratbrekzie.

In ihrer örtlichen Stellung weisen sie nach Nordosten hinüber zum Vorkommen im Kleinen Höllental zwischen Rax und Schneeberg, nach Nordosten zum Vorkommen im Tal der Kalten Mürz bei Frein. Aus den Aufschlüssen im Stollen ist naturgemäß nicht ersichtlich, ob die Konglomeratbrekzien-Schollen an der Basis der Schneealpe bei der Überschiebung nach Norden mitgeschleppt, oder ob sie von der Schneealpe lediglich überfahren worden sind.

Fest steht jedenfalls, daß die Gosaukonglomeratbrekzien nicht nur das tiefste durch den Stollen aufgeschlossene Element des kalkalpinen Systems, sondern das tiefste aufgeschlossene Element überhaupt darstellen. Gesteine der Grauwackenzone wurden an keiner Stelle des Stollens angefahren.

1.7.5. Vertikale Gebirgszerlegung bis zur Basis der Schneealpe

In verschiedenen Störungszonen, die der Stollen durchfahren hatte, war durch Wasser- und Luftzutritte (Station 979,5 und 983 Nord, 679/680 und 682/684 Süd) sowie durch die Füllung von Klüften und Hohlräumen mit Lehm (4500 Nord), Sand und Bohnerzen (948 bis 952 Süd), gerundeten Steinen (Störungszone Süd) und Konkretionen (682 bis 684 Süd) klar, daß die vertikale Gebirgszerlegung auch in tiefe Teile des Gebirgskörpers reicht, und dies nicht nur bei geringen Überlagerungen der Außenstrecken des Stollens sondern ebenso auch in den Innenzonen bei Überlagerungshöhen von ca. 1000 m.

Daß die Gebirgszerlegung tatsächlich bis in die tiefsten aufgeschlossenen Zonen des kalkalpinen Unterbaues reicht, erwies sich durch den unter Druck stehenden Wasserzutritt bei Station 6445 Nord in der Gosaukonglomeratbrekzie (Überlagerung 1000 m), der ca. 600 m³ Sand in den Stollen warf. Das unmittelbare eindeutige Reagieren dieses Wasserzutritts in Schüttung, Chemismus und Temperatur auf Schneeschmelze, Niederschläge und Trockenperioden beweist seinen direkten Zusammenhang mit seinem Einzugsgebiet, dem Schneealpenplateau zwischen Schauerkogel und Grünkogel.

Andererseits gibt es im Basisbereich Zonen, in denen sich auf Grund der Plastizität der Gesteine die Gebirgszerlegung nicht auswirken konnte, wie etwa die Werfener Schichten mit ihren Anhydritkörpern im Südtrum. Die in ihnen eingeschlossenen Gase fanden keine natürlichen Austrittswege, sondern wurden erst durch den Stollenaufschluß freigesetzt.

1.7.6. Tektonische Restspannungen

Wie die Faltungserscheinungen im Gutensteiner Kalk und Dolomit und die überfahrenen Gosaugesteine der Schneealpen-Basis zeigen, hat die Schneealpe Überschiebung und Einengung in der Süd-Nord-Richtung erfahren. Als Ganzes betrachtet, stellt der Gebirgskörper der Schneealpe zudem eine nach Norden gekippte Platte dar, die im Süden freiliegt, sich im Norden aber gegen die nördlich anschließenden, als Widerlager wirkenden Gebirgskörper zwischen kalter Mürz und Wasseralm abstützt und somit gegen die Kraftrichtung einseitig eingespannt ist.

Diese beiden Faktoren, die Einengung und die Einspannung, bewirken, daß Restspannungen im Gebirgskörper verblieben sind, die durch den Stollenaufschluß teilweise freigesetzt wurden. Die Wirkungsweise ist jene der Entspannung einer zusammengedrückten Feder, das Maß der Entspannung hängt von der Elastizität der betroffenen Gesteine ab, die Auswirkung von deren Festigkeitseigenschaften.

Im Schneealpenstollen haben sich die tektonischen Restspannungen als Abschalungen nach Entspannungsklüften über weite Strecken manifestiert, die fast ausschließlich auf den linken (südlichen) Ulm des Nordtrums, also auf jene Seite beschränkt waren, von welcher der tektonische Schub erfolgte. Dabei wurden von den wirkenden Kräften bestehende Diskontinuitäten, wie Schichtfugen oder bereits vorher vorhanden gewesene Bruchflächen, glatt übergangen. Das Entstehen der Entspannungsrisse und ihre Erweiterung zu Klüften und Spalten, vor denen schließlich das abgetrennte Material abgeworfen wurde, stellte ein vollkommen selbständiges, erst durch das Herauslösen des Gebirges eingeleitetes tektonisches Ereignis dar, wie am reihenweisen Abreißen der Schichtköpfe von Gutensteiner Kalk und Dolomit, z. B. auf der fast 250 m langen Strecke von Station 6040 bis 6285 Nord, linker Ulm, zu beobachten war.

2. Baugeologie

Gleichzeitig mit der geologischen Aufnahme und Dokumentation sowie der Sicherstellung von Proben- und Belegmaterial (es wurde alle 2 m eine repräsentative Probe, das sind über 4800 Proben, aus dem Stollen entnommen) war die baugeologische Beratung eine weitere Hauptaufgabe des Berichterstatters.

Im folgenden werden die vom Gebirge und seinen Eigenheiten herrührenden Probleme und die zu ihrer Lösung ergriffenen technischen Maßnahmen diskutiert.

Auf diesem Gebiet war das Zusammenspiel von Technik und Geologie für den Erfolg entscheidend. Für dieses Zusammenspiel sind zwei Grundvoraussetzungen erforderlich, nämlich:

1. Der Geologe muß die Sprache des Technikers beherrschen, um seine Einsichten in praktikable Ratschläge und Hinweise übersetzen zu können.

2. Der Techniker muß ein Mindestmaß an geologischem Verständnis besitzen, um die Äußerungen der Baugeologen ihrem Wesen und Wert nach richtig einschätzen zu können.

Falls diese beiden Grundvoraussetzungen gegeben sind, werden Geologe und Techniker auf gleicher Gedankenebene diskutieren und, da beide Seiten auf dasselbe Ziel, nämlich die erfolgreiche Vollendung des Bauwerkes hinarbeiten, zu gemeinsamen Lösungen auch schwierigster Probleme kommen. Dies war beim Schneealpenstollen der Fall.

2.1. Gebirgsklassifizierung

Bei der Projektierung war folgende Gebirgsklassifizierung festgelegt worden:

Gebirgsklasse

a — standfestes Gebirge
b — gebräches Gebirge
c — druckhaftes Gebirge
d — gestörtes Gebirge

Die Festlegung der Gebirgsklassifizierung war ohne geologische Mitwirkung erfolgt und wurde den geologischen Verhältnissen nicht immer voll gerecht. Außerdem ergaben sich in der Folge wiederholt Diskussionen, die ihren Grund in der Tatsache hatten, daß die Gebirgsklassifizierung in der gewählten Form nicht gleichzeitig die Beurteilung von Vortrieb und Standfestigkeit zuließ. Scheinbare Ungereimtheiten zwischen Ausbruchswiderstand und Standfestigkeiten bestanden darin, daß sich einerseits „gesunde" Strecken, in denen gute Vortriebsleistungen erzielt wurden, oft schon nach kurzer Stehzeit als wenig standfest erwiesen, was meist auf die Freisetzung tektonischer Restspannungen zurückzuführen war. Andererseits war streckenweise zerrüttetes Gebirge infolge besserer Möglichkeiten der Spannungsumlagerung bemerkenswert standfest, obwohl nur mäßige oder geringe Vortriebsgeschwindigkeiten erreicht worden waren.

Den Ausweg aus diesem Dilemma brachte die formelle Trennung der Klassifizierung der Standsicherheit von jener des Ausbruchswiderstandes.

Für die Klassifizierung der Standfestigkeit wurden die griechischen Buchstaben verwendet, und zwar:

α — für standfestes Gebirge
β — für schwach gebräches Gebirge
γ — für stark bis überaus gebräches Gebirge
δ — für druckhaftes bis schwimmendes und loses Gebirge

Unabhängig von Vortriebsgeschwindigkeiten und Vortriebsschwierigkeiten waren diesen Gebirgsklassen jene Sicherungsmaßnahmen zugeordnet, die den jeweiligen Standfestigkeitsverhältnissen entsprachen.

Bei Gebirgsklasse α: keine Sicherung erforderlich.

Bei Gebirgsklasse β: Sicherung durch dünne Spritzbetonauskleidung (3 bis 5 cm) ohne Armierung. Ankerung einzelner Felskörper.

Bei Gebirgsklasse γ: Sicherung durch stärkere Spritzbetonauskleidung (10 bis 15 cm) und Armierung mit Baustahlgitter. Ankerungen. Eventuell auch stärkere Armierung.

Bei Gebirgsklasse δ: druckfeste Sicherung mit schwerer Spritzbetonauskleidung (15 bis 25 cm), Sohlsicherung, starke Armierung mit Profilstahlringen, Thorstahlbögen, Baustahlgittereinlagen, Längsverteilereisen usw.

Diese nachträgliche Lösung des Problems der Gebirgsklassifizierung war im gegebenen Fall allseits befriedigend, weil sie den Erfordernissen der Sicherheit voll gerecht wurde, ohne die anderen, ursprünglich in die Gebirgsklassifizierung implizierten Faktoren zu präjudizieren.

2.2. Vortrieb

Der Vortrieb wurde konventionell mit den Phasen Bohren, Laden, Schießen, Schuttern, Ausbringen durchgeführt. Die nötigen Nebenarbeiten wie Räumen des Wassergrabens, Absichern, Gleisvorbau und Verlängern der Lüftungs-, Preßluft-, Wasser-, Stollentelephonleitung usw. wurden zwischen den Arbeitsphasen erledigt.

a) Bohren

Das Bohren erfolgte mittels eines dreiarmigen Bohrwagens. Es wurden jeweils zwei zentrale Entlastungslöcher mit 57 mm ∅ und 32 Sprenglöcher mit 32 mm ∅ gebohrt. Die Bohrlochtiefe betrug 2,60 m. Da mit Paralleleinbruch gearbeitet wurde, war es erforderlich, die Einbruchslöcher genau und parallel zu bohren. Dieser Forderung entsprach der verwendete Bohrwagen zur vollen Zufriedenheit.

Hingegen kam es sowohl beim Bohren als auch beim Laden streckenweise zu gesteinsbedingten Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten bestanden darin, daß Gesteinsmaterial der Bohrlochwandungen teilweise während des Bohrvorganges und teilweise vor und während des Besetzens der Bohrlöcher mit Sprengstoff ins Bohrloch einfiel und so zum Klemmen der Bohrer oder zu Bohrlochverschlüssen vor oder während des Ladens führten. Die Notwendigkeit, solche verfallende Bohrlöcher immer wieder auszuräumen oder gar erneut aufzubohren, führte bisweilen zu empfindlichen Verzögerungen. In manchen Strecken verlängerten sich die Bohr- und Ladezeiten auf Grund dieser Schwierigkeiten auf das Doppelte bis Dreifache der normalen Bohr- und Ladezeiten.

Als Ursachen für die störende Erscheinung des Bohrlocheinfalles wirkten meist mehrere Faktoren zusammen: Die Kalke und

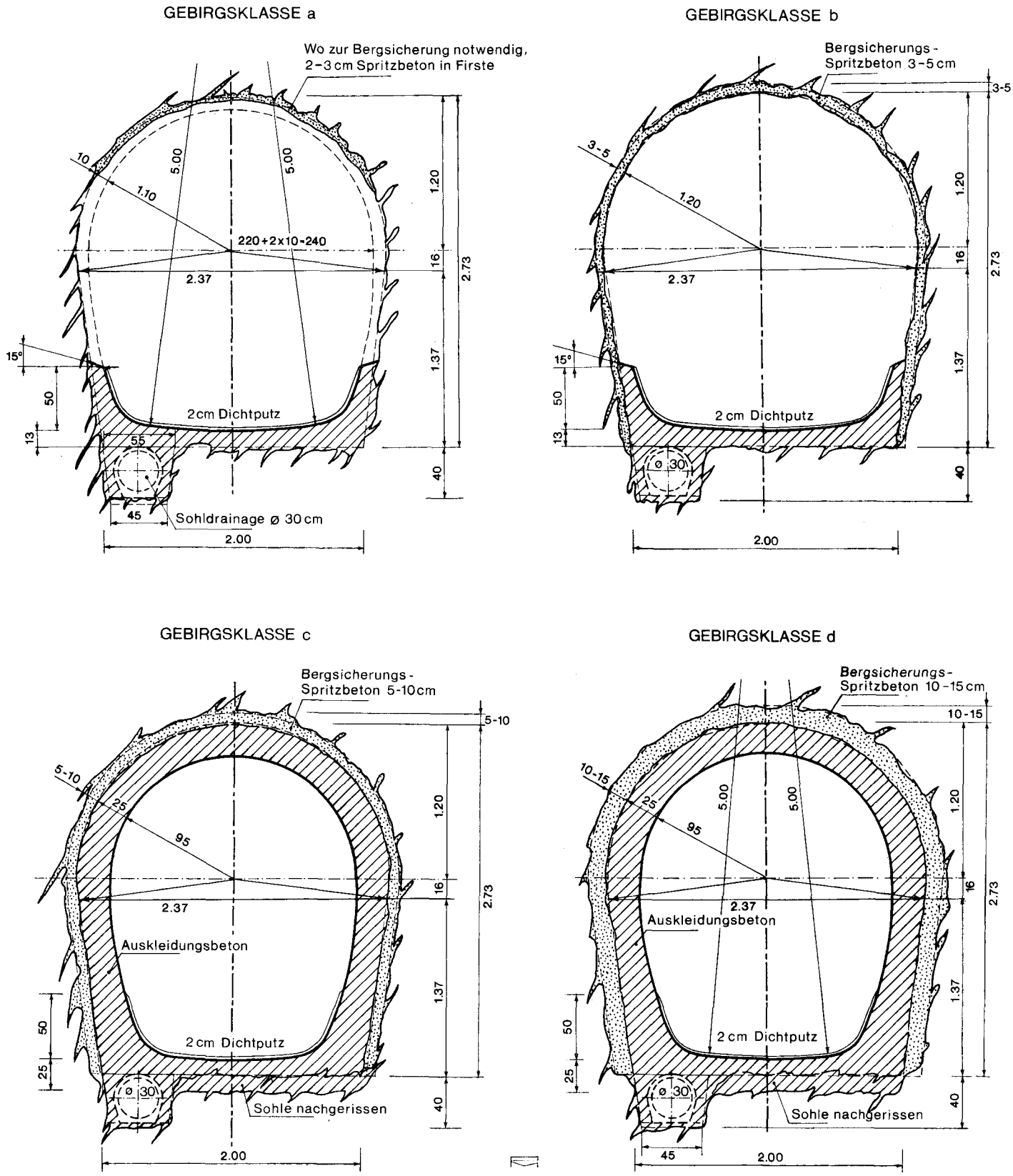


Abb. 39. Projektsmäßige Gebirgsklassen mit schematischer Angabe von Bergsicherung und Auskleidung.

Dolomite (Wettersteinkalk und -dolomit, Gutensteiner Kalk und Dolomit), in denen das Bohrlocheinfallen am häufigsten war, waren von einem Netzwerk feinerer und stärkerer Klüfte durchzogen. Diese Klüfte standen oft nur in Abständen von Millimetern oder Zentimetern zueinander und begrenzten bei vollständiger Durchtrennung die dazwischenliegenden Gesteinsstücke polygonal, so daß ein aus isolierten, mehr oder minder kleinen Gesteinsteilen aufgebautes Gesteinsaggregat vorlag. Beim Öffnen des Gesteins durch das Aufbohren wurde die polygonale Verspreizung im Gesteinskörper an einer Seite geöffnet und es kam zum Eingleiten bzw. Einfallen isolierter Gesteinsstücke in den Bohrlochhohlraum, begünstigt durch die schwemmende und drückende Wirkung des Bohrspülwassers.

Besonders häufig war Bohrlocheinfall in Strecken mit geringer Überlagerung (bis etwa 300 m) zu beobachten, in denen die Gebirgsauflockerung von der Oberfläche her noch deutlich merkbar war, und in Strecken, in welchen die Klüfte Lehmbestege zeigten. Diese Lehmbestege wurden durch das Bohrspülwasser aufgeschlämmt und begünstigten das Eingleiten isolierter Gesteinsstücke in die Bohrlöcher.

Weiters traten diese Schwierigkeiten in Zerrütterungszonen und in wasserführenden Zonen verstärkt auf. Die vom Berg in den Stollen drängenden Wässer standen zumeist unter Druck und preßten isolierte Gesteinsstücke in die Bohrlöcher ein. Dazu kam, daß der zwischen den Gesteinsstücken liegende Wasserfilm reibungsmindernd wirkte.

Ein probates Mittel gegen das Einfallen der Bohrlöcher gab es nicht. Die Mannschaften mußten viel Geduld aufwenden und Verzögerungen in Kauf nehmen, um mit diesem Handikap fertig zu werden. Theoretisch wäre Gesteinsvergütung durch Injektionen natürlich möglich, doch stehen die dafür nötigen Kosten und der Zeitaufwand in keinem Verhältnis zum Effekt, wenn es darum geht, einen Stollen akkordmäßig vorzutreiben.

b) Laden und Schießen

Wie bereits erwähnt, spielten die Schwierigkeiten des Bohrlocheinfallens auch beim Laden streckenweise eine verzögernde Rolle.

Wegen der allgemein nassen Verhältnisse im Stollen wurde als Sprengstoff Gelatine Donarit I verwendet. Die Patronen von 25 mm ∅ wurden im Einbruch mit elektrischen Millisekundenzündern, die übrigen Ladungen mit elektrischen Halbsekundenzündern in verschiedenen Zeitstufen gezündet. Die durchschnittlichen Abschlaglängen betrugen 2,25 bis 2,30 m. Pro Abschlag wurden rund 50 kg Sprengstoff gezündet, der Sprengstoffverbrauch je m³ Ausbruch betrug durchschnittlich 3 kg.

c) Schuttern

Der Abtransport des Ausbruchsmaterials erfolgte mittels Bunkerzuges (bestehend aus 20 Einheiten); als Reserve und in besonderen Fällen (z. B. für lehmiges Einbruchsmaterial aus Hohlräumen usw.) wurden Stollenkipper verwendet.

Zum Rangieren, als Abstellplätze und als Ausweichen wurde alle 600 m im Stollen ein Bahnhof und zusätzlich (insbesondere für Kipper-Transport) alle 80 bis 100 m Schutternischen angelegt. Da die Bahnhöfe eine Vergrößerung des Hohlraumes auf nahezu das doppelte Volumen bedeuteten, war im stärker gestörten Gebirge jeweils zu prüfen, ob eine Verlegung des Bahnhofes geraten oder ob eine Verstärkung der Sicherung (verstärkte Auskleidung oder Armierung) vorgenommen werden mußte, wobei bei begrenzten Störungszonen einer Verlegung um einige Zehner Meter aus Kostengründen der Vorzug gebührte.

Zum Beladen des Bunkerzuges bzw. der Kipper wurden Überkopflader verwendet.

Beim Beladen des Bunkerzuges ergaben sich für die automatische Nachholeinrichtung streckenweise Schwierigkeiten, deren Ursachen zunächst nicht völlig klar waren. Eine genaue geologische Untersuchung ergab, daß diese Schwierigkeiten gesteinsbedingt waren.

Zunächst zeigte sich nur, daß die auf große Strecken im Stollen-Nordtrum zu fördernden Dolomite (Gutensteiner Dolomit, Wettersteindolomit) von dem Belademechanismus des Bunkerzuges wesentlich schlechter bewältigt wurden als die Kalke (Gutensteiner Kalk und Wettersteinkalk). Ebenso war es mit Gesteinsbruch, der mit Kluftlehm, mylonitischen Gesteinszerreibsel oder Gesteinsstaub durchsetzt war und einen mittleren Feuchtigkeitsgrad aufwies.

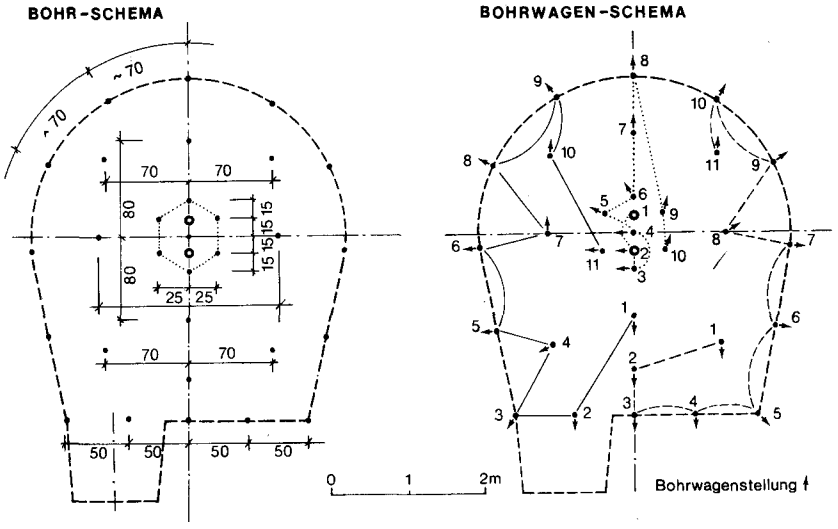


Abb. 40. Links: Anordnung der Bohrlöcher. Rechts: Abfolge der Bohrungen der drei Lafetten des Bohrwagens Typ „Pantofore", Montabert (Nordtrum).

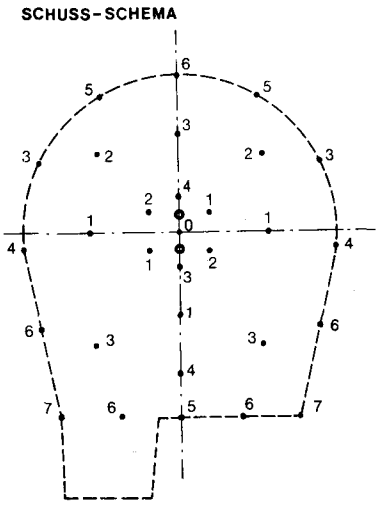


Abb. 41.
Zündfolge beim Vortrieb im Nordtrum.

Bei den Dolomiten war es vor allem der polygonale Bruch der Gesteinsstücke und die damit verbundene Verspreizung und Verkeilung, welche die Ursache für die Beladeschwierigkeiten bildeten.
Bei Lehm- und Tonbeimengungen, verbunden mit mittlerer Durchfeuchtung, stellten sich Verklumpungen ein, die zu einer Beeinträchtigung des Beladevorganges durch Blockieren des Kettenzuges führten. Außerdem wurde durch das zähe Tonmaterial die Reibung an den Innenwandungen des Bunkerzuges stark erhöht und damit die Ladung gebremst. Die Auswirkung waren häufige Kettenrisse und damit empfindliche Zeitverluste durch Ausfall des Bunkerzuges, weil dieser händisch entladen werden mußte, bevor er repariert und wieder zum Einsatz gebracht werden konnte.

2.3. Bergsicherung

Ohne im einzelnen auf ihre jeweiligen Beziehungen zu den Gebirgsklassen einzugehen, seien nachfolgend die wichtigsten Maßnahmen der Bergsicherung, wie sie routinemäßig und in Sonderfällen im Schneealpenstollen angewendet wurden, in ihrer Abstimmung mit den geologischen Voraussetzungen angeführt.

a) Ankerungen wurden dort angewendet, wo es galt, der Loslösung größerer Gesteinspartien, besonders in der Auflockerungszone über der Firste, vorzubeugen. Seltener ging es dabei darum, einzelne Gesteinsplatten oder Gesteinsblöcke durch Ankerung festzuhalten. Meist zielte diese Maßnahme darauf ab, den durch das Lösen des Gebirges verlorengegangenen Kräfteverbund zwischen der aufgelockerten Zone um den Lichtraum und den dahinter im Gebirge liegenden, mehr oder minder unversehrten Gesteinspartien wieder herzustellen und so die dem Gebirge eigenen Stützkräfte zu reaktivieren.

Zur Anwendung kamen je nach Bedarf zwei Ankertypen, und zwar Perfoanker und Keilanker. Perfoanker, bei denen Mörtel durch ein Siebrohr ins Gebirge und damit in die Klüfte entlang der ganzen Ankerstrecke ausgreift, haben sich besonders in zerrütteten Gesteinen, z. B. in tektonisch stark beanspruchtem Wettersteindolomit, gut bewährt. Ihre Haftung im Gebirge ist auch dort gewährleistet, wo das Ankerende keine kompetente Gesteinsschichte erreicht; der unmittelbar um den Anker liegende Gesteinskörper wird durch Vermörtelung verbunden.

Die im Schneealpenstollen häufiger verwendeten Keilanker werden mit ihrem am Ankerende befindlichen Spreizkeil im Gestein festgeheftet, die aufgeschraubte Ankerplatte hält das zwischen Keil und Platte um die Ankerstange liegende Gesteinspaket zusammen, das somit an der kompetenten Gesteinsschicht „aufgehängt" erscheint. Der häufigere Einsatz dieses Ankertyps war vor allem dadurch bedingt, daß hier vorwiegend die Ankerung von schichtigen und bankigen Gesteinen (insbesondere Gutensteiner Kalk und Dolomit) mit geringer Auflockerungstiefe notwendig war, für die sich die Keilanker besonders eigneten.
Insgesamt wurden im Schneealpenstollen 3321 Stück Berganker versetzt.

b) Spritzbeton wurde überall dort angewendet, wo eine Auskleidung oder ein Ausbau im Stollen erforderlich war. Einzige Ausnahme bildete die Strecke der Wassereinbrüche von Station 170 bis 182 im Nordtrum, die eine Ringbetonauskleidung (Schalung, Pumpbeton) erhielt.

Die Auskleidungsstärken in Spritzbeton wurden den jeweiligen Erfordernissen entsprechend gewählt, ebenso wurde die Frage, ob und wie armiert werden sollte, nicht schematisch behandelt, sondern in jedem Fall nach Prüfung der Situation entschieden.

In Fällen, in denen das Gebirge unmittelbar oder bald nach dem Aufmachen zu Entspannung durch Nachfall neigte, oder wo plastische Gesteine (Werfener Schiefer, Haselgebirge, Gips) durchörtert wurden, die durch Änderung ihres Feuchtigkeitsgehaltes verstärkte Mobilität entwickeln konnten, wurde unmittelbar nach dem Ausbruch ein Luftabschluß durch Aufbringen einer Spritzbetonhaut erzeugt, die nicht stärker als 3 cm sein mußte. Bereits dadurch konnte der Beginn von Verformungen verhindert oder so lange verzögert werden, bis die im normalen Arbeitsprogramm vorgesehene Sicherungsauskleidung durchgeführt werden konnte. Im Verlauf der gesamten Bauarbeiten konnten mit Hilfe solcher Spritzbetonsicherungen

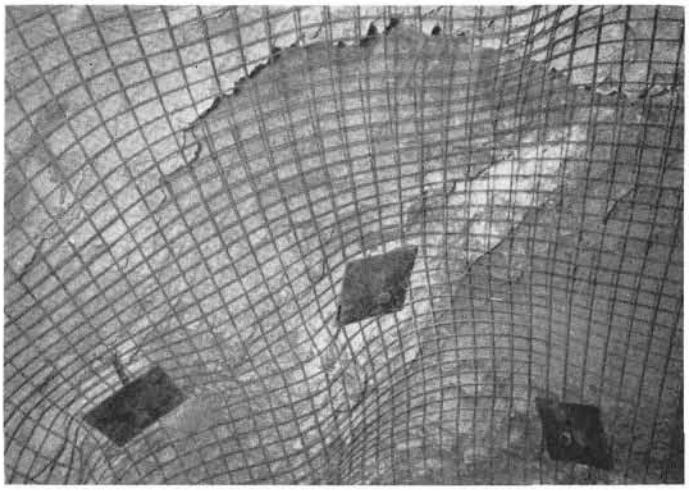


Abb. 42. Ankerung von plattigen Gesteinspartien im Bereich der Stollenfirste, mit Kopfschutz durch Baustahlgitter.

Abb. 43. Spritzbetonsicherung über Profilstahlbögen und Stahlverzugsblechen. Trümmerzone mit Wasserzutritt im Südtrum.

die Mannschaften wirksam geschützt und Unfälle durch Gesteinsablösungen verhindert werden.

Zur Vollauskleidung wurden Spritzbetonstärken von 5 bis 10 cm für leichten Ausbau, von 15 bis 25 cm für mittelschweren Ausbau, und von 25 bis 40 cm für schweren Ausbau verwendet.

Eine der wesentlichsten geologischen Fragen war neben der Festlegung der Auskleidungsstärken auch die Bestimmung des geeignetsten Zeitpunktes für die Aufbringung der Spritzbetonauskleidung.

Je nach der Reaktion des Gebirges auf das Aufmachen des Hohlraumes war es entweder erforderlich, unmittelbar nach dem Ausbruch mit Spritzbeton zu sichern, oder aber es war eine entsprechende Entspannungszeit abzuwarten, bevor die Sicherung aufgebracht wurde, um den Vorgängen der Kräfteumlagerung rund um den Hohlraum Gelegenheit zur Auswirkung zu geben. Dadurch konnte vermieden werden, daß die frischen Spritzbetonauskleidungen die Anfangsdrücke aufnehmen mußten, die zwar meist mit nur geringen Dislokationen an der Leibung einhergehen, dabei aber große Kräfte umsetzen.

Zu früh aufgebrachte Auskleidungen, auch von mittlerer und großer Stärke, konnten dem Anfangswirkdruck nicht standhalten und zeigten binnen kurzem Scherrisse oder Abschalungen.

Andererseits war es bei mobilen Gebirgsarten notwendig, möglichst rasch nach dem Ausbruch den Vollausbau zustande zu bringen, um plastische Deformationen bereits im Bewegungsansatz aufzufangen, da solche Bewegungen, wenn sie erst einmal in Gang gekommen sind, nur mit einem unverhältnismäßig größeren Einsatz von Mitteln und Maßnahmen unter Kontrolle zu bringen und anzuhalten sind.

In Strecken mit schwefelhältigen Gesteinen war auf die Betonaggresivität der zirkulierenden Wässer Bedacht zu nehmen. Es waren dies die Strecken in den Werfener Schichten mit Einlagerungen von Gips und Haselgebirge. Um Zersetzungserscheinungen des Betons vorzubeugen, wurde zur Spritzbetonbereitung sulfatbeständiger Zement verwendet, wo sich bei den laufend durchgeführten Analysen der in den Stollen einziehenden Wässer erhöhte Sulfatgehalte zeigten.

c) Armierungen

Zur Bewehrung der Betonauskleidungen wurden je nach Art und Stärke der zu erwartenden Beanspruchung durch das Gebirge verschiedene Armierungen gewählt.

Baustahlgittermatten dienten zur möglichst gleichmäßigen Verteilung des Gebirgsdruckes geringerer Intensität. Sie wurden häufig bereits nach dem Ausbruch an der Friste angebracht und dienten so als Kopfschutz vor Nachfall aus der Auflockerungszone, auch wenn der Spritzbeton erst wesentlich später aufgebracht wurde.

Abb. 44. Armierung mit Baustahlgitter.

Abb. 45. Thorstahlbögen und -stangen zur Verstärkung der Baustahlgitterarmierung.

In Zonen größeren Gebirgsdruckes wurden außer der Firste auch die Ulme mit Baustahlgittermatten armiert und nötigenfalls zusätzlich Bögen aus Rundstahl (Thorstahl), je nach Bedarf in Abständen von 0,5 bis 2 m versetzt. Außerdem konnten die Thorstahlbögen noch durch Längsverteilereisen, ebenfalls aus Rundstahl, verbunden oder zu Gitterbögen verschweißt werden.

Für den Geologen hatte das möglichst frühzeitige Anbringen der Baustahlgittermatten den Vorteil, daß sich jede Veränderung des Gebirges deutlich sichtbar abzeichnete, bevor es durch die Spritzbetonauskleidung der unmittelbaren Beobachtung entzogen wurde. In Strecken, in welchen stärkerer Druck oder verstärkter Nachfall hinter der leichten Armierung bemerkbar wurde, konnte die Auskleidung entsprechend stark dimensioniert und die Armierung verstärkt werden.

In Druck- und Trümmerzonen reichten die bisher genannten Bewehrungen nicht aus und es mußten Armierungen verwendet werden, die den hohen statischen Anforderungen genügten. In solchen Fällen wurden Profilstahlbögen (Alpinebögen) verwendet, die, den jeweiligen Gebirgsverhältnissen entsprechend, meist in Abständen von 0,5 bis 2 m gestellt wurden. In einigen besonders kritischen Zonen mußten die Profilstahlbögen „Mann an Mann", das heißt ohne Zwischenraum nacheinander gestellt werden, so daß zwischen Spritzbetonauskleidung und Gebirge eine geschlossene Stahlröhre für einen wesentlichen Teil der Druckaufnahme sorgte.

In druckhaftem und zertrümmertem Gebirge war es ferner notwendig, die Stollensohle durch Betonauskleidung zu sichern. Die Sohlauskleidungen erhielten Bewehrungen, die je nach Bedarf von Baustahlgittereinlagen, verstärkt durch Thorstahlstangen, bis zum Einbau von Profilstahlschienen und -bögen reichten. Wesentlich war beim Sohleinbau der Kraftschluß zwischen Sohlenflanken und Ulmen, der durch hohlkehlenartiges Hochziehen der Sohlenflanken in die Ulme und durch das Versetzen von Steckeisen erreicht wurde.

Auf besondere Armierungen in Spezialfällen wird später noch hinzuweisen sein.

Abb. 46. Armierung mit Profilstahlbögen (Alpinebögen). Links: Baustahlgitter im teilweise fertiggestellten Sicherungsspritzbeton. Trümmerzone im Südtrum.

2.4. Kluft- und Hohlraumbereiche, basale Zertrümmerungszonen

Besondere Maßnahmen mußten beim Durchörtern und bei der Sicherung von Kluft- und Hohlraumbereichen und in basalen Zertrümmerungszonen ergriffen werden.

Als Beispiel für Kluft- und Hohlraumbereiche ist hier vor allem der große Hohlraumbereich im Nordtrum bei Station 4500 zu erwähnen, nach dessen Öffnung der in Abschnitt 1 geschilderte Materialeinbruch erfolgte.

Nachdem der Stollen von den eingedrungenen Schlamm-, Lehm- und Geröllmassen wieder freigemacht war, wurde, bei Station 4483 beginnend, zunächst Sicherungsspritzbeton aufgebracht. Bei Station 4496 beginnend, wurde der Spritzbeton zunächst bis Station 4499 mit Profilstahlbögen armiert. Von dem so gesicherten Platz wurden sodann in der Firste 8 m lange I-Träger liegend über den Hohlraum bis zum gegenüberliegenden Anstehenden vorgeschoben. Über den I-Trägern mußten Bleche befestigt werden, um das herabstürzende Wasser abzuleiten, ein sehr gefährliches Unternehmen, da mit dem Wasser immer wieder Gesteinstrümmer aus der domartigen Höhe der Kluft herabgeschleudert wurden. Die eingebrachten Träger wurden mit Profilstahlbögen in engen Abständen, teilweise sogar „Mann an Mann", unterstellt.

In dieser Phase erfolgte ein weiterer schwerer Verbruch, der die Sanierungsmaßnahmen in Frage zu stellen drohte. Die Gesteinsmassen gingen mit solcher Wucht auf die künstlich geschaffene Firste nieder, daß es zum Durchbiegen der I-Träger um mehrere Dezimeter kam. Nur durch rasches Einbringen weiterer I-Träger, Baustahlgitterrollen und Baustahlarmierung sowie Spritzbeton konnte die Situation gerettet werden. Nach Abschluß der Sanierungsarbeiten führte das Nordtrum durch die Hohlraum- und Verbruchstrecke von Station 4483 bis Station 4510 als schwer armierte Spritzbetonröhre aus 143 m³ Spritzbeton, gesichert mit I-Trägern, 30 Profilstahlbögen, 22 Baustahlgittermatten, Thorstahlarmierungen und 40 Bergankern.

Kleinere Hohlräume wurden im Nordtrum wiederholt gegen nachdrängende Sand- und Geröllmassen so gesichert, daß gerollte Baustahlgittermatten nacheinander hineingestopft und zwischendurch mit Spritzbeton zu Stahlbetonmassen kompaktiert wurden, die sich im Kluftbereich verkeilten und so zu deren zuverlässiger Plombierung führten. Erst vor der so verschlossenen Kluft wurde die ebenfalls armierte Spritzbetonauskleidung aufgebaut.

Im Südtrum verlangten die basalen Zertrümmerungs- und Hohlraumzonen sowohl im Vortrieb als auch bei der Sicherung besondere Maßnahmen. Es mußte unter sparsamsten Einsatz von Sprengmitteln, die im wesentlichen nur zum vorsichtigen Lösen des Trümmergesteins und zum Zerteilen großer Blöcke verwendet wurden, händisch vorgetrieben werden. Nach je 0,4 bis 0,5 m Vortrieb mußte ein Profilstahlbogen gestellt und Stahlverzugsbleche in der Firste und in den Ulmen gegen die in den Lichtraum eindrängenden, oftmals erweichten Gesteinsmassen vorgeschlagen und die Brust jeweils mit Spritzbeton vor dem nächsten Öffnen abgesichert werden. Außerdem mußte die Sohle mitlaufend geschlossen werden. Dies erfolgte durch Ausräumen des lockeren und erweichten Gesteinsmaterials und Vergütung des Sohlenuntergrundes durch Einbringen von Sand und Steinen bis 30 cm ∅ zur Verfestigung der Auflage des Sohlbetons. Durch Profilstahlelemente wurde der Sohlschluß der Armierungsbögen hergestellt und sodann der Sohlbeton, armiert mit Baustahlgitter und Thorstahlstangen, eingebracht. Sowohl in Ulmen und Firste als auch in der Sohle wurden Markierungsdübel versetzt, die nach erfolgter Betonerhärtung gezogen wurden, so daß die Löcher für nachträgliche Injizierungen hinter die Auskleidung frei wurden. Das Injizieren war vor allem in jenen Zonen notwendig, in denen loses Blockwerk durchörtert worden war oder wo Hohlräume, die sowohl im First als auch im Ulm- und Sohlbereich oft über mehrere Meter begehbar oder schliefbar waren, mit Blockwerk hatten ausgeschlichtet werden müssen, um der Stollenröhre im Berg mehr Halt zu geben. Überdies wurden die Injektionen durchgeführt, um das in dieser Zone stark strömende Wasser von der Stollenröhre abzudrängen und das Ausschwemmen von Material und damit weitere Hohlraumbildungen zu verhindern.

Die Maßnahmen zur Behandlung der Kluft-, Hohlraum- und Zertrümmerungszonen erfolgten jeweils nach eingehender Untersuchung und Beurteilung der geologischen Situation, so daß durchwegs mit gutem Erfolg die für jeden Einzelfall adäquaten, das heißt gebirgsgerechten Maßnahmen zur Anwendung gebracht werden konnten.

2.5. Wassereinbrüche. Ableitungs- und Dichtungsmaßnahmen

Der größte Wassereinbruch während des gesamten Baugeschehens erfolgte im Südtrum bei Station 637, als ein Teil des Zuflußsystems der Sieben Quellen angefahren wurde.

Die Schüttung von anfangs 80 l/sec. stieg binnen zehn Tagen durch das Ausschwemmen von Feinmaterial aus den wasserführenden Kluft- und Karsthohlräumen auf knapp 500 l/sec. und erreichte nach Starkregen im Juli 1966 1300 l/sec.!

Da ein weiterer Vortrieb durch die Störungszone, die aus Sand, Lehm und Gesteinstrümmern bestand, beim Eindringen der Wassermassen in den Stollen kaum möglich erschien, wurde die Frage der Umfahrung der Störungszone durch einen Ausweichstollen aktuell. Von geologischer Seite war dazu zu sagen, daß die Störungszone auch im Ausweichstollen angetroffen werden würde, da sie quer zur Stollenrichtung verlief und ihr Ausmaß keine Besserung in streichender Richtung erwarten ließ. Das entscheidende Argument für ein Ausweichen war aber die Möglichkeit, den aufgegebenen Stollenteil im weiteren zumindest begrenzt als Wasserhaltungsstollen zu verwenden und damit die vom Wasserzutritt her kommenden Schwierigkeiten im Ausweichstollen beherrschen zu können.

Zunächst wurde die Stollenbrust bei Station 637 mit Pfosten und Rundholz gestützt, um ihr Hereinbrechen zu verhindern.

Zur geregelten Wasserabfuhr wurden zwei Pumpensümpfe, bei Station 487 und Station 522, mit Pumpleitungen und Heberleitung errichtet. Sodann wurde der Stollen mit einer Betonwand von 1 m Stärke (Station 542,5 bis 543,5) abgeschlossen. Da in der Sohle das aufgelockerte Gesteinsmaterial sowie das Gleis nicht entfernt worden waren, erwies sich dieser Verschluß als undicht, so daß eine zweite Abmauerung, diesmal im engsten Einvernehmen mit dem geologischen Sachverständigen und nach geologischer Abnahme der Einbindungsstelle, bei Station 532 bis 533 hergestellt wurde, die zur vollständigen Abdichtung des Blindstollens bei geschlossenen Schiebern der beiden eingebauten Rohrdurchleitungen (300 und 500 mm ∅, mit Druckmeßvorrichtungen versehen) führte. Die Abmauerung war in der Firste und in den Ulmen 0,5 m, in der Sohle 1 m tief in gesundem Fels eingebunden, der Umfang und besonders eine kleine Kluft im linken Kämpferbereich wurden abschließend sicherheitshalber durch Zementinjektionen gedichtet. Der Pumpensumpf bei Station 487 wurde zu einem Pumpen- und Hebersumpf mit einem Fassungsvermögen von 12 m³ (Station 481 bis 488) ausgebaut.

Bei den Erörterungen zwischen Bauherrn, Bauleitung und geologischem Sachverständigen, dem Wassereinbruch und der Störungszone mit einem Umfahrungsstollen auszuweichen, wurde seitens des Bauherrn zunächst ein Achsabstand zwischen altem und neuen Stollen von 10 m in Erwägung gezogen.

Nach geologischer Prüfung der Situation erwies sich aber das Gebirge im fraglichen Bereich als derart gestört, daß mit einer Minderung von 25 bis 30% der Gebirgsfestigkeit zu rechnen war und daher der Achsabstand aus Sicherheitsgründen auf mindestens 15 m erhöht werden mußte. Dieser Abstand entsprach dem sechs- bis siebeneinhalbfachen der Stollenlichtweite und konnte auch bei den zwischen Station 495 und 525 gegebenen ungünstigen Gebirgsverhältnissen als sicher angesehen werden.

Eine weitere über 15 m hinausgehende Vergrößerung der Fleischstärke zwischen bestehendem Stollen und Umfahrungsstollen erschien vom geologischen Standpunkt nicht erforderlich.

Abb. 47. Fassung von Wasserzutritten in der Firste nach dem Verfahren Oberhasli.

Aus technischen Gründen (Herstellung des Abzweigungsbogens vom bestehenden Stollen, beginnend bei Station 464) wurde jedoch schließlich ein Achsabstand von 25 m gewählt.

Die Hoffnungen, mit einer Distanz von 25 m dem angetroffenen Störungssystem ausweichen zu können, mußte vom Geologen von vornherein zerstört werden, da es sich bei diesen Störungen nicht um lokale Erscheinungen, sondern um eine Störungszone handelte, die über Kilometerdistanzen reichte und deren Durchstreichen somit auch im Ausweichstollen zu erwarten war. Dies wurde im weiteren Vortrieb auch voll bestätigt. Der wesentliche Wert des Ausweichens war aber, daß der aufgegebene Stollenteil mit gutem Erfolg der Wasserhaltung dienen konnte.

Da die Abzweigungsstelle des neuen vom alten Stollen in klüftigem Gebirge lag (Station 488), mußte der dazwischen stehenbleibende, im vordersten Teil nur 1,5 m breite Pfeiler mit doppelt armiertem Spritzbeton von 30 bis 40 cm Stärke gesichert werden.

Der erste große Wassereinbruch im Nordtrum, der bei Station 182 erfolgte (siehe Abschnitt 1.6.1.) und dessen Anfangsschüttung 200 bis 250 l/sec. betrug und später auf 80 l/sec. zurückging, wurde auf andere Art bewältigt. Es wurde eine druckfeste Ringbetonauskleidung von Station 170 bis 200 hergestellt und in diese am Wassereintritt eine 250 mm ∅ Stahlrohrleitung mit Absperrschieber und Anschluß an den Wassergraben zur gesicherten und regelbaren Wasserableitung eingebaut.

Im übrigen wurden die oft flächenhaft sehr ausgedehnten oder aus einer großen Anzahl von Einzelaustritten bestehenden Wasserzutritte nach dem Oberhasli-Verfahren gefaßt und so in den Stollen eingeleitet. Dabei werden die zutretenden Wässer in Schläuchen gefangen, diese mit dichtem Mörtel umgeben und vor dem Erhärten desselben ganz oder teilweise gezogen, so daß die Wässer in der verbleibenden Mörtelröhre in der gewünschten Richtung abfließen. Auf diese Weise können speziell kleinere, benachbarte Wasseraustritte zusammengezogen und abgeleitet werden.

Besondere Maßnahmen waren erforderlich, um ein Übertreten von Wässern aus dem Bereich der Karbonatgesteine in die Zone der erweichbaren Werfener Schichten und ins gipsführende Haselgebirge entlang der von aufgelockertem Gebirge umgebenen Stollenröhre zu verhindern.

Zu diesem Zweck wurden bei Station 888 im Südtrum und bei Station 7838 im Nordtrum Dichtscheiben aus Stahlbeton rund um die Auskleidung angebracht. Diese Dichtscheiben von 1 m Stärke wurden 1,5 m tief ins feste Gebirge eingebunden.

2.6. Gaseinbruch. Vorgangsweise und Behandlung

Als am 22. März 1968 im Südtrum bei Station 1383 nach einem Abschlag plötzlich Flammen aus dem Haufwerk am linken Ulm schlugen, waren die Mannschaften zunächst der Meinung, es hätten Karbidreste aus einer Grubenlampe Feuer gefangen. Die Flammen wurden mit Preßluft ausgeblasen. Nachdem aber kurz darauf am linken Ulm, entfacht durch eine dort aufgehängte Grubenlampe, ein Brand von 10 m² Flächenausdehnung loderte und die Mineure erkannten, daß es sich um einen Erdgaseinbruch handeln mußte, wurde der Stollen fluchtartig geräumt.

Wäre nach dem Abschlag eine längere Arbeitspause eingetreten, in der sich ein explosives Gas-Luft-Gemisch hätte bilden können, so wäre eine Katastrophe sicherlich unvermeidlich gewesen. Durch die glücklicherweise rechtzeitige Entdeckung des Gaseinbruches konnten jedoch sofort Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

So wurden unmittelbar nach Ausbruch des Brandes die freiwillige Feuerwehr von Neuberg an der Mürz und der Gasspürtrupp der Feuerwehr Graz alarmiert.

Um Mitternacht hatte der geologische Sachverständige, telephonisch aus Wien herbeigerufen, Gelegenheit, die Situation vor Ort zu prüfen und die im Abschnitt 1.6.2. genannten Beobachtungen zu machen.

Gemeinsam mit Bauherrschaft und Bauleitung wurden noch in der gleichen Nacht folgende Sofortmaßnahmen beschlossen:

1. Keine Verwendung von offenem Licht und Feuer.

2. Einsatz eines Gasspürgerätes vor allen weiteren Arbeiten und laufende Kontrolle der Folgestrecke.

3. Entnahme und Analyse des Gases.

4. Spitzwinkeliges, schräg nach unten geführtes, mehrfaches Anbohren der gasführenden Klüfte zur Konzentration der Austritte als Abfackelungsstellen.

Nach Fertigstellung dieser Bohrungen wäre der Gasabbrand am Ulm zu löschen, die Austritte aus den Bohrlöchern zu entzünden und der Ulmbereich abzudichten (Ankerung + Baustahlgitter + mindestens 10 cm Dichtungsspritzbeton).

5. Weiterer Vortrieb unter voller Berücksichtigung der Gefährlichkeit der gegebenen Situation und Beachtung aller noch zu treffender Sicherheitsvorkehrungen, insbesondere unter ständiger Kontrolle mittels Gasspürgerät.

Weiters war darauf zu achten, daß der Gasabbrand ununterbrochen erhalten blieb.

In der Folge wurde die Hauptstelle für Grubenrettung der Österreichischen Alpine Montangesellschaft Fohnsdorf zur Beratung in Fragen der Umstellung der Baustelleneinrichtung und des Betriebes auf die gegebene Situation beigezogen. Durch den geologischen Sachverständigen wurden auf dem Wege über die Geologische Bundesanstalt Untersuchungen der Gaszusammensetzung von der Österreichischen Mineralölverwaltung AG, Labor für Aufschluß und Produktion, und vom Institut für anorganisch-chemische Technologie und analytische Chemie der Technischen Hochschule Graz durchgeführt. Dabei gestaltete sich die Probennahme besonders wegen der enormen Hitze vor Ort recht schwierig: Zunächst wurde ein Teil der Flammen über den Austrittsstellen des Gases (Schichtfugen) gelöscht, sodann ein Röhrchen zur Probennahme in die betreffende Felsspalte eingebracht und danach diese um das Entnahmerohr und beiderseits desselben möglichst weitgehend mit Kitt abgedichtet. Auf diese Art und Weise wurden von den Experten der beiden genannten Institutionen neun Gasproben gezogen.

Die Analysenergebnisse sind im Abschnitt 1.6.2. wiedergegeben.

Bei Wiederaufnahme der Vortriebsarbeiten, die wegen starken Wasserandranges infolge der Schneeschmelze erst am 22. Mai 1968 erfolgte, war die Stollenbelüftung auf drückende Bewetterung umgestellt. Die Gaskonzentration im Stollen wurde ständig mit Spürgeräten kontrolliert und die Mannschaft bei Ansteigen des Gasgehaltes in der Stollenluft über 2% sofort aus dem Stollen abgezogen, bis eine Verdünnung des Gases durch verstärkte Bewetterung erreicht war. Es wurden schlagwettersichere Dominit-Lampen zur Beleuchtung verwendet. Weiters kamen Sicherheitssprengstoff in einer Höchstlademenge von 1200 g je Bohrloch und Sicherheitszünder zur Verwendung, das Arbeiten mit Stufenzündern wurde untersagt. Im Vortrieb wurden weitere Gaszutritte mittels Spürgerät bei folgenden Stationen festgestellt: Station 1403—1405: 34%; Station 1411: 35%; Station 1424—1426: 30%; Station 1430—1431: 70%; Station 1474—1475: 20%. An diesen Stellen wurden preß-

luftbetriebene Lüfter mit Diffuser eingesetzt, um das austretende Gas sofort auf unter 2% Anteil der Luft zu verdünnen.

Vor jedem Befahren des Stollens mit den nicht schlagwettergesicherten E-Loks wurde die Gefahrlosigkeit der Einfahrt mit dem Gasspürgerät überprüft. Außerdem wurden vor jedem Abschlag an beiden Ulmen Tastbohrungen, 32 mm ∅ um 2 m über die normale Anbohrtiefe vorausgebohrt, um die Gassituation über die jeweilige Abschlaglänge hinaus zu sondieren.

Die Summe der getroffenen Maßnahmen gewährleistete in der gasführenden Zone, die auf insgesamt eine Länge von 92 m zu durchörtern war, gefahrlosen Vortrieb und Ausbau.

Der Ausbau erfolgte in der üblichen, den jeweiligen Gebirgsverhältnissen entsprechenden Art, jedoch mit Dichtungsspritzbeton im ganzen Umfang. Nach erfolgtem Ausbau zeigte sich die Stollenauskleidung völlig gasdicht, wie durch wiederholte Messungen nachgewiesen werden konnte.

2.7. Deponieflächen und Deponiekörper

Bereits im Stadium der Projektierung wurden die Geländeflächen, welche zur Deponierung des Ausbruchsmaterials genützt werden sollten, einer genauen geologischen Prüfung unterzogen. Dabei ergab sich sowohl beim Nord- als auch beim Südtrum die Notwendigkeit, von den steileren Hangteilen gegen die flachen Geländeteile abzurücken. Im Falle der Deponie Süd bestanden die höheren Teile des Hanges aus Werfener Schichten, bei der Deponiefläche Nord handelte es sich um teilweise steile Hangschuttflächen. In beiden Fällen war zu berücksichtigen, daß größere Deponie-Auflasten zum Gleiten bzw. Kriechen der Unterlage führen würden.

Die Deponien wurden daher vom jeweils flacheren Geländeteil her gegen den Hang aufgebaut, wodurch eine Wiederlager-Wirkung gegen die mobileren Hangbereiche geschaffen wurde. Außerdem waren Vordrainagierungen der Deponieflächen erforderlich.

Beim Aufbau der Deponiekörper mußte ferner darauf geachtet werden, daß bindiges oder breiiges Material, wie es bei den Lehmeinbrüchen und -einschwemmungen und beim Durchörtern von Werfener Schichten mit Haselgebirgstonen und Gips gefördert wurde, nicht über den gesamten Deponiekörper verteilt wurde, um die Bildung von durchgehenden Gleitflächen zu verhindern. So wurde das breiige Lehm-Sand-Gemisch des Einbruches zunächst nur zum Trocknen auf die Deponie ausgebracht. Nach entsprechendem Durchtrocknen wurde das Material verfrachtet und an einer Stelle endgültig gelagert, an der keine weitere Deponierung mehr erfolgte.

Durch diese Maßnahmen — Vordrainagierung, Aufbau der Deponien ausgehend von flacheren Geländeteilen und selektives Deponieren — konnten alle ungünstigen Folgeerscheinungen, wie sie bei der Lagerung großer Massen sehr unterschiedlichen Gesteinsmaterials auftreten können, von vornherein ausgeschaltet und inzwischen festgestellt werden, daß sich die aufgewendete Sorgfalt gelohnt hat. Die Deponien Nord und Süd, die heute Gebäude der Betriebseinrichtung tragen, haben sich in allen Teilen als völlig stabil erwiesen.

Da der Stollenvortrieb im Nordtrum von ursprünglich 6300 m infolge der im Südtrum aufgetretenen Verzögerungen auf 8100 m verlängert werden mußte, wurde die Deponierung von zusätzlichen 10.000 m³ im Norden erforderlich. Diese erfolgte, von der bereits bestehenden Deponie weiter hangabwärts, was zusätzlich eine Umlegung des Reistalbaches und den Bau einer Brücke für die Auffahrt zum Wasserschloß notwendig machte.

Insgesamt wurden vom Nordtrum 62.855 m³, vom Südtrum 15.405 m³ Ausbruchsmaterial deponiert.

Abb. 48. Stollendeponie Nord. Die Helligkeitsunterschiede lassen die selektive Deponierung des Ausbruchsmaterials zur Vermeidung von Gleitungen im Deponiekörper erkennen.

2.8. Betonzersetzungserscheinungen durch aggressive Wässer. Untersuchungen und Feststellungen

Bei einer Stollenbesichtigung am 10. September 1969 wurde etwa im Bereich der Baulosgrenze zwischen Nord- und Südtrum festgestellt, daß die bereits wiederholt sanierte Oberfläche des Sohlbetons durch den zirka bei Station Nord 8090 gelegenen Austritt von stark sulfathaltigem Wasser beschädigt war, indem der Sohlbeton breiig erweicht, an den Gleisschwellen abgerissen und z. T. stückig zerbrochen war. Dazu zeigten die Gleise intensive Rotfärbung durch Oxydation, und ebensolche Färbung war an der Aufprallstelle des Wasseraustrittes zu vermerken. Diese Rotfärbung rührte von der Oxydation von Armierungseisen beim Durchtritt des aggressiven Wassers durch die Spritzbetonauskleidung her. Ferner wurde am Gleisstoß bei der Losgrenze eine Höhendifferenz (rechtes Gleis von Süd) von ca. 3 cm gemessen (N 3 cm höher als Süd), von der sich allerdings nachträglich herausstellte, daß sie ihre Ursache nicht in Treiberscheinungen, sondern in der unterschiedlichen Höhenlage des Sohlbetonkörpers zwischen Nord und Süd hatte, auf dem die Gleisanlage aufgelagert ist.

Weiters wurde im First- und rechtem Ulmbereich (gesehen von Nord) nahe dem Wasseraustritt 8090, und zwar bei Station 8086,75, ein Haarriß beobachtet, dessen Entstehung fraglich war.

Auf Grund der Erweichung des Betons, der Höhendifferenz der Gleisanlage bei der Losgrenze, den starken Oxydationserscheinungen durch das austretende Wasser und der Rißbildung in der Auskleidung war eine Situation gegeben, die eine Klärung des Ausmaßes des durch das aggressive Wasser hervorgerufenen Schadens dringend erforderlich machte. Insbesondere war zu untersuchen, ob die Auswirkungen bereits zu einer weitergehenden Zerstörung von Auskleidungs- und Sohlbeton geführt hatten oder, wenn dies nicht der Fall war, ob eine solche für die Zukunft zu erwarten war.

Ergänzend zum Verständnis der Behandlung dieser Fragen waren folgende Gegebenheiten von Bedeutung:

Die Auskleidung (Ulme, Firste) besteht aus armiertem Spritzbeton: ca. 450 kg Zement, Zuschlagstoffe Korngröße 01 bis 16 mm, 4 bis 7% Sigunit-Abbindebeschleuniger und Dichtungsmittel. Als Zement war sulfatbeständiger Zement vorgeschrieben.

Die Sohle besteht aus Ortbeton: mindestens 300 kg Zement, ebenfalls sulfatbeständig vorgeschrieben, Zuschlagstoff Korngröße 01 bis 30 mm, kein Zusatz von Sigunit und dergleichen.

Die oberste, ca. 10 cm hohe Auflageschicht des Sohlbetons, in welcher auch die Gleisbettung erfolgte, wurde aus dem Rückprall des Auskleidungsspritzbetons hergestellt, und zwar an dieser Stelle ohne während der Aufbringung dieser Packschichte das aggresive Wasser abzuleiten. Ohne Ableitung dieses Wassers erfolgten auch mehrere — wie sich gezeigt hat, erfolglose — Sanierungsversuche der Packschichte, nachdem sich diese wiederholt aufgeweicht und zersetzt hatte.

Als Vorarbeiten für die Untersuchungen waren Bohrungen zur Gewinnung von Betonproben und Gesteinsproben notwendig, die Betonproben für die vorzunehmenden Labortests, die Gesteinsproben, um den Zustand des Gebirges hinter der Auskleidung und unterhalb der Sohle sowie den Anschluß vom Beton ans Gebirge zu überprüfen und weitere Aufschlüsse über die Wasserführung des Gebirges zu erhalten.

Außerdem wurden für Kontrollanalysen Proben vom aggressiven Wasser und von jenem Wasser gezogen, das beim Aufbohren im Sohlbereich aus Bohrloch 5 austrat.

Ferner wurden Proben von den Ausfällungen und Ausblühungen im Bereich der sulfathältigen Wasserzutritte bei Station Süd 980 und 1040 genommen, um die chemische Zusammensetzung dieser Bildungen zu prüfen.

In den Bohrlöchern, die mit 10 cm Durchmesser durch den Beton und bis zu 30 cm ins dahinter bzw. darunter anstehende Gebirge geführt wurden, war festzustellen, daß die in mittlerer Ulmhöhe angesetzten Bohrlöcher in Anhydrit und Gips mit wenig Haselgebirgston eintraten. Das Gebirge zeigte in diesen Aufschlüssen auch nach 14 Tagen keinerlei Quellenerscheinungen und nur geringe Feuchtigkeit. Im sohlnahen Bereich der Ulme und im Sohlbereich selbst waren ebenfalls keine Quellungen zu beobachten, das Gebirge zeigte jedoch starke Durchfeuchtung bis zur Wasserführung, so daß Wasser zum Austritt aus den Sohlbohrlöchern gelangte. Das Wasser aus dem Stohlbohrloch 5 wurde bemustert und analysiert.

Nachfolgend werden die von Dr. SUSANNE SCHARBERT, Chem. Labor der Geologischen Bundesanstalt, und vom Berichterstatter durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse aufgeführt.

Chemische Wasseranalysen:

1. Chem. Vollanalyse des aggressiven Wassers vom Wasseraustritt Station 8090.

Dieses Wasser zeigte folgende Werte: pH 7,4, dGH 91,2°, dKH 1,0°, dNKH 90,2°, CaO 829 mg/l, MgO 60 mg/l, Cl 11 mg/l, SO_3 1222. Der Gehalt an SO_3 entspricht jenem, der beim Anfahren des Wasseraustrittes zur Zeit des Vortriebes festgestellt wurde.

2. Chem. Vollanalyse des aggressiven Wassers vom Austritt Bohrloch 5, Station 8098, Sohle.

Das Wasser vom Austritt Bohrloch 5 brachte folgende Werte: pH 10,2, dGH 82,2°, dKH 0,3°, dNKH 81,9°, CaO 743 mg/l, MgO 57 mg/l, Cl 9 mg/l, SO_3 1235 mg/l. Gegenüber Analyse 1. zeigt 2. etwas höheren SO_3-Gehalt, bedeutend höheren pH-Wert und geringeren CaO-Gehalt. Im Gesamtcharakter sind sich die beiden Wässer jedoch sehr ähnlich.

3. Chem. Kontrollanalyse des aggressiven Wassers vom Wasseraustritt 8090 nach dreitägiger Stehzeit.

Nach dreitägiger Stehzeit war praktisch keine Veränderung in der chemischen Zusammensetzung des aggressiven Wassers vom Austritt Station 8090 zu verzeichnen.

4. Chem. Kontrollanalyse des aggressiven Wassers nach fünftägiger Einwirkungszeit auf pulverisierte Sohlbetonprobe von Bohrkern 1.

Diese Kontrollanalyse zeigte: sehr starkes Ansteigen des pH-Wertes von 7,4 auf 12,3 bei gleichzeitiger Abnahme von SO_3 von 1222 mg/l auf 709 mg/l. Dieses Ergebnis beruht auf einer Wechselwirkung zwischen Sulfat-Ausfällung und „Auflaugung" des Wassers.

5. Chem. Kontrollanalyse des aggressiven Wassers nach elftägiger Einwirkungszeit auf pulverisierte Sohlbetonprobe von Bohrkern 1.

Die Kontrollanalyse zeigte: kein weiteres Ansteigen von pH, sondern Verharren auf 12,2 bei weiterer Abnahme von SO_3 auf 518 mg/l. Der CaO-Gehalt war gegenüber dem Ausgangswert (829) auf 546 mg/l abgesunken. Ursache: $CaSO_4$-Bildung unter Heranziehung von CaO sowohl aus dem Wasser als auch von freiem Ca aus dem Beton.

6. Chem. Kontrollanalyse des aggressiven Wassers nach elftägigem Einwirken auf polierte Betonprismen des Auskleidungsbetons (Bohrkern 1, Spritzbeton rechter Ulm) und des Sohlbetons (Bohrkern 5).

Nach elftägiger Einwirkungszeit auf den Auskleidungsbeton (Probe 1) stieg im Wasser der pH-Wert auf 9,2 der SO_3-Gehalt sank auf 1005 mg/l und der CaO-Gehalt auf 318 mg/l. Es erfolgte demgemäß geringe Sulfatneubildung, jedoch kräftige Karbonat-Fällung mit CO_2 der Luft.

Bei Probe 5 (Sohlbeton) blieb der pH-Wert unverändert, SO_3 nahm auf 1196 mg/l geringfügig ab (Sulfatbildung nur Spuren), CaO sank auf 698 mgl/ (Karbonatbildung wesentlich geringer als bei Probe 5).

7. Chem. Kontrollanalyse des aggressiven Wassers vom Wasseraustritt Station 8090 nach 15tägiger Stehzeit.

Nach 15tägiger Stehzeit zeigte das aggressive Wasser vom Austritt Station 8090 keine nennenswerten Veränderungen der chemischen Zusammensetzung.

Gesteinsanalysen

8. Chem. Analyse von natürlichen Ausfällungen und Ausblühungen beim aggressiven Wasserzutritt Station 1040 zu Vergleichszwecken und der Ausblühungen bei Station 980.

Ausfällungen Station 1040: Die auf dem Wasser schwimmende weißliche Haut bestand aus 52,45% CaO, 2,82% Oxyden (Al_2O_3, Fe_2O_3) 2,89% SO_3 und 41,97% Glühverlust (CO_2, H_2O).

Die stalagtitischen Ausblühungen bei Station 980 zeigten ähnliche Zusammensetzung.

Röntgenuntersuchungen

9. Diffraktometrische Untersuchung von Beton der Bohrkerne 1 und 5 im Einwirkungsbereich des aggressiven Wassers.

Die diffraktometrische Untersuchung der Betonproben 1 und 5 zeigte keine nachweisbaren Bildungen von Sulfaten.

10. Debye-Scherrer-Untersuchung von Beton der Bohrkerne 1 und 5 im Einwirkungsbereich des aggressiven Wassers sowie von angegriffenem Beton der Sohle bei Station 8090.

Die Röntgenuntersuchungen nach der Debye-Scherrer-Methode ergab, daß außer den in allen drei Betonproben (Bohrkern 1, Bohrkern 5 und angegriffener Beton der Sohle bei Station 8090) vorhandenen Phasen von Quarz, Calcit, Dolomit und wahr-

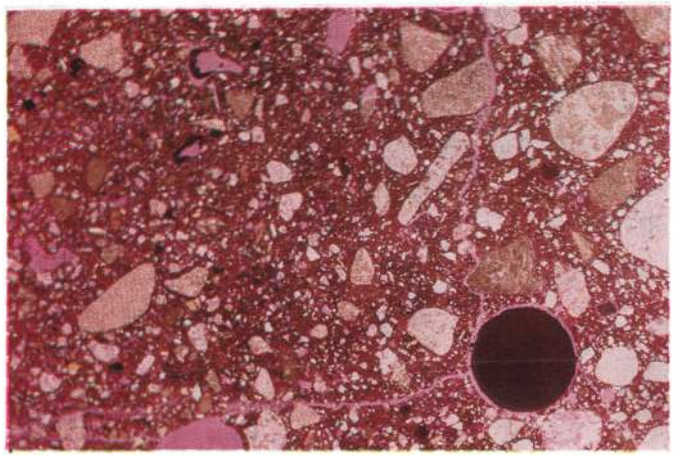


Abb. 49. Betondünnschliff, Bohrkern 10, Nordtrum, Station 8086,5. Die dunkle Kreisfläche zeigt den Querschnitt eines Baustahlgitter-Drahtes, von dem Rißbildungen ausgehen (gezackte violette Linien). Dreieinhalbfache Vergrößerung.

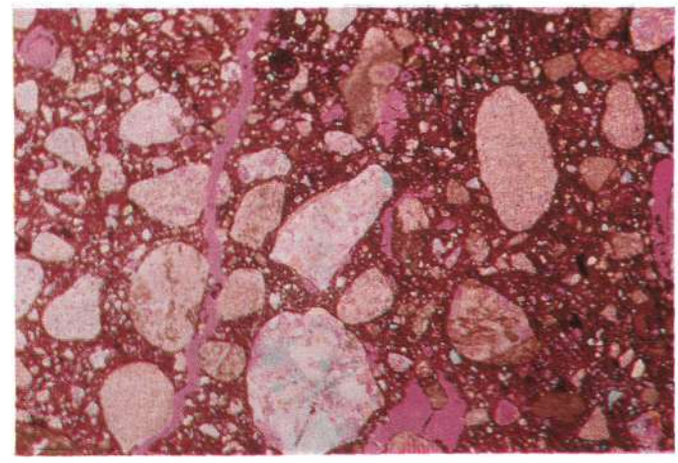


Abb. 50. Betondünnschliff, Bohrkern 10, Nordtrum, Station 8086,5. Detailaufnahme der Rißbildung (gezackte violette Linie). Der Riß umläuft die meisten Komponenten der Zuschlagstoffe, anstatt sie zu durchqueren und ist damit als Schwindriß zu identifizieren. Zehnfache Vergrößerung.

scheinlich Ca-Aluminat-Hydrat in der Probe des angegriffenen Sohlbetons Ca $(OH)_2$ angereichert auftrat. Gips trat, wie mikroskopische Überprüfung zeigte, in Hohlräumen und Rissen der Probe des angegriffenen Sohlbetons in Form von bis zu 0,4 mm großen Kristallen auf. Der Gipsgehalt der Betonmatrix lag aber unter der Nachweisgrenze.

11. Diffraktometrische Untersuchung von Zementstein, hergestellt als Probekörper in der beim Spritzbeton verwendeten Zusammensetzung des Bindemittels vor und nach der Behandlung mit aggressivem Wasser.
Keine Umsetzung der vorhandenen Zementphasen in Gips und Ettringit nach Einwirken des aggressiven Wassers.

Petrographische Untersuchungen

12. Mikroskopische Untersuchung von poliertem Betonprisma des Sohlbetons (Bohrkern 5) nach elftägiger Einwirkungszeit des aggressiven Wassers.
Die mikroskopische Untersuchung ergab nur geringfügige Mattierung der polierten Oberfläche des Betonprismas aus Bohrkern 5 (Sohlbeton) nach elftägigem Einwirken des aggressiven Wassers.

13. Mikroskopische Untersuchung von poliertem Betonprisma des Auskleidungs-Spritzbetons (Bohrkern 1) nach elftägiger Einwirkungszeit des aggressiven Wassers.
Die mikroskopische Untersuchung des Betonprismas von Bohrkern 1 (Auskleidungsspritzbeton) nach elftägigem Einwirken des aggressiven Wassers zeigte: deutliche Mattierung der polierten Oberfläche, geringfügige Erweiterung vorhandener Poren, geringfügige Erniedrigung der bindemittelreichen Partien gegenüber den Zuschlagstoffen, leichte Kantenerosion. Anlagerung von weißem Niederschlag in Porenräumen $(Ca[OH]_2)$ und vereinzeltes Aufwachsen von Gipskriställchen. (Offenbar Reaktion von SO_3 aus dem aggressiven Wasser mit freiem Ca des Betons.)

14. Mikroskopische Untersuchung von je vier orientierten Dünnschliffen des Bohrkerns 1 (Auskleidungsspritzbeton) und des Bohrkerns 5 (Sohlbeton) vom gebirgsnächsten bis zum zentralen Teil des Bohrkerns zur Feststellung von Ettringitbildung.
Die Dünnschliffuntersuchungen haben gezeigt, daß keine Ettringitbildung stattgefunden hat.

15. Mikroskopische Untersuchung von drei orientierten Dünnschliffen zur Feststellung der Ursache der Rißbildung im Auskleidungsspritzbeton bei Station 8086,75, Bohrkern 10.
Nach der mikroskopischen Untersuchung war festzustellen, daß es sich bei der Rißbildung Station 8086,75 um einen Schwindriß handelte.

Zusammenfassend war somit folgender Sachverhalt gegeben:
Die bei den Untersuchungen festgestellten chemischen Umsetzungen durch die Anwesenheit des aggresiven Wassers hatten keinen nennenswerten nachteiligen oder schädigenden Einfluß auf den soliden Auskleidungs-Spritzbeton und auf den soliden Sohlbeton, die sich beide als sulfatbeständig erwiesen haben. Dies galt auch für die übrigen Stollenstrecken, in denen aggressive Wässer auftraten.

Schädigender Einfluß war lediglich dort gegeben, wo zementverarmter Spritzbeton-Rückprall unter Anwesenheit des aggressiven Wassers eingebracht wurde, wie dies bei der Sohl-Oberschicht (Füllschicht im Gleisbereich) der Fall war. Dies hatte dazu geführt, daß der Abbindevorgang in dieser Schicht durch Neubildung von Gips empfindlich gestört wurde. Diese Schädigung hatte jedoch kaum Einfluß auf die statischen Eigenschaften der Stollenröhre, da dieser Füllschicht keine statische Kompetenz zukam.

Die Rißbildung bei Station 8086,75 hatte sich als Schwindriß erwiesen. Es waren daher praktisch keine Beeinträchtigungen der Festigkeit der Auskleidung aus dieser Richtung zu erwarten.

Zur wirkungsvollen Sanierung dieses Stollenabschnittes wurde empfohlen, vor Flutung des Stollens den Austrittsort des aggressiven Wassers bei Station 8090 dicht zu verschließen und die aufgelockerte Füllschicht, soweit erforderlich, durch eine neue zu ersetzen, wobei das aggressive Wasser vom Arbeitsort unbedingt fernzuhalten wäre.

Ebenso wie der Wasserzutritt Station 8090 wären auch alle übrigen Zutritte von sulfathältigem Wasser abzudichten.

2.9. Wiederaufstau der Bergwässer

Während der dreijährigen Bauzeit sind aus dem Bergmassiv der Schneealpe durch das Öffnen von Wasseraustritten im Stollen insgesamt 20,000.000 m³ Wasser abgeflossen.
Es muß nicht besonders betont werden, daß diese Abflußsteigerung einen Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt des Berges darstellte, dessen Einzelheiten in der Studie von F. Bauer, 1969, ausgeführt sind.
Die Wiederherstellung der ursprünglichen karsthydrologischen

Verhältnisse durch abschließende Baumaßnahmen war daher ein wichtiger Teil des Projektes und eine wesentliche Bedingung des wasserrechtlichen Bewilligungsbescheides.

Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, war die dichte Auskleidung der Stollenröhre in Zonen mit Wasserandrang und die regelbare Einleitung der angetroffenen Wasserzutritte. Diese Lösung war ursprünglich im Projekt vorgesehen worden. Bereits beim Wassereinbruch Station 182 im Nordtrum hatte sich jedoch gezeigt, daß einerseits die Abdichtung von Wasserzutritten ein Verdrängen des Wassers stolleneinwärts, gleichsam ein „Mitziehen" der Wasserzutritte, im weiteren Vortrieb zur Folge hatte und daher nur von begrenzter Wirkung war, und daß andererseits die dazu erforderlichen Einbauten, die sowohl dem Gebirgsdruck als auch den Wasserdruck standhalten mußten, einen unverhältnismäßig großen Aufwand an Material und Bauzeit und damit an Kosten erfordern würden.

Die weiteren ebenfalls in diese Richtung weisenden Erfahrungen während der ganzen übrigen Bauzeit gingen dahin, daß bei diesem Vorgehen 80% des gesamten, 9680 m langen Hohlganges mit einer wasserdichten, drucksicheren Vollauskleidung zu versehen wären.

Bereits 1967, während der Vortrieb noch in vollem Gange war, wurden daher Überlegungen angestellt, eine andere, dem Vollausbau in ihrem Effekt bei der Wiederherstellung der ursprünglichen hydrologischen Verhältnisse gleichwertige, aber wirtschaftlichere Möglichkeit zu finden.

Bei den eingehenden Diskussionen, die über dieses Thema zwischen Bauherrn, Bauleitung und den Sachverständigen für Karsthydrologie und für Geologie geführt wurden, kristallisierte sich die Möglichkeit, den Stollen an beiden Enden zu verschließen und zu fluten, so weit als brauchbare Alternative zum Vollausbau heraus, daß an die Prüfung der damit verbundenen Detailprobleme gegangen wurde.

Für die hydrogeologisch-geotechnische Beurteilung einer solchen Lösung war außer der Wiederherstellung der natürlichen Wasserhaushaltsverhältnisse im Gebirge der Gesichtspunkt der Sicherheit des Stollenbauwerkes von entscheidender Bedeutung. Außerdem mußte die Funktion des Stollens als Durchleitung des für die Einspeisung in die I. Wiener Hochquellenleitung vorgesehenen Teiles der Sieben-Quellen-Wässer gewährleistet werden.

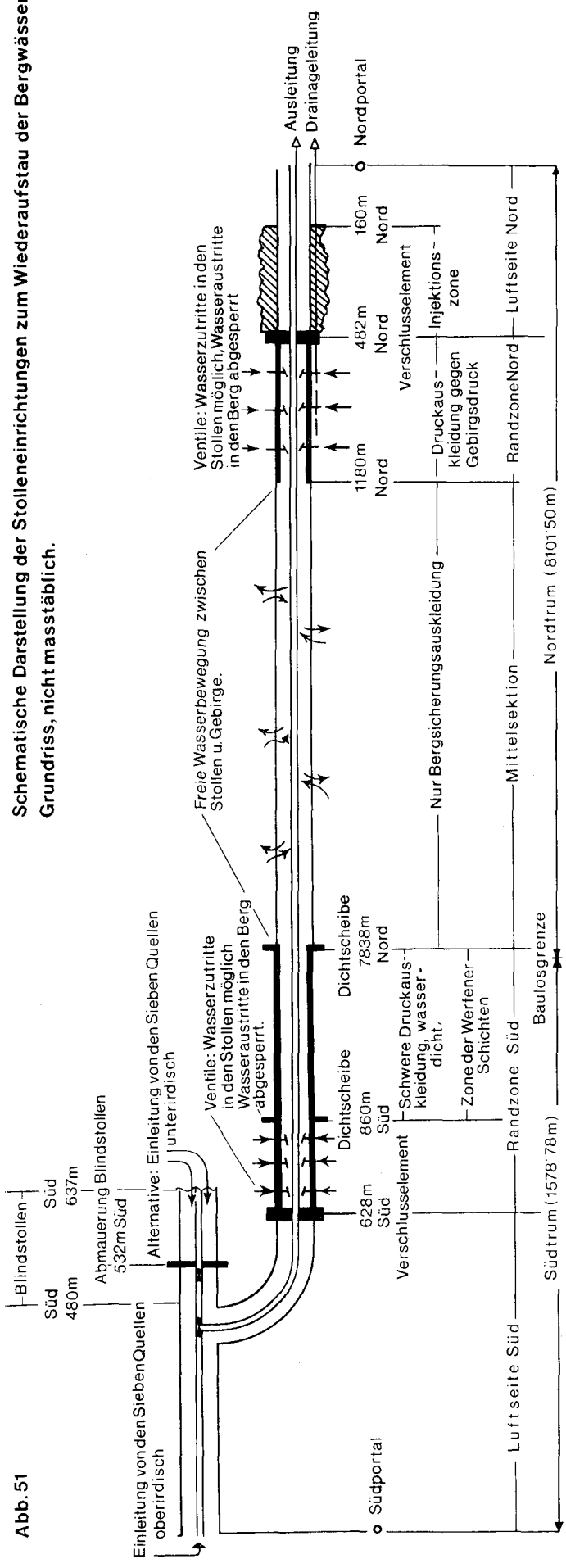
Es war sicherzustellen, daß die Flutung des Stollens kein auf die Stollenröhre beschränkter Vorgang sein werde, sondern eine Teilerscheinung bei der Wiederauffüllung der Gebirgshohlräume bis zur natürlichen, ursprünglichen Höhe. Der zwischen den an den Stollenenden anzubringenden Verschlußelementen eingeschlossene Wasserkörper mußte teilweise jene Funktion übernehmen, welche vor dem Auffahren des Stollens der Gesteinskörper erfüllt hatte.

Durch Auskleidungsmaßnahmen im Stollen, die meist gleichzeitig der Bergsicherung dienten, mußte verhindert werden, daß in jenen Zonen, die beim Vortrieb als nicht wasserführend und daher als nicht am Bergwasserhaushalt beteiligt erkannt worden waren, Wasseraustritte vom gefüllten Stollen ins Gebirge erfolgten.

Die Forderung, daß die Durchleitungsfunktion des Stollens gewährleistet sein mußte, verlangte den Einbau einer dichten, durch die Verschlußelemente hindurchgeführten Rohrleitung (Transportleitung). Außerdem war eine separate Ausleitung der aus dem Berginneren (Mittelsektion) entnehmbaren Wassermenge vorzusehen.

In den äußeren Randzonen hinter den Verschlußelementen war ein Druckausgleich zwischen dem Wasserdruck im Stolleninneren und jenem der Bergwässer notwendig, da diese Randzonen aus Gründen der Bergsicherung druckfest ausgekleidet wurden. Es war daher der Einbau von Ventilen in den Randzonen erforder-

Abb. 51 **Schematische Darstellung der Stolleneinrichtungen zum Wiederaufstau der Bergwässer. Grundriss, nicht masstäblich.**



lich. Weiters mußte die Wasserzirkulation außen entlang der Stollenauskleidung vor Zonen mit veränderlich festem Gebirge gestoppt werden, was durch den Einbau der in Abschnitt 2.5. beschriebenen Dichtscheiben erfolgte.

Bei der Planung und Durchführung der für die Flutung des Stollens erforderlichen Einrichtungen war die beratende Mitwirkung des Geologen durch vorbereitende hydrogeologische und geotechnische Untersuchungen unerläßlich.

Die wichtigsten der damit in Zusammenhang stehenden Detailfragen sollen im folgenden behandelt werden.

2.9.1. Anschätzung des Druckaufbaues

Von primärer Bedeutung war die Frage der Dimensionierung der Verschlußelemente, die ja der vollen Druckhöhe des wieder aufgestauten Bergwasserkörpers standzuhalten hatten.

Spekulationen, die sich an gewissen Erfahrungswerten aus dem Kraftwerksbau in Kristallingebieten orientierten, wobei Drücke von 40 und mehr atü in die Diskussion gebracht wurden, waren nicht zielführend.

Andererseits konnte aber auch der damals bekannte Maximaldruck von 4,2 atü, der an der Abmauerung im Südtrum während der Schneeschmelze 1967 gemessen wurde, nicht als Auslegungsgrundlage angenommen werden, da durch den Stollenbau bereits mit einer Vorabsenkung des Karstwasserspiegels gerechnet werden mußte. (Im Sommer 1972 wurden bereits 5,25 atü erreicht.)

Es war daher notwendig, mit eigenen hydrogeologischen Untersuchungen an die Klärung der Frage heranzugehen.

Die Grundlagen bildeten die Werte für den natürlichen und den zusätzlichen spezifischen Abfluß während der Zeit des Stollenbaues, für den Wassereinzug und das Gesamtvolumen des Gebirgskörpers. Diese Werte waren bekannt beziehungsweise einfach zu errechnen, wobei es nicht um Detailgenauigkeit ging, sondern um die Erfassung der Größenordnungen.

Unbekannt war hingegen der in diesem Zusammenhang entscheidende Wert für das Hohlraumvolumen im Gebirge, das für die Wiederauffüllung zur Verfügung stand, da bereits eine erste Überprüfung der in der einschlägigen Literatur mit 4 bis

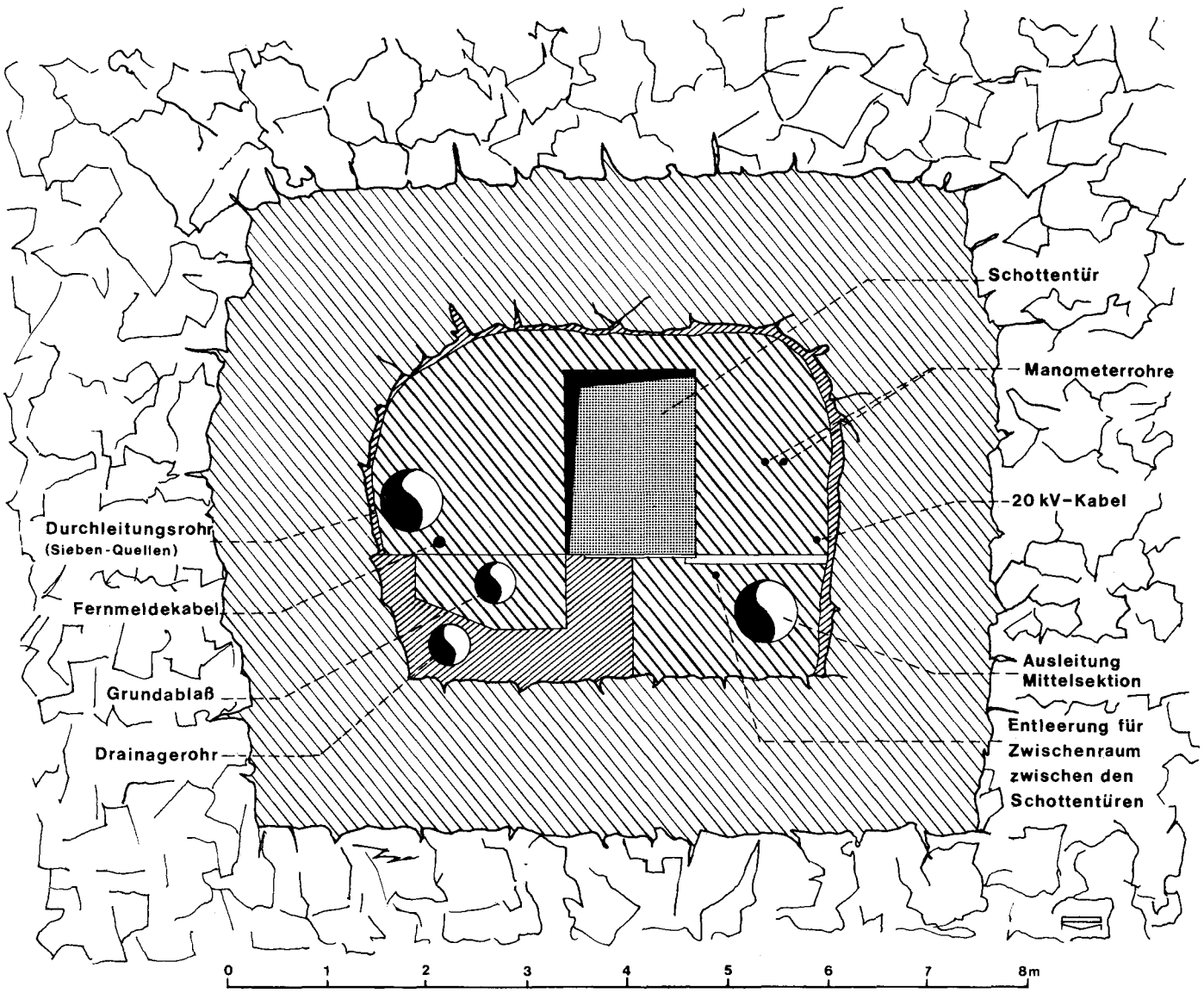


Abb. 52. Schematische Darstellung des Betonkörpers des Stollen-Verschlußelements Nord. Frontansicht.

5% angegebenen Werte zeigte, daß sie mit den Verhältnissen im Schneealpenstollen nicht übereinstimmen konnten.

Es wurden daher in zweiunddreißig repräsentativen, über die gesamte Stollenlänge verteilten Zonen Kluft- und Hohlraumvermessungen durchgeführt und das so gewonnene Zahlenmaterial (über 900 Einzelmessungen) statistisch ausgewertet.

Die Untersuchung ergab, daß das durchschnittliche Hohlraumvolumen in dem für den Wiederaufstau der Bergwässer in Betracht kommenden inneren Teil des Gebirges bei 2,5 bis 3%, in den Außenzonen jedoch bei durchschnittlich 8 bis 10% lag.

Dieser beträchtliche Unterschied hat sich inzwischen durch den bisherigen Druckanstieg im gefluteten Gebirgsteil einerseits und die Abdichtungsarbeiten durch Zementinjektionen in der Außenzone Nord andererseits (siehe Abschnitt 2.9.4.) bestätigt.

Das Ergebnis der im Hinblick auf die Dimensionierung der Verschlußelemente in den Endbereichen des Stollens durchgeführten Hohlraumvolumens-Untersuchung war, daß der Druckaufbau im Mittel mit 8 bis 10 atü anzuschätzen war und auch im ungünstigsten Falle 12 atü nicht überschreiten würde.

Tatsächlich wurden die Verschlußelemente auf etwa eineinhalbfache Sicherheit, nämlich auf 15 atü ausgelegt und Vorsorge für die Möglichkeit des Einbaues einer zweiten Schottentür zur zusätzlichen Druckaufnahme von 15 atü getroffen.

2.9.2. Einbauorte der Verschlußelemente

Eine weitere geologische Aufgabe im Zusammenhang mit dem Wiederaufstau der Bergwässer war die Auswahl und Untersuchung der Stellen, an denen die Verschlußelemente im Stollen eingebaut werden konnten.

Sowohl im Nordtrum als auch im Südtrum schieden die hinter den Mundlöchern gelegenen, stark aufgelockerten Randzonen des Gebirges aus. Die in diesen Bereichen bei Belastung zu erwartenden Differentialbewegungen und die durch Druckwasser entstehenden Sickerströmungen hätten kostspielige Gesteinsvergütung und Gebirgsabdichtung notwendig gemacht.

Es wurden daher die den Mundlöchern nächstgelegenen Stellen mit möglichst einwandfreiem Gebirge gesucht.

Im Nordtrum war dies die Strecke Station 482 bis 486. Der dort anstehende gebankte Gutensteiner Dolomit und Kalk zeigte nur am linken Ulm eine kleine Quetschzone und eine an der Firste längslaufende Störungsfuge, die aber vollkommen geschlossen war. Das Fallen der kompakten Bänke war mit 40 bis 45° stollenauswärts gerichtet, die Lagerung somit für die Abstützung von innen nach außen günstig. Was die Belastungsaufnahme betraf, war die Stelle für den Einbau eines Verschlußelementes ohne Vorbehalt als geeignet zu bezeichnen. Hinsichtlich von Umströmungen war klar, daß Abdichtungen durch Injektionen in jedem Fall erforderlich sein würden.

Im Südtrum war die Wahl der Verschlußstelle nicht nur durch die aufgelockerte Randzone des Gebirges nach außen hin begrenzt, sondern auch durch die Notwendigkeit, innerhalb eines bei Station 618 angelegten Heberschachtes zu bleiben, weil dieser zugänglich gehalten werden mußte.

Es bot sich die Zone von Station 628 bis 632 an, da dort schon eine provisorische Abmauerung zur Beherrschung der Schneeschmelze 1967 mit gutem Erfolg eingebaut gewesen war. Station 628 lag im Wettersteinkalk und -dolomit, der am rechten Ulm von einer in Vortriebsrichtung von der Sohle zur Firste aufsteigenden, mit 70° nach Süden fallenden, geschlossenen Kluft durchzogen war. Im übrigen war das Gestein massig. Auch hier gab es hinsichtlich der Standfestigkeit bei Belastung keinerlei Bedenken und auch hier war von vornherein mit Abdichtungsarbeiten durch Injektionen zu rechnen.

Sowohl im Nord- als auch im Südtrum wurde das Verschlußelement nach statischer Berechnung und geologischer Abnahme der Einbaustelle als Betonquader von rund 8 m Höhe, 6 m Breite und 4 m in Stollenrichtung gemessener Stärke hergestellt, und zwar rundum 1,50 m tief ins Gebirge eingebunden. Eine durchgehende Öffnung von 1,30 m Weite und 1,80 m Höhe wurde durch eine auf einen Innendruck von 15 atü ausgelegte Schottentüre verschlossen (siehe Abschnitt 2.9.1.). Ableitungsrohrstrang der Sieben Quellen, Ausleitungsrohrstrang der Mittelsektion, Drainageleitung, Grundablaß, Fernmeldekabel und Druckmeßrohre führen durch den Betonkörper der Verschlußelemente.

Der bisher höchste an einem der Verschlußelemente gemessene Druck des im Wiederaufstau befindlichen Bergwasserkörpers betrug 5,25 atü (Sommer 1972). In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß nach einer unveröffentlichten karsthydrologischen Studie von F. Bauer der Wiederaufstau der durch den Stollenbau zusätzlich zum Abfluß gebrachten Wassermenge (rund 20,000.000 m³) und damit die Wiederherstellung weitgehend normaler Verhältnisse im Karstwasserkörper insgesamt mehr als fünf Jahre beanspruchen wird.

Über die Abdichtungsarbeiten durch Injektionen am Verschlußelement Nord wird im Abschnitt 2.9.4. näher berichtet.

2.9.3. Hydraulische Bergsicherung als Nebeneffekt des Wiederaufstaues der Bergwässer

Durch den Wiederaufbau der Bergwässer wurde, gleichsam nebenher, ein Effekt erzielt, der zu einer nicht zu unterschätzenden Ersparnis an Material- und Arbeitsaufwand und damit an Kosten führte.

Bei der Ausführung des ursprünglichen Projektes wäre die Sicherung des Stollens durch Vollauskleidung in all jenen Zonen erforderlich gewesen, in denen festgestellt worden war, daß der Gebirgsdruck die Gebirgsfestigkeit überschreitet.

Der Wiederaufstau der Bergwässer, in welchen die Stollenröhre zwischen den Verschlußelementen voll einbezogen ist, bewirkt jedoch eine Innendruck-Steigerung im Stollen, die am gesamten Umfang des Hohlganges angreift und dem Gebirgsdruck ohne Unterschied, ob es sich um First-, Ulm- oder Sohldruck handelt, entgegenwirkt.

Dazu kommt, daß auf den Stollenumfang einseitig oder ungleichmäßig wirkende Gebirgskräfte hydraulisch übertragen und somit ausgeglichen werden. Der im Stollen unter Druck stehende Wasserkörper übt selbsttätig eine jeweils dem Ausmaß und der Richtung der angreifenden Gebirgskräfte entsprechende Stützfunktion aus, wobei die Kräfte des Gebirgswiderstandes ebenfalls genau im jeweils äquivalenten Maße aktiviert und so Gleichgewichtszustände zwischen den formverändernden Wirkkräften und den formerhaltenden Widerstandskräften rund um den Hohlraum aufgebaut werden.

Das Grundprinzip der gewollten Wasserfüllung von künstlich geschaffenen Hohlräumen ist nicht neu. Es wurde im Bergbau verschiedentlich und mit Erfolg unter der Bezeichnung „hydraulischer Versatz" angewendet, um den Zusammenbruch von Grubenbauen, die durch Gewinnung von mineralischen Rohstoffen entstanden waren, zu verhindern und damit Bergschäden an der Geländeoberfläche zu vermeiden. Dabei wurde Wasser an Stelle von Gesteinsmaterial zur Füllung aufgegebener, funktionslos gewordener Hohlräume benützt.

In der einschlägigen Literatur einschließlich der neuesten Werke über Tunnel- und Stollenbau konnten vom Berichterstatter aber keine Hinweise auf eine Vorgangsweise, die der „hydraulischen Bergsicherung" entspräche, gefunden werden.

Die Anwendung dieser Methode bei einem Hohlraum, der nicht als zwangsläufige, eher unerwünschte Folge einer Rohstoffgewinnung entstanden ist, sondern eigens zu dem Hauptzweck

angelegt wurde, als Transportgang für Wasser zu fungieren, dürfte somit neu sein.

Um diese Hauptfunktion des Stollens trotz Flutung sicherzustellen, mußte die Gewähr gegeben sein, daß der dafür eingebaute Durchleitungsrohrstrang dem sich aufbauenden Bergwasserdruck in jedem Falle standhält. Dies wird am zweckmäßigsten durch künstliche, mit dem Bergwasserdruck korrespondierende Steigerung des Rohr-Innendruckes erreicht, so daß keine kritische Differenz zwischen Außen- und Innendruck am Rohr entstehen kann. Da im Herbst 1972 durch natürliches Absinken des Bergwasserspiegels der Stollen vom Südtrum her auf über 3 km zugänglich war, konnte eine Kontrollbegehung bis in die Mittelsektion durchgeführt werden. Bei dieser Kontrolle wurde festgestellt, daß sich die „hydraulische Bergsicherung" bestens bewährt.

2.9.4. Dichtungsmaßnahmen durch Zementinjektionen

Nach Fertigstellung der Verschlußelemente im Nord- und Südtrum wurde das umschließende Gebirge durch Zementinjektionen abgedichtet.

Während der Aufstauphase zeigte sich nämlich, daß außerhalb des Verschlußelementes Nord (Station 482) bis zur Ringbetonstrecke (Station 170 bis 200) Wasseraustritte aus dem Gebirge erfolgten, die im Maximum 140 l/sec. erreichten.

Es war klar, daß diese sogenannte Leckwassermenge dem Wiederaufstau der Bergwässer verlorenging und daher Abdichtungsmaßnahmen erforderlich waren.

Am geeignetsten erschienen dafür Zementinjektionen, die einen dichten Mantel von 5 m Stärke rund um die Stollenröhre schaffen sollten.

Es wurde nach folgendem Grundschema vorgegangen:

In Abständen von 2,5 m wurden jeweils zwölf Bohrungen strahlig vom Stollen aus angelegt, und zwar in drei Phasen, als Primär-, Sekundär- und Tertiärbohrungen. Die Bohrungen wurden zunächst bis 2,5 m Tiefe gebracht und sodann (mit Silikatzusatz) vorinjiziert, um eine erste Abdichtung gegen die Luftseite zu erreichen und das Rückfließen des weiteren Injektionsgutes zu verhindern. Sodann wurde, nach Aufbohren der Vorinjektionslöcher, bis 5 m Tiefe weitergebohrt und die Injektion mit Zement durchgeführt, bis keine Materialaufnahme mehr erfolgte.

Die Drücke der Vorinjektionen wurden bis 5 atü, die der Hauptinjektionen bis 15 atü gesteigert.

Beim Bohren der Injektionslöcher und beim Setzen der Injektionspacker waren gesteinsbedingte Schwierigkeiten aufgetreten. Die zahlreichen Kluftflächen im Gestein bewirkten, wenn sie die Bohrung im ungünstigen Winkel kreuzten, häufig Ablenkung des Bohrers, so daß die Bohrlöcher nicht vollkommen gerade, sondern mit wiederholten, leichten Richtungsänderungen im Gestein standen. Diese Richtungsänderungen waren, obwohl an sich geringfügig, groß genug, um oftmals ein sattes Anlegen der herkömmlichen Packer im Bohrloch zu verhindern. Es mußten daher eigene Packer, die aus mehreren Einzelgliedern bestanden und so die Biegungen der Bohrlöcher besser mitmachen konnten, entwickelt und gebaut werden. Mit diesen neuen Packern wurden die Arbeiten, die im Februar 1972 begonnen worden waren, zügig weitergeführt und konnten im Sommer 1972 abgeschlossen werden.

Die Leckwassermenge der Außenzone lag bei der Schlußabnahme im September 1972 unter 10 l/sec. Die Abdichtung durch systematisches Injizieren konnte als voller Erfolg bezeichnet werden, nachdem auch die Kontroll-Kernbohrungen einwandfreie Füllung der Klüfte mit Injektionsgut ergeben hatten.

Ein neuerliches Ansteigen der Leckwassermenge Anfang Mai 1973 auf 28 l/sec. war darauf zurückzuführen, daß das vehemente Einsetzen der Schneeschmelze heuer auch die randlichsten Gebirgszonen mit Schmelzwasser auffüllte, die jedoch im wesentlichen nicht in der injizierten Zone (Station 160 bis 482 Nord), sondern im Stolleneingangsbereich (Bahnhof 0) durch Entlastungsspalten im Sohlbeton drängten.

Bei den Injektionsarbeiten bestätigte sich, daß die Berechnung des Hohlraumgehaltes für die Randzone des Gebirges mit durchschnittlich 8% (siehe Abschnitt 2.9.1.) zutreffend war.

Es wurden insgesamt rund 2350 m³ Injektionsgut verpreßt. Auf den laufenden Stollenmeter der verpreßten Zone entfielen im Durchschnitt rund 7,26 m³, im Maximum rund 23,44 m³, was einem maximalen verpreßbaren Hohlraumgehalt von rund 15 bis 20% entspricht. Dieser hohe Hohlraumgehalt erklärt sich dadurch, daß in der betreffenden Zone (etwa Station 220 bis 240 Nord) neben den weitständigen Klüften der Gebirgs-Randzone auch Karsthohlräume vorhanden waren, die verpreßt werden mußten.

3. Der Nutzen geologischer Voruntersuchungen, Prognosen und Diagnosen

Abschließend erscheint es angebracht, einige Gedanken zu der Frage darzulegen, inwieweit geologische Voruntersuchungen, Prognosen und Diagnosen für die technische Durchführung von Projekten der Größenordnung des Schneealpenstollens von Nutzen sein können.

Dabei sollen nicht allgemeine Erörterungen zu diesem Thema angestellt werden, wie sie meist als Einleitungskapitel — und zwar mit Recht — vielen Lehr- und Handbüchern der Hydrogeologie und der Angewandten Geologie vorangestellt werden.

An dieser Stelle sollen vielmehr aus einigen wenigen Beispielen der Baugeschichte des Schneealpenstollens grundsätzliche Empfehlungen abgeleitet werden, und zwar sowohl für den Techniker als auch für den Geologen.

Bereits in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß im Falle des Schneealpenstollens die Ergebnisse geologischer Voruntersuchungen im wesentlichen als Grundlagen des Gesamtprojektes herangezogen wurden, und aus Abschnitt 1. geht hervor, wie umfangreich einerseits und wie detailliert andererseits diese Voruntersuchungen waren und vor allem, daß sie bereits vier Jahre vor Baubeginn in Angriff genommen wurden! Die Wasserwerke der Stadt Wien als Bauherr haben hier ein Maß an Weitblick gezeigt, das gar nicht hoch genug eingeschätzt werden kann.

Im Laufe der dreijährigen Bauzeit hat dieser Weitblick dadurch Früchte getragen, daß auch die schwierigsten Situationen bewältigt werden konnten, weil man ihnen nicht gänzlich unvorbereitet gegenüberstand, sondern sich bereits auf grundsätzliche Kenntnisse ihrer Ursachen und Ausmaße stützen konnte.

Hiezu einige Beispiele:

3 Jahre vor Baubeginn wurde vom Berichterstatter auf Grund der hydrogeologischen Untersuchungen der Schluß gezogen, daß dem Sieben-Quellen-Austritt im Berg ein Hohlraum oder Hohlraumsystem als Wassersammler vorgeschaltet sein müsse, dessen Gestalt und Ausmaße jedoch unbekannt war. Wörtlich heißt es in dieser mit 19. Juli 1962 datierten Studie weiter:

„Immerhin besteht die Möglichkeit, daß der Stollen diesen Stauraum östlich der Sieben Quellen trifft, was neben der Wassereinbruch-Gefahr zumindest eine Schüttungsminderung, wenn nicht das zeitweise Trockenfallen der Quellen zur Folge haben wird. Im Falle eines Wassereinbruches durch Anfahren des Sammelraumes hinter den Sieben Quellen ist u. U. mit einem Wasseranfall zu rechnen, der anfänglich die normale Schüttung der Quellen weit übertrifft, also wesentlich größer als 250 bis 300 l/sec. sein kann!"

Am 20. Juni 1966 wurde der Stauraum tatsächlich angefahren (siehe Abschnitt 1.6.2.), in der Folge stieg der Wassereinbruch zeitweise bis 1300 l/sec. an und die Sieben Quellen fielen trocken.

Ein anderes Ergebnis der Voruntersuchungen, das sich auf den Vortrieb im zentralen Teil der Schneealpe bezog, wurde ebenfalls in der Studie von 1962 beschrieben:

„Werden Hohlräume angefahren, so kann das eindringende Wasser u. U. aufgeschlämmtes und auch körniges Gesteinsmaterial mitbringen, welches sich im Laufe der Zeit in der Hohlform abgesetzt hat."

Von den zahlreichen Wassereinbrüchen, die tatsächlich mit dem Eindringen von Schlamm-, Sand- und Gesteinsmaterial einhergingen, sei als Beispiel nur an den eklatantesten Fall, nämlich den Einbruch bei Station 4500 Nord (siehe Abschnitt 1.6.1.) erinnert.

„Mit dem Emportauchen der Werfener Schichten bis über die Stollentrasse muß" — schrieb der Berichterstatter 1964 im Zusammenhang mit dem Nordtrum — „gerechnet werden, je mehr sich der Vortrieb dem Bereich Weiße Wand—Ameisbühel nähert . . ."

In eben diesem Bereich, nach der Stollen-Stationierung zwischen Station 1327 bis 1497 Nord, durchfuhr der Vortrieb die ersten kompakten Aufwölbungen von Werfener Schichten.

Auf die Möglichkeit des Anfahrens von Salinargasen wurde ebenfalls 1962 hingewiesen. Der Gaseinbruch bei Station 1383 Süd erfolgte 1968 (siehe Abschnitt 1.6.2.).

Die Erwähnung dieser Beispiele, denen sich noch zahlreiche weitere hinzufügen ließen, soll nicht den ganz und gar unrichtigen Eindruck erwecken, die Geologie könne als eine Art Wahrsagerei jede gewünschte Voraussage über unterirdische Verhältnisse produzieren. Es wäre auch töricht zu behaupten, daß Irrtümer bei geologischen Prognosen und Diagnosen ausgeschlossen seien.

Die angeführten Beispiele sollen nicht mehr und nicht weniger zeigen, als daß durch zeitgerechte und sorgfältige Voruntersuchungen so viel geologisches Informationsmaterial über ein Projektgebiet zusammengetragen werden kann, daß die großen und daher sowohl gefährlichen als auch kostspieligen Überraschungen bei der Verwirklichung des Bauvorhabens selten werden oder vielleicht ganz ausbleiben. Darin liegt der wahre Wert geologischer Voruntersuchungen, Prognosen und Diagnosen. Es sollte bei keinem größeren Projekt, das in den Untergrund eingreift, versäumt werden, diese Möglichkeit zu nützen, auch wenn daraus allen Beteiligten Verpflichtungen erwachsen, wobei gar nicht von den Kosten die Rede sein soll. Diese machen in jedem Fall nur einen meist im Promille-Bereich der gesamten Baukosten liegenden Bruchteil aus und sie werden vollends vernachlässigbar, wenn man sie dem Nutzen gegenüberstellt, der durch die Vermeidung von oft sehr teuren Fehlern entsteht.

Mit diesen Verpflichtungen ist vielmehr gemeint, daß der Auftrag für geologische Voruntersuchungen vom Projektanten zeitgerecht erteilt werden sollte, so zeitgerecht, daß deren Ergebnisse noch in der Planung berücksichtigt werden können, etwa in Form von Trassenvarianten, Standortsänderungen, Modifikationen von Dimensionierungen und dergleichen. Das kann bedeuten: Jahre vor dem Baubeginn.

Ebenso ist damit gemeint, daß der Kontakt mit der Geologie nicht mit der Voruntersuchung beendet sein sollte, sondern auch während der Projektsverwirklichung, oder besser gesagt, gerade dann durch ständige Beratung und Diskussion aufrecht bleiben sollte, wobei vor allem die Bauausführenden, die Ingenieure und Techniker der Arbeitsgemeinschaften und Firmen, Gesprächspartner und Fragesteller sein sollten.

Und schließlich ist damit gemeint, daß der Geologe anbieten sollte, was die Praxis tatsächlich auch brauchen kann: Informationen, die helfen, die Schwierigkeiten und Herausforderungen der Natur zu bewältigen, ohne die Natur zu vergewaltigen. Das bedeutet, daß der Geologe es sich versagen sollte, seine detaillierten theoretischen Kenntnisse über Formationskunde, Sedimentologie, Metamorphose oder welche immer er sonst noch besitzt, dem Techniker zu präsentieren. Hingegen sollte er auf der soliden Grundlage dieses seines theoretischen Wissens alle das Projekt berührenden Informationen sorgfältig und bis ins Detail erarbeiten, ohne den Blick für das Ganze zu verlieren, und diese Informationen in die Sprache der Technik übersetzen, oder, wo dies nicht möglich ist, den Techniker mit der Sprache des Geologen vertraut machen. Wenn ihm das gelingt, wird er schließlich nicht nur in der Lage sein, die Fragen des Ingenieurs zu beantworten, sondern er wird an der Projektsverwirklichung durch konstruktive Anregungen und Ratschläge aktiv mitwirken können, und diese Mitwirkung wird in der Baukanzlei ebenso begrüßt werden wie im Büro der Bauaufsicht.

Wo diese Art von Zusammenarbeit aller Beteiligten besteht, dort ist die Frage nach dem Nutzen geologischer Voruntersuchungen, Prognosen und Diagnosen bereits positiv beantwortet.

Der Berichterstatter sah sich zu diesen abschließenden Betrachtungen veranlaßt, weil diese Zusammenarbeit kennzeichnend für den Bau des Schneealpenstollens war.

4. Stollendaten

Längen, Mengen und Massen

(Nach P. STEINWENDER & J. DONNER, 1970)

	Nordtrum	Südtrum	Stollen gesamt
Vortriebslänge (m)	8.101,50	1.578,78	9.680,28
Ausbruch (m^3)	62.855	15.405	78.260
Bohrmeter (m)	378.350	70.477	448.827
Abschläge (Anzahl)	3.706	1.600	5.306
Stahlstreckenbögen (Stück)	41	295	336
Berganker (Stück)	2.869	452	3.321
Baustahlgitter (kg)	21.100	77.729	98.829
Sternstahl (t)	56	82	138
Zement (t)	3.830	2.654	6.484
Zuschlagstoffe (m^3)	19.547	6.458	25.997
Munition (kg)	208.100	57.450	265.550
Sprengkapseln (Stück)	183.400	78.000	261.400
Dichtungs- und Sicherungs-Spritzbeton (m^3)	1.387	2.752	4.139
Sohlbeton (m^3)	1.162	769	1.931
Auskleidungsspritzbeton (m^3)	7.811	1.171	8.982

Durchschnittswerte

(Nach P. STEINWENDER & J. DONNER, 1970)

	Nordtrum	Südtrum
Munitionsverbrauch je m^3 Ausbruch (kg)	3,07	3,74
Sprengkapseln je m^3 Ausbruch (Stk.)	2,70	4,93
Bohrmeter je m^3 Ausbruch (m)	5,99	4,46
Mittlere Abschlaglänge (m)	2,18	1,21
Abschläge pro Tag (Anzahl)	6,46	4,98
Mittlere Vortriebsleistung je Arbeitstag (m)	14,11	5,16
Mittlere Vortriebsleistung je Kalendertag (m)	8,26	1,65

Geologische und hydrologische Daten

	Nordtrum	Südtrum	Stollen gesamt
Vortrieb in Wettersteinkalk und -dolomit (m)	3.090	460	3.550
Vortrieb in Gutensteiner Kalk und -Dolomit (+ Reiflinger Kalk) (m)	4.261	359	4.620
Vortrieb in Werfener Schichten (m)	510	760	1.270
Vortrieb in Gosaukonglomerat-Brekzie (m)	240	—	240
Größte Überlagerung (m)			1.042
Maximaler Druckanstieg (atü) am Stollenverschluß bisher	5,25	4,62	—
Entnommene Gesteinsproben (Stück)	4.060	800	4.860
Chemische Einzelbestimmungen an Wasserproben, Schneealpenmassiv + Stollen, 1964—1968 (Anzahl) (F. BAUER, 1969)			27.000
Durch den Stollenbau verursachter Gesamt-Mehrabfluß in 3 Jahren (F. BAUER, Speläolog. Inst.) (m^3)			20,000.000
Maximaler Abfluß aus dem Stollen (l/sec.) (F. BAUER, 1969)	600	1.300	1.900

Literatur

BAUER, F.: Karsthydrologische Untersuchungen im Schneealpenstollen in den steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen. — Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 1969, Graz 1969.

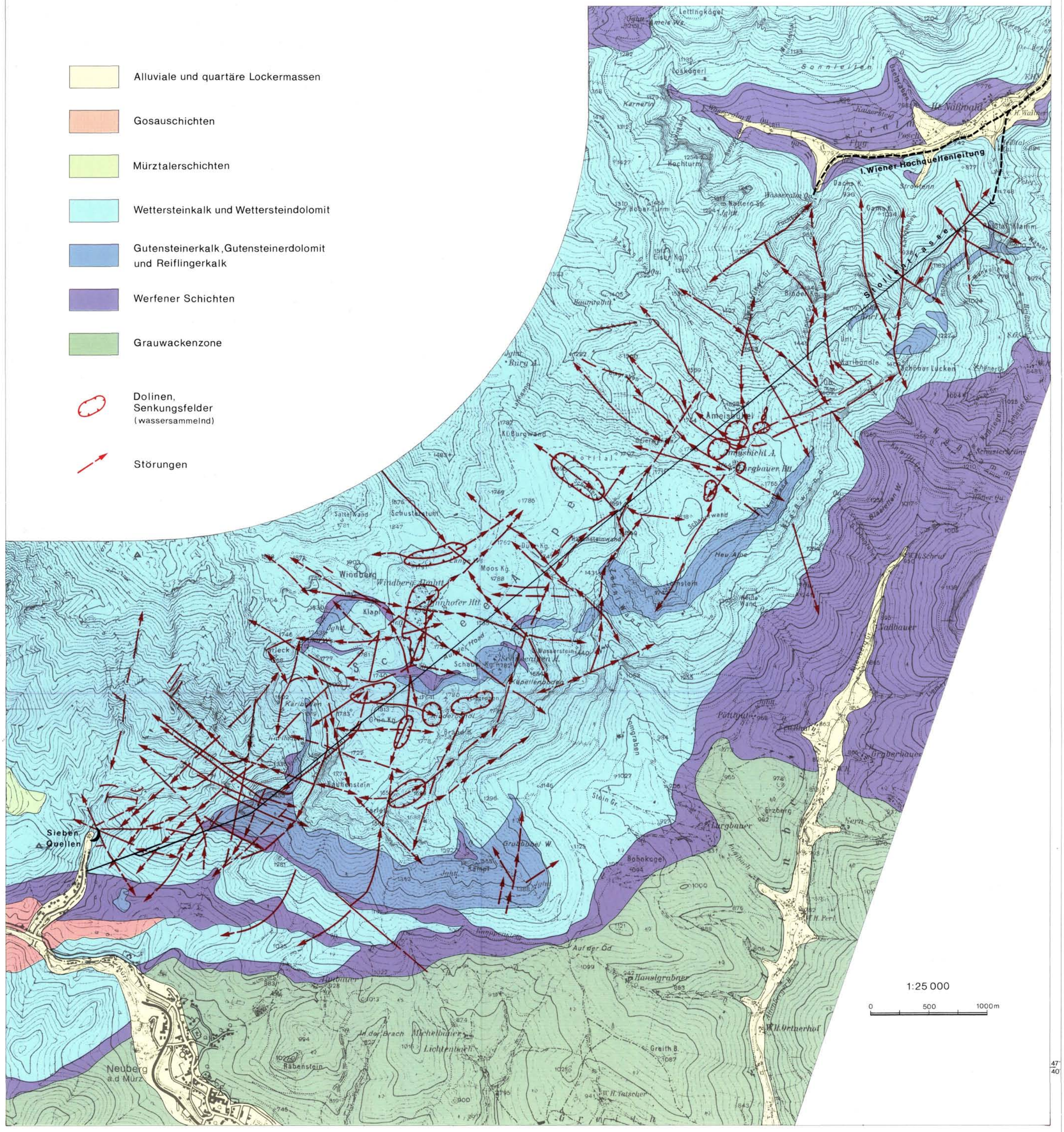
DRENNING, A., & DONNER, J.: Bau des Wasserleitungsstollens durch die Schneealpe. — gwf-wasser/abwasser, *108*, 1967, H. 16, S. 426 bis 433, Wien 1967.

STEINWENDER, P., & DONNER, J.: Der Bau des Schneealpenstollens. — gwf-wasser/abwasser, *110*, 1969, H. 34, S. 914—918, Wien 1969.

STEINWENDER, P., & DONNER, J.: Das Wasserleitungsprojekt der Stadt Wien: Fassung und Einleitung der „Sieben Quellen im Karlgraben" in die I. Wiener Hochquellenwasserleitung. I. Teil: Baustelle „Schneealpenstollen Südtrum" (Elisabethstollen), Karlgraben, Gemeinde Neuberg an der Mürz, Steiermark. — gwf-wasser/abwasser, *111*, 1970, H. 11, S. 623—630, Wien 1970.

STEINWENDER, P., & DONNER, J.: Das Wasserleitungsprojekt der Stadt Wien: Fassung und Einleitung der „Sieben Quellen im Karlgraben" in die I. Wiener Hochquellenwasserleitung. II. Teil: Baustelle „Schneealpenstollen Nordtrum" (Leopoldinenstollen), Reistal, Marktgemeinde Schwarzau im Gebirge (Niederösterreich). — gwf-wasser/abwasser, *111*, 1970, H. 12, S. 716—722, Wien 1970.

GEOLOGISCHE DETAILKARTE
ÜBER DEN TRASSENBEREICH DES SCHNEEALPENSTOLLENS von T.E.Gattinger, 1973



Druck: Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien

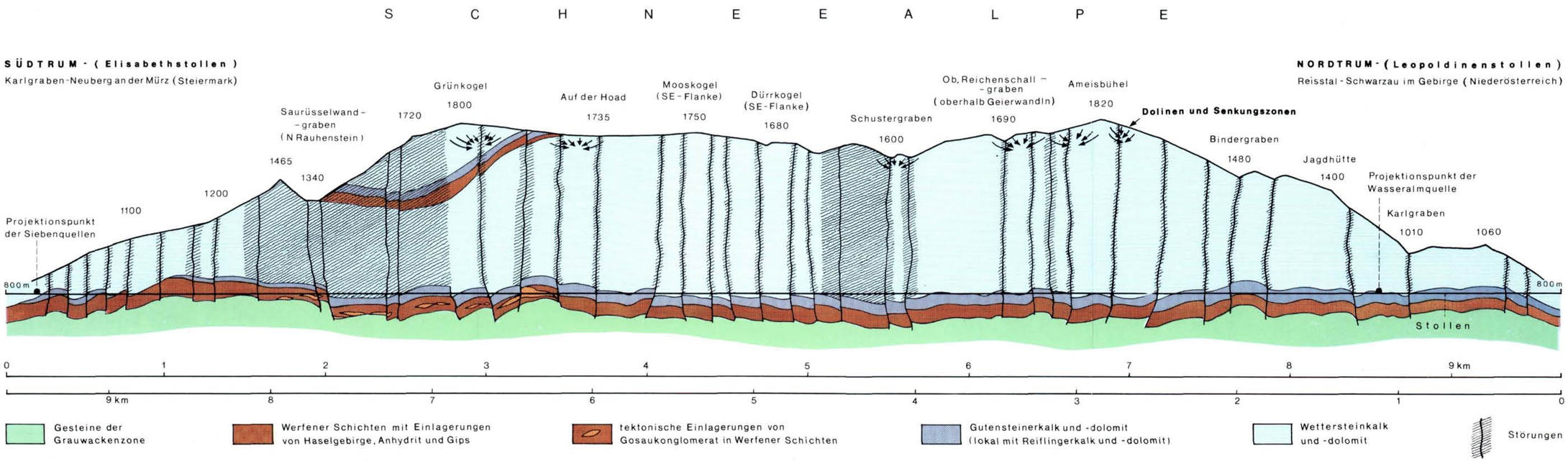
Gestaltung u. Originalzeichnung f. d. Druck: O. Binder
Gravur und Farbauszüge: Zeichenabteilung der G. B. A.

S C H N E E A L P E N S T O L L E N

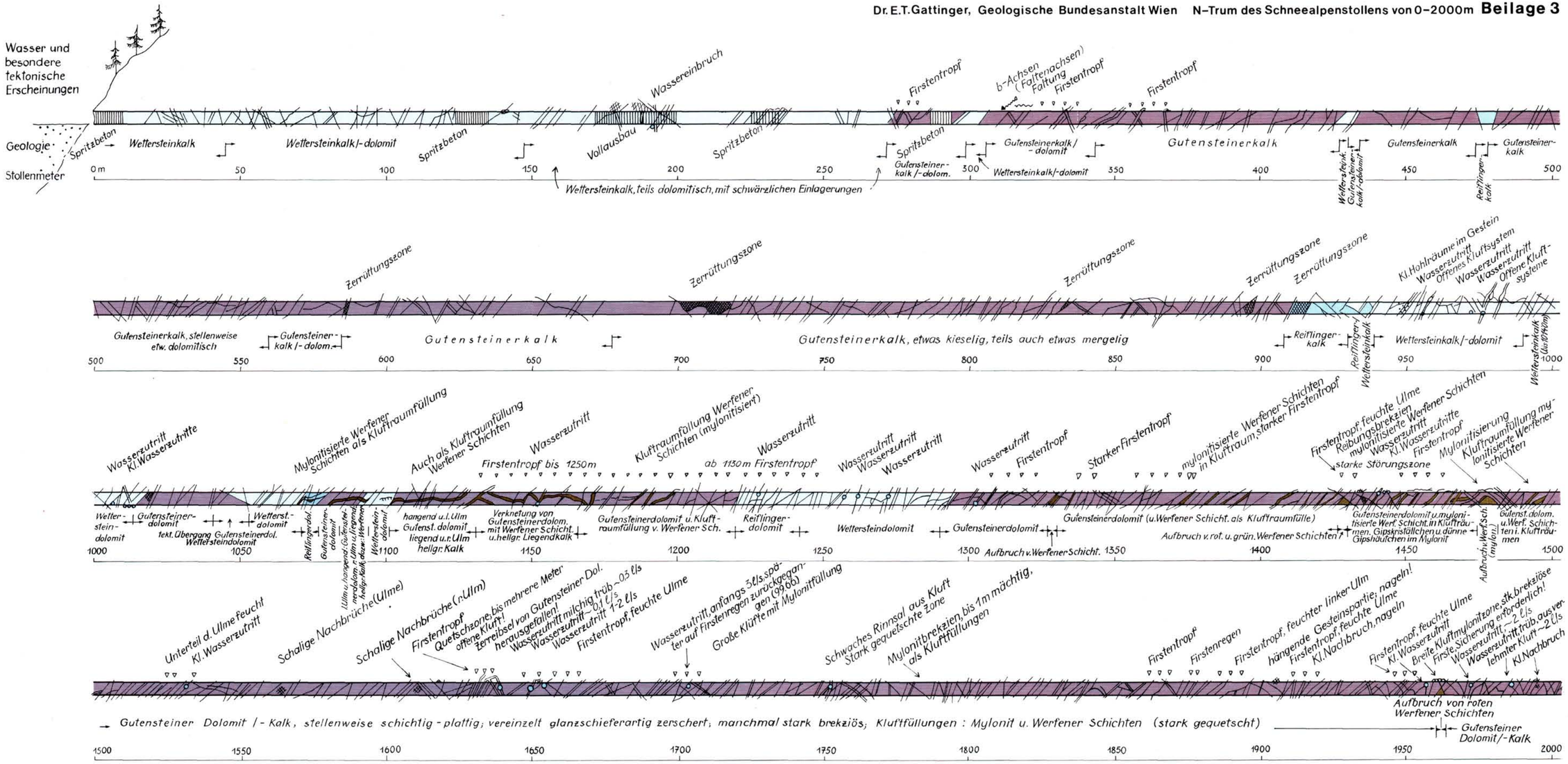
Beilage 2

G E O L O G I S C H E S L Ä N G S P R O F I L

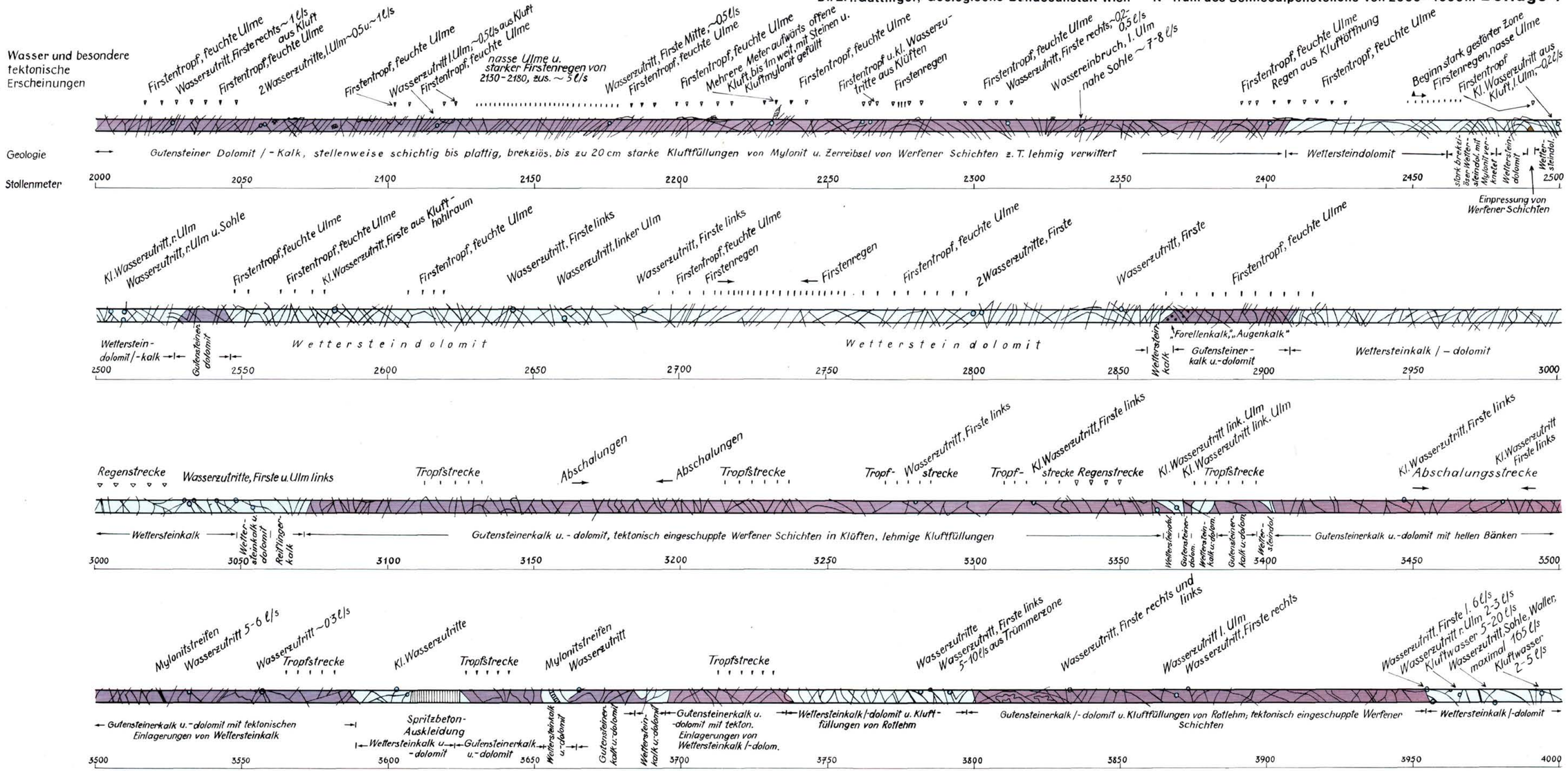
von T. E. GATTINGER, Geologische Bundesanstalt Wien, 1968 / 1969



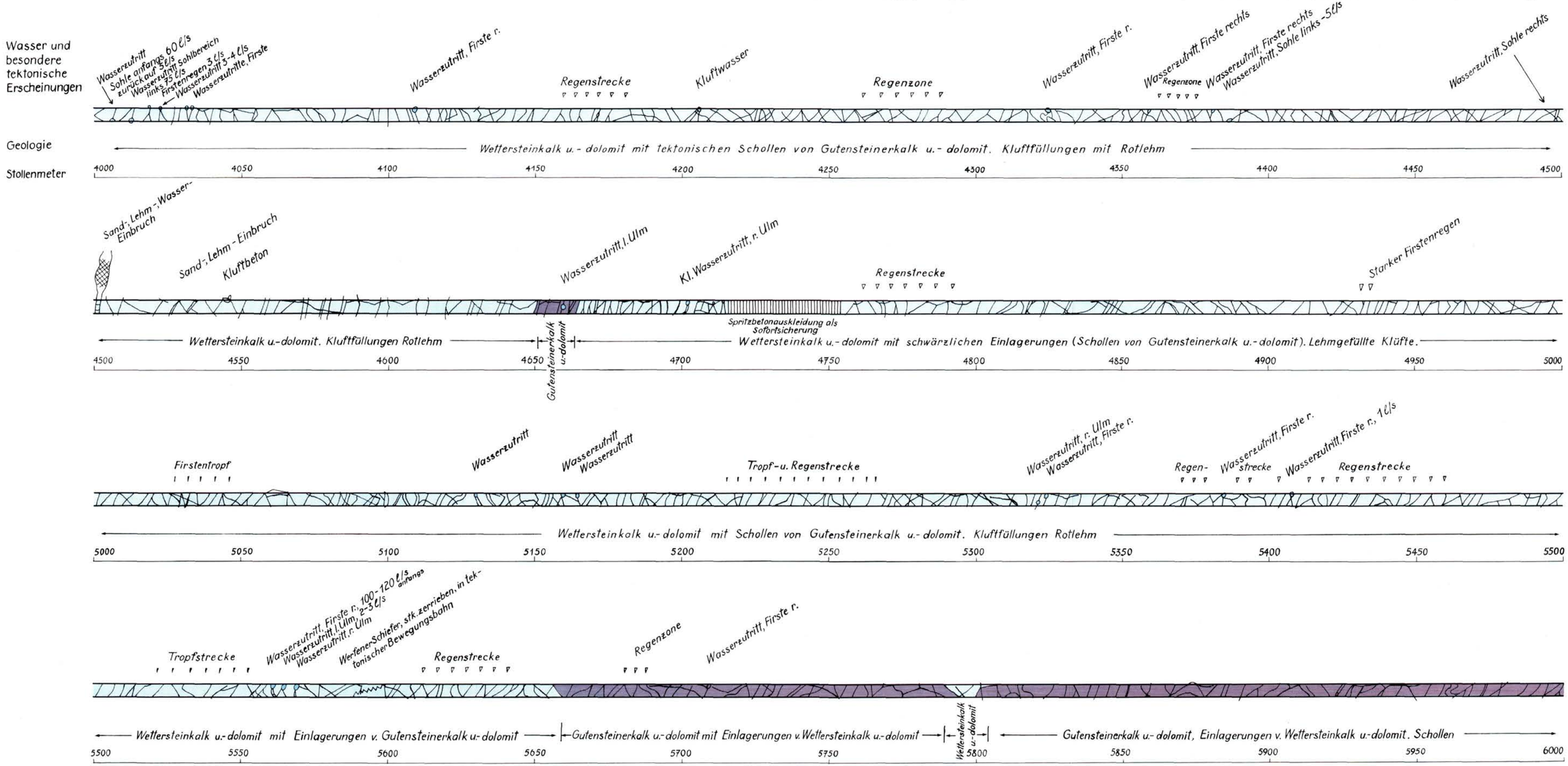
Dr. E.T.Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien N-Trum des Schneealpenstollens von 0-2000m **Beilage 3**



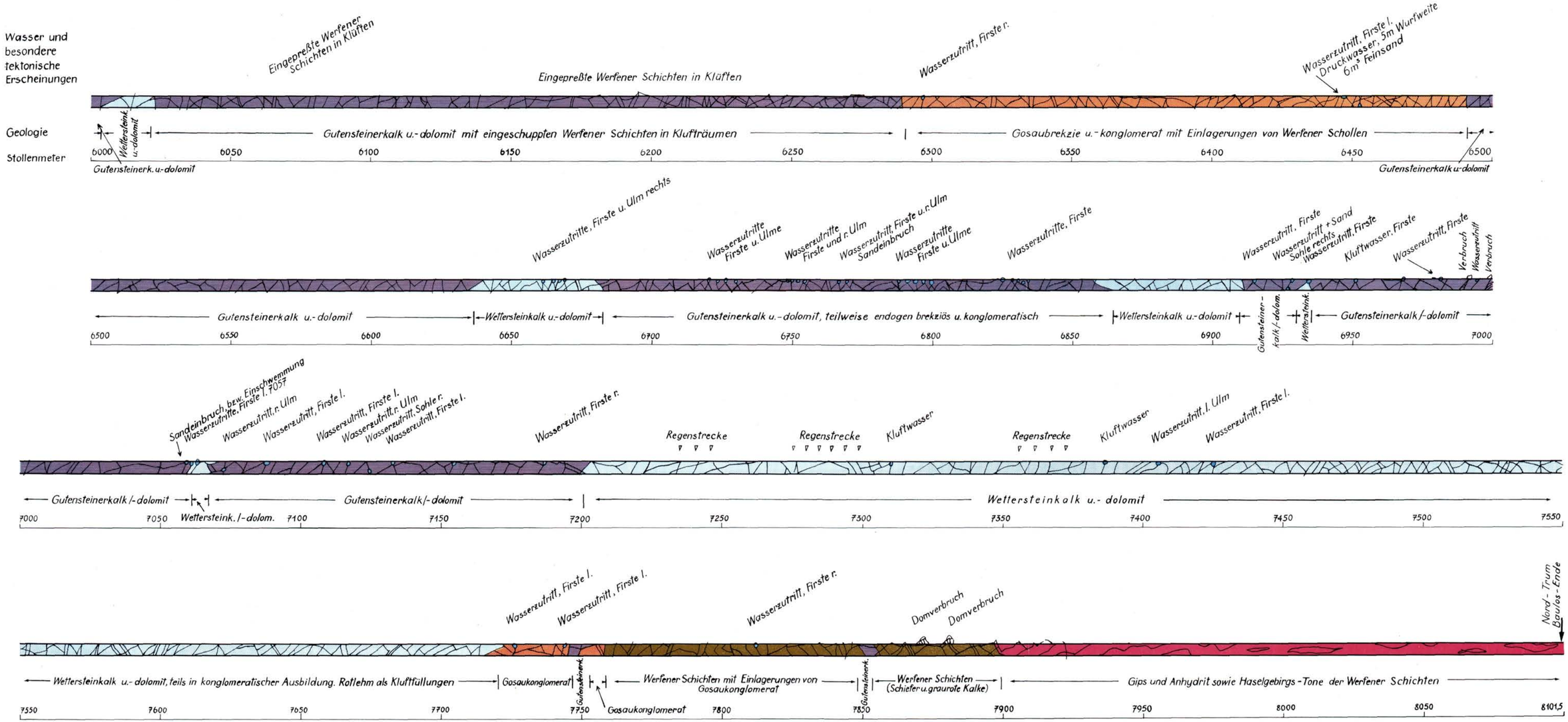
Dr. E. T. Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien — N-Trum des Schneealpenstollens von 2000–4000 m **Beilage 4**



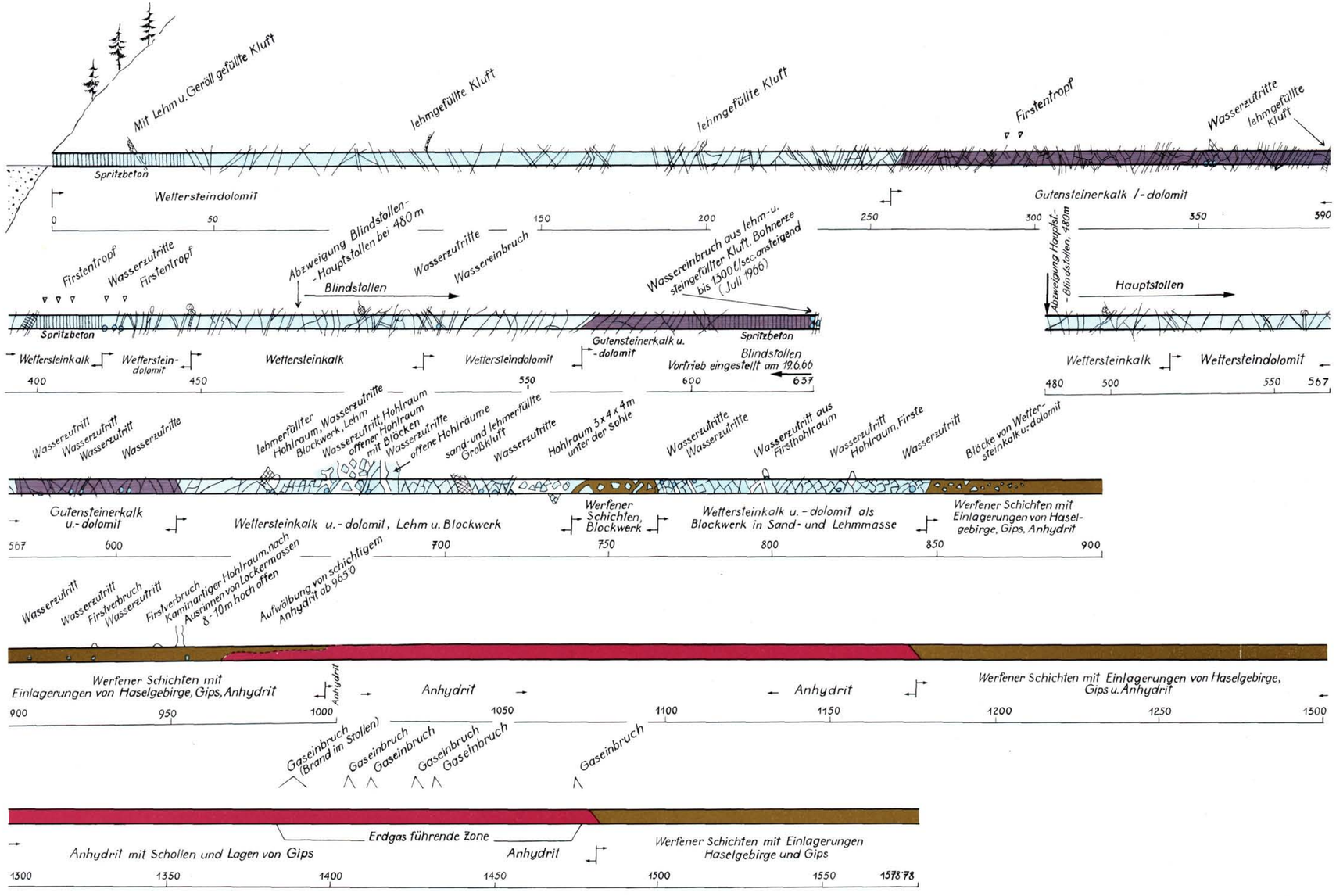
Dr. E.T.Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien N-Trum des Schneealpenstollens von 4000-6000m **Beilage 5**



Dr. E.T. Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien N-Trum des Schneealpenstollens von 6000–8101·5m **Beilage 6**



S-Trum des Schneealpenstollens von 0–1578'78m **Beilage 7**
Dr. E. T. Gattinger, Geologische Bundesanstalt Wien



LEGENDE:

- Lehm
- Gosaukonglomeratbrekzie
- Wettersteinkalk und -dolomit
- Reiflingerkalk
- Gutensteinerkalk und -dolomit
- Werfener Schichten
- Haselgebirge mit Gips und Anhydrit
- Störungen