

Baugeologische Ergebnisse bei Erkundungsarbeiten im Mönchsberg, Salzburg

Von GEORG HORNINGER

Mit 9 Abbildungen und 2 Tafeln (Beilage 1 und 2)

Österreichische Karte
1 : 50.000
Blatt 63

Salzburg
Nagelfluh
Höhlen
Manganabsätze
Klüfte

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	76
1.1. Geologische Unterlagen. Literatur, Karten	80
1.2. Übernommene Bohrungen 1972	80
2. Erste Feststellungen	81
2.1. Weite Klüfte im Berge als Planungsgrenzen	81
2.2. Geotechnisches Verhalten der Nagelfluh	81
3. Künstliche Aufschlüsse 1973	83
3.1. Bohrungen	83
3.1.1. Kritik an Bohrungen	84
3.1.2. Überlegungen zur Begrenzung der Bohrtiefen	85
3.1.3. Warum nicht praktische Geophysik?	86
3.2. Die Bohrergebnisse	87
3.2.1. Ergänzung aus offener Baugrube zu den Bohrergebnissen	88
4. Die Manganhöhle	88
4.1. Entdeckungsgang	88
4.2. Beschreibung der Höhle. Höhleninhalt	90
4.2.1. Der Manganoxid-Absatz	90
4.2.2. Der Grundwassertümpel in der Höhle	96
4.2.3. Scheitelbereich der Höhle, Wasserstandsmarken	96
4.2.4. Erkundungsschacht in der Höhle	97
4.2.5. Bohrung Nr. 38/74 als Fortsetzung des Schachtes	97
4.2.6. Probleme um die Entstehung der Höhle	98
4.2.7. Höhlendach und Strukturebenen der Nagelfluh	100
4.2.8. Flacher Riß in Mönchsbergwand. Möglicher Zusammenhang mit Höhle	101
5. Eine zweite Höhle	101
6. Die Mönchsbergtropfsteinhöhle	102
7. Die weiten Klüfte im äußersten Westen	103
7.1. Zurückführung der Klüfte im Westteil auf eine gemeinsame Ursache	107
7.1.1. Klüftung im Almkanal-Stollen	108
7.1.2. „Der Sunk“	108

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. GEORG HORNINGER, Technische Hochschule Wien, Institut für Geologie, Karlsplatz 13, 1040 Wien.

	Seite
8. Berggrundwasser und Kluftwasser über dem Ruhespiegel	110
8.1. Berggrundwasser	110
8.2. Kluftwasser über dem Ruhespiegel	112
8.2.1. Kalksinter	113
8.2.2. Dauernd nasse Großklüfte im Neutor und in der Einfahrtskaverne	114
8.2.3. Vorrang der Klüfte gegenüber Schichtfugen als Wasserleitungsbahnen	114
9. Zusammenschau zu Klüftung und Wasserführung in den Kavernen	115
10. Steilklüfte im ehemaligen Steinbruch über dem Neutor	116
10.1. Die Großklüfte als Warner vor möglichen Veränderungen in der Nagelfluh	116
10.1.1. Bergstürze am Mönchsberg	117
10.2. Untersuchung der Klüfte über dem Neutor	117
10.3. Hinweise auf Erstreckung und Bildungsweise dieser Klüfte	122
10.4. Überlegungen zum Entwurf des Kluftüberwachungssystems im stadtseitigen Wandbereich	124
10.5 Bisherige Ergebnisse der Kluftüberwachungen	127
11. Dank	127

Zusammenfassung

In der Nagelfluh des Mönchsbergs in Salzburg werden derzeit große Garagenkavernen gebaut. Ein weitverzweigtes System alter Luftschutzstollen auf Straßenniveau der Stadt enthüllte in seinem vorgeschobenen, westlichen Eckbereich eine örtliche Häufung dm-weiter, mit Lehm und eingeschwemmtem, glimmerführenden Sand gefüllter Klüfte. Diese setzten dem Projektbereich „Mönchsberg-Nord“ eine klare Grenze nach W und NW. Der Vergleich der Raumstellung dieser Klüfte mit jener von Großklüften im benachbarten Abschnitt der Mönchsbergwand und an Aufschlüssen auf dem Plateau sowie im Almkanal-Stollen weist auf weiträumige Zerrung in der Nagelfluh hin. Diese wird als Folge örtlichen Nachgebens der wenige Meter unter Straßenniveau anstehenden Liegendgesteine gedeutet. Im Ostteil des Luftschutzsystems war man im Jahre 1943 nichtsahnend bis auf 80 cm Felsstärke an eine mit Manganoxid-Schlamm ausgekleidete, natürliche Versturzhöhle mit kuppelförmigem Dach herangekommen. Die Höhle verriet sich nur durch eine örtlich etwas klaffende Einzelklüfte in der Ecke einer der Luftschutzkammern. Kurze Beschreibung der Ergebnisse aus Aufschlußbohrungen 1972 und 1973 sowie aus zwei kurzen Erkundungsschächten. Ergebnisse aus den Wasserstandsmessungen bis Juni 1974 in den Bohrungen und im Grundwassertümpel in der Höhle. Geologische Überlegungen zum Konzept eines verlässlichen, unkomplizierten und in Herstellung und Dauerbetrieb sparsamen Meßsystems zur Überwachung von steilen Großklüften in den stadtseitigen Mönchsbergwänden. Bisheriges Ergebnis aus den Messungen an diesen Klüften.

Argumente, daß bestimmte große Klüfte in Wandnähe sicher von oben nach unten fortschreitend aufgerissen sind.

1. Einleitung

Als der Autor in Zusammenarbeit mit Dr. W. DEMMER die geologischen Vorarbeiten für Garagenkavernen im Mönchsberg in Angriff nahm, schien es sich in baugewissenschafter Hinsicht zunächst um eine Routinearbeit zu handeln. Es war ohne scharfe Trennung der Aufgaben vereinbart worden, daß sich Dr. DEMMER hauptsächlich mit den Bohrungen und der obertägigen Kartierung befassen sollte, während sich der Autor mehr der Aufnahme der Stollen zuwenden wollte.

Der ganze frei sichtbare Teil des etwa 70 m hohen Mönchsbergs besteht aus Nagelfluh. Sie wird einer Deltaschüttung aus dem Riß-Würm Interglazial zugeordnet. Fast an allen Seiten des Berges ist sie in Steilwänden, die vom Plateau bis zum Straßenniveau der Altstadt bzw. des westlichen Vorortes Riedenburg reichen, aufgeschlossen. Schon auf Grund der Beobachtungen älterer Autoren war damit zu rechnen, daß die Nagelfluh in dem für die Kavernenprojekte wesentlichen Bereich unmittelbar nördlich und südlich vom Neutor teils Grundmoränen, teils fluvioglazialen Sedimenten und Gosaugesteinen mit sehr unregelmäßig gestalteter Grenzfläche seicht aufruht. Das Durchstreichen der Grenze zwischen Kalkalpin und Flysch unter den pleistozänen Sedimenten der Füllung des Salzachtales ist erst einige 100 Meter nördlich vom Projektbereich anzunehmen. Der genaue Verlauf dieser Grenze unter dem Mönchsberg ist nicht bekannt, weil dort Bohrungen fehlen. Unmittelbar nördlich vom Neutor befand sich ein weiträumiges System unausgekleidet gebliebener Luftschutzstollen aus dem Zweiten Weltkrieg, ziemlich genau in der Höhenlage, in der nun die Garagen gebaut werden. Es schloß den Projektbereich „Mönchsberg-Nord“ über die ganze Breite des Berges von der Altstadt bis zur Riedenburg auf. Mit diesen geradezu ideal anmutenden Einblicksmöglichkeiten schienen zumindest für den Halbraum über Straßenniveau Überraschungen so gut wie ausgeschlossen zu sein (vgl. Abb. 1).

Zweck dieser Arbeit ist, aus dem nun baueologisch näher untersuchten Teil des Mönchsbergs, der durch die jetzt laufenden Arbeiten unwiederbringlich verändert wird, möglichst viele Beobachtungen über den angetroffenen Ausgangszustand festzuhalten. Darüber hinaus soll auch über das, was der Bau selbst bisher an geologisch Interessantem gebracht hat, berichtet werden. Vieles kann — zumindest derzeit — nur als Beobachtung festgehalten werden, zu der die Erklärung noch aussteht. Die geologischen Probleme, auf die wir stießen, waren so mannigfaltig, zum Teil so unerwartet, daß es vermessen wäre anzunehmen, sie auf Anhieb und ohne Zusammenarbeit mit Fachleuten anderer Arbeitsrichtungen zufriedenstellend lösen zu können.

Im Vergleich zum Bauvorhaben „Mönchsberg-Nord“ erwiesen sich die baueologischen Gegebenheiten im zweiten großen Projektbereich „Mönchsberg-Mitte“ — das ist unmittelbar SE vom Neutor — bisher als erfreulich unkompliziert. Daher beschränkt sich diese Studie im wesentlichen auf die Schilderung der in und um „Mönchsberg-Nord“ angetroffenen Verhältnisse.

Um den Umfang dieses Aufsatzes in Grenzen zu halten, werden Bohrergebnisse hier nur soweit auszugsweise herangezogen, als für das Verständnis der

Legende zu umseitiger Abbildung 1

Grundwasserstände in Bohrlöchern und im GW-Tümpel der Manganhöhle. A — Bis über 20 cm weite, mit Lehm und Sand gefüllte Klüfte. B — Höhle mit der Manganoxidhydrat-Auskleidung. C — Große Vertikalklüfte im ehemaligen Steinbruch über dem Neutor. D — Setzungs-Spaltraum 1943, nach Skizze beim Bundesdenkmalamt Wien. Erkundungsbohrungen nach dem Stande XII. 1973 durch kleine Ringe und Bohrungsnummern (z. B. 35/73) bezeichnet. Bohrungen, in denen GW-Messungen durchgeführt wurden, sind am Bohrpunkt um Vergleichshorizont 420,00 m ü. A. umgelegt.

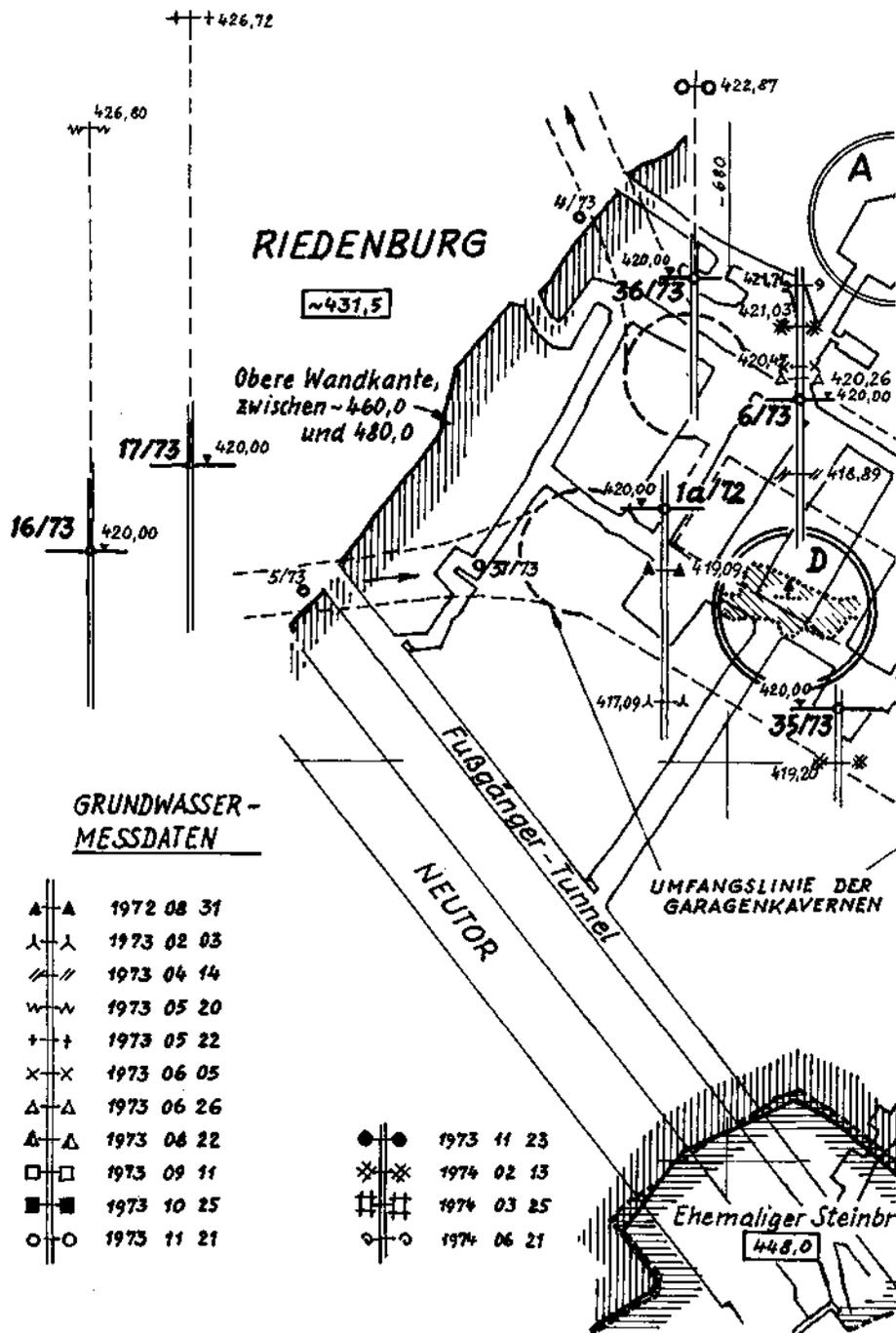
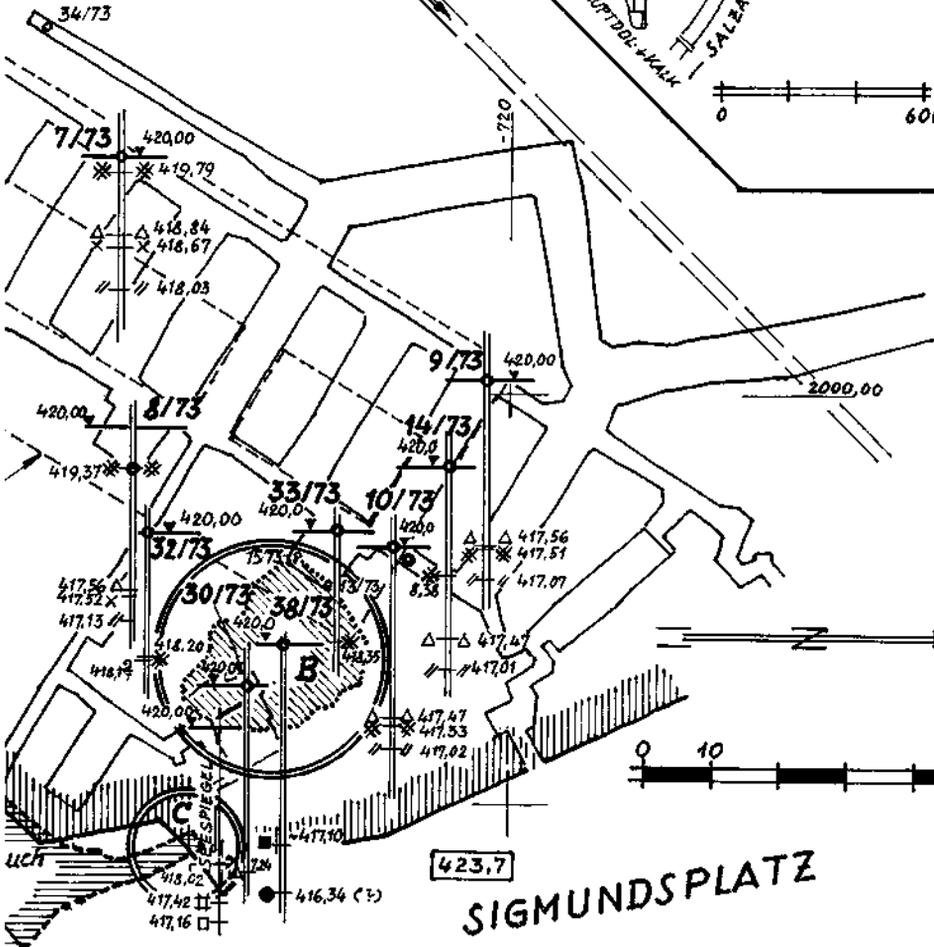
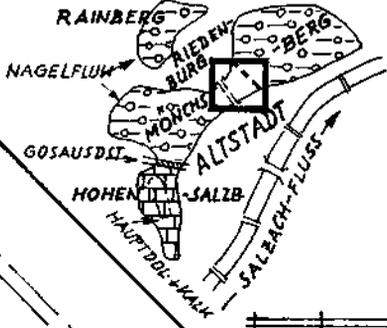


Abb. 1.

Lageskizze der Luftschutzstollen und der Bohrungen zwischen Neutor und Städtischem Arm des Almkanal-Stollens. Stand XII. 1973. Legende siehe Seite 77.

Almkanal - Stellen



SIGMUNDSPLATZ

Zusammenhänge erforderlich ist. Es liegt im Wesen baugeologischer Arbeiten, daß sich die Vorerhebungen mit der bereits anlaufenden Baudurchführung überschneiden und Termindruck stört. Daher mußte leider vieles lückenhaft bleiben. So sind z. B. die Wassermessungen in den Bohrlöchern recht unvollständig. Da aber damit zu rechnen ist, daß kaum eine der Meßstellen auch noch nach Fertigstellung der Hohlgebäude zur Verfügung stehen wird, werden alle Meßdaten, über die wir verfügen, mitgeteilt. Vielleicht können diese Daten später in andere Zusammenhänge sinnvoll eingepaßt werden.

Um nicht unnötig in das Eigenleben und die Eigengesetzlichkeit der Felsmechanik einzugreifen, wurde auf die Überlegungen, die z. B. zur Anordnung und Bemessung der Firstenanker führten, oder auf Details zur Sanierung der „Manganhöhle“ nicht näher eingegangen.

1.1. Geologische Unterlagen, Literatur, Karten

An geologischen Unterlagen standen die allgemeine Fachliteratur über Salzburg, sowie Arbeiten, die sich auf den Mönchsberg beziehen zur Verfügung. Diese Forschungen reichen zeitlich von E. FUGGER bis W. DEL-NEGRO und TH. PIPPAN. In das Literaturverzeichnis wurden nur jene Arbeiten aufgenommen, die spezielle Berührungspunkte zu den hier behandelten Fragen haben. An modernen geologischen Karten aus der Zeit nach E. FUGGER standen die von der Geologischen Bundesanstalt, Wien, herausgegebenen Blätter „Geologische Karte der Republik Österreich, Blatt 63, Salzburg“, 1 : 50.000, bearbeitet von G. GÖTZINGER, Wien 1955 und die „Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg“, 1 : 50.000, bearbeitet von S. PREY, Wien 1969, zur Verfügung.

1.2. Übernommene Bohrungen 1972

Bei Aufnahme unserer Arbeiten konnten wir auf 3 Untersuchungsbohrungen aus dem Jahre 1972 zurückgreifen. Eine dieser Bohrungen, Nr. 1 a/72, war von einem der Luftschutzzollen aus vertikal abgestoßen worden. Nach Bohrkastenaufnahme DEMMER durchfuhr sie ab Bohrlochoberkante 430,79 m ü. A. bis 33,80 m Tiefe, das ist 396,99 m ü. A., teilweise feste, überwiegend aber weich gebundene Schichten der Nagelfluh und darunter bis zur Endteufe 52,00 m, das ist 378,79 m ü. A., weiche rote und graue Gosauergel und -sandsteine, schließlich 2,5 m hartes Gosaukonglomerat.

Bohrung 2/72 war als Vertikalbohrung im Freien, dicht am Wandfuß der SW-Flanke des Mönchsbergs, 70 m ESE vom Neutor angesetzt. Ab Bohrlochoberkante auf 432,50 m ü. A. durchfuhr sie bis 2,60 m Nagelfluhschutt und dann bis 10,00 m hell gelbbraunen, fast steinfreien Seeton. Darunter stieß die Bohrung durch graue und rote Feinsandsteine, Mergel und Konglomerate der Gosau. Endteufe 25,00 m, entsprechend 407,50 m ü. A. Kernkastenaufnahme durch G. RIEDMÜLLER und G. HORNINGER.

Die dritte der 3 Bohrungen, Nr. 3/72, war nahe der vorigen, 40 m ESE vom SW-Portal des Neutors ab Wandfuß 70° steil gegen den Berg gebohrt worden. Das Bohrgut aus den oberen Metern war schwer deutbar. Am ehesten entsprach es einer ehemals aufgeweichten Moräne, in die Brocken aus der Nagelfluh einge-

sunken sind. Erst ab 9,90 m. entsprechend zirka 421,50 m ü. A. stand sichere Mönchsberg-Nagelfluh an und ab 17,30 m, das ist 414,30 m ü. A. folgten bis zum Schluß der Bohrung bei 20,00 m Gosausandstein und -konglomerat. Obwohl die drei Bohrungen auf engem Raum beisammen lagen, ergaben sie also wenig Gemeinsames. Sie bestätigten die Annahme vom ungleichmäßig gearteten Untergrund der Nagelfluh und, bei aller Verschiedenheit der Höhenlage ihrer Unterkante, die seichte Lage der letzteren unter Straßenhöhe.

2. Erste Feststellungen

2.1. Weite Klüfte im Berge (siehe auch Abschnitt 7)

Mit der einführenden, gemeinsam durchgeführten Geländebeschau in den Luftschutzanlagen nördlich vom Neutor bahnten sich bereits die ersten Überraschungen an: nahe der Westecke des Systems der Luftschutzstollen hatte man 1943 ersichtlich eine Erweiterung nach Nordwesten angestrebt. Man war aber aus der sonst durchwegs kluftarmen Nagelfluh in ungewöhnlich stark zerklüftetes Gestein geraten. In diesem war es entweder schon bei den Vortriebsarbeiten in der Kriegszeit oder in den Jahren seither zu einem großen Firstenbruch aus dem örtlich überwiegend weich-lehmig gebundenen Konglomerat gekommen. Ein von dieser Kammer noch weiter nach NW begonnener Richtstollen war bereits nach wenigen Metern in einem Gewirr dm-weiter, mit weichem, rötlichen Lehm gefüllter Großklüfte aufgegeben worden (vergl. Tafel 2). Das Gestein war also in dieser westlichen Erweiterung des Luftschutzstollensystems ungleich ungünstiger beschaffen als im übrigen, baueologisch anscheinend gutartigen Bereich. Auch das nun schon 200 Jahre alte, roh belassene Neutor, ein breiter, hoher Straßentunnel mit einem „unmöglichen“, beiderseits unterschrittenen Querprofil, der die Altstadt von Salzburg mit dem westlichen Vorort Riedenburg verbindet, ist in sehr gutem Erhaltungszustand. Der Firstentorkret im Neutor wurde erst nach dem Zweiten Weltkrieg zum Abdrängen von Tropfwasser aufgebracht (vgl. W. F. Z., 1948).

Aus jenem anfänglichen Befund über das Vorhandensein eines an zahlreichen Großklüften gelockerten, nicht standfesten Felsbereichs, ergab sich mithin von Haus aus eine Begrenzung für das Garagenprojekt gegen NW. Die unmittelbare Folge dieser Beschränkung in der Planungsfreiheit war, daß man die Längsachsen der Garagen von „Mönchsberg-Nord“ fast parallel zum Schichtreichen der Nagelfluh legen mußte. Die zweite, schlimmere, war, daß man später mit dem Projekt nicht mehr weiter nach NW rücken konnte (vgl. Abschnitt 9).

2.2. Geotechnisches Verhalten der Nagelfluh

Die Luftschutzanlagen waren in Sprengarbeit hergestellt worden. Sie haben sich, wie erwähnt, abgesehen von der W-Ecke unausgekleidet und ohne jede Nagelung praktisch nachbruchfrei gehalten, obwohl die Stützweiten der Gänge zum Teil 7,5 m bei 3 bis 5 m freier Raumhöhe betragen. Dieser Befund ist bemerkenswert, weil die Nagelfluh weitaus überwiegend nur weiches, sandig-mergeliges bis sandig-toniges Bindemittel hat und die härtende Kalkinfiltration

lagenweise nur verschieden stark wirksam wurde. Er ist um so beachtlicher, weil den Konglomerat- und Grobsandsteinlagen der Nagelfluh nicht selten cm- bis dm-starke, ersichtlich nur schwach bis nahezu unverkittet gebliebene Sand- oder Gerölllagen, im Mittel in Abständen von 50 cm bis zu wenigen Metern eingeschaltet sind. Aufspaltungen nach solchen dünnen Zwischenschaltungen konnte man dort, wo Grenzflächen zwischen Schichtbänken in der Firste angeschnitten wurden, wohl beobachten. Sie klapften am Außensaum bis zu 3 mm weit. Tief konnten solche offene Trennfugen aber nicht reichen, sonst hätten sich unbedingt Nachbrüche ereignen müssen. Offenbar hatte man die Gestaltung der Firsten der Luftschutzzollen in solchen kohäsionsarmen Lagen gezielt an diese angepaßt. Der Erfolg der von J. STINI wiederholt empfohlenen, naturnahen Anpassung von Ausbrucharbeiten an die strukturellen Gegebenheiten war hier nicht zu übersehen.

Seitdem nun im Jänner 1974 die Ausbrucharbeiten für die Herstellung der Garagenkavernen aufgenommen worden sind und die bis dahin wenig durchlüfteten, mehr minder temperaturkonstanten Luftschutzzollen mit fast 100% rel. Feuchtigkeit der frischen Zugluft und künstlicher Bewetterung ausgesetzt wurden, haben sich die Aufspaltungen nach den Schichtfugen rasch vermehrt. Wie zu erwarten, ist es örtlich bereits zu kleinen Firstennachbrüchen gekommen. (Dabei ist nicht immer im Nachhinein zu klären, ob sie spontan oder erst durch die Bautätigkeit zustande gekommen sind.)

Recht auffallend waren besonders in der feuchten Westhälfte der Kavernen nördlich vom Neutor die vielen Kalksinterausscheidungen, zum Teil leichte Fahnen, z. T. aber auch 1 bis 2 cm starke, harte, wanddeckende Krusten. Sie alle konnten sich erst nach Herstellung der Luftschutzzkavernen, also ab 1943 gebildet haben. Mit der Zeit lernten wir, die oft sehr unscheinbaren, an den gealterten Stollenwänden zunächst schwer erkennbaren Kluftrisse nach den Sinterbahnen aufzuspüren.

Es waren wohl in der Westhälfte des Luftschutzsystems viele Tropfstellen, aber keine einzige Stelle, an der selbst in der nassen Jahreszeit ein kontinuierlicher Wasserfaden oder gar eine Quelle zustande gekommen wäre. Vgl. Abschnitt 8.2.2. Wie schon aus der Lage der Luftschutzzkavernen auf Straßenplanum bzw. altstadtseitig 3 m darüber, zu erwarten, tauchten sie mit keinem Anlagenteil in den Grundwasserspiegel ein. Einen ersten Hinweis auf dessen Tiefenlage im Berge lieferte die Bohrung 1a/72. Dort wurde zu Anfang März eine Spiegellage von 417,09 m, also zirka 12 m unter dem Straßenplanum des Neutors festgestellt.

Aus den Berichten der Bohrunternehmung ging hervor, daß die bereits erwähnte Bohrung Nr. 1 zweimal angesetzt werden mußte (daher dann Nr. 1a/72). Beim ersten Versuch war nämlich das Bohrloch in sehr weich gebundenem Konglomerat bei Erreichung von 12 m Bohrtiefe eingestürzt; ein Umstand, der nach der offensichtlich guten Standfestigkeit der Nagelfluh in den Stollen nicht ohne weiteres zu erwarten war. In nur etwa 20 m Abstand von dieser Bohrung verbinden Stollen; die praktisch quer zum Streichen der Nagelfluh liegen, die Luftschutzanlagen mit dem Neutor. Man konnte sich also auf den Meter aus-

rechnen, wo die gleichmäßig fallenden Schichtpakete, in denen die Nagelfluh weitgehend zu Geröll und schluffigem Sand zerbohrt worden war und wo schließlich die Bohrlochwand einstürzte, diese Stollen schneiden mußten. In diesen war aber nichts zu sehen, was irgendeinen Verdacht auf schlechtere Kornbindung gerechtfertigt hätte. Das war ein erster Hinweis, der durch spätere Bohrungen bestätigt wurde, daß die vom Bergwasser stärker durchsickerten Zonen im Niveau unter dem Sohlplanum der Luftschutztollen, also im Bereich seinerzeit höherer, und heutiger Grundwasserstände unverkalkt geblieben sind oder — wie der Autor eher annimmt — sekundär entkalkt wurden¹⁾.

3. Künstliche Aufschlüsse 1973

3.1. Bohrungen

Auf Grund der vorläufigen Erkenntnisse aus den angeführten Voruntersuchungen und der 3 Bohrungen aus dem Jahre 1972 wurden — nun schon auf den Projektbereich bezogen — für „Mönchsberg-Nord“ 9 Bohrungen, 7 im Berge, 2 am südwestlichen Bergfuß, angesetzt. Dem technischen Zweck dieser Bohrungen entsprechend begnügte man sich aus wirtschaftlichen Überlegungen mit einer Bohrlochtiefe von 15 m u. Gel. bzw. unter LS-Kavernensohle. Man ließ dabei von vornherein offen, im Zweifelsfalle auch einige Meter tiefer zu gehen. Eine der Bohrungen, die dem aus der Projektsidee ausgeschlossenen, von Großklüften zerstückelten NW-Feld am nächsten lag (BL. Nr. 6/73) wurde vorsichtshalber von vornherein auf 20 lfm Tiefe geplant.

Diese 9 Kernbohrungen sollten nach unseren ersten Vorstellungen so viele zusätzliche Erkenntnisse bringen, daß man über das inzwischen bereits fertiggestellte, unverbindliche Vorprojekt hinaus nun vertretbare Ausschreibungsgrundlagen erlangte.

Hauptzweck der 5 Bohrungen in die Kavernensohle war, den Gesteinsaufbau unter den Luftschutztollen und hier wieder besonders den kritischen Kontaktbereich an der Sohle des Konglomerats zu erfassen. Aus den Aufnahmen älterer Autoren, unter anderem E. FUGGER & C. KASTNER (1885) bis TH. PIPPAN (1958, 1960, 1963), sowie aus Bohrbefunden aus der Bauzeit des Neuen Festspielhauses, ferner aus den uns zur Verfügung stehenden Kernen und den Bohrrapporten der paar Bohrungen aus dem Jahre 1972 war als sicher zu erwarten, daß auch im Gelände vor dem Berge bis dicht an die Wand heran komplizierte und z. T. technisch ungünstige Baugrundverhältnisse vorliegen dürften. Für die Tiefenlage und Gestalt der Unterkante der Nagelfluh unter dem Berge selbst gab es kaum Anhaltspunkte. Welches Gestein im Berge nun tatsächlich als Liegendes der Nagelfluh zu erwarten sei, ob unmittelbar die Kreidesedimente, ob eine Zwischenschaltung von Grundmoräne oder von Stauseeablagerungen, war aus der einen verfügbaren Bohrung Nr. 1a/72, nicht verallgemeinernd vorauszusagen.

¹⁾ Diese zunächst mehr akademische Vermutung hat sich sehr bald nach Einreichung dieses Manuskripts als Tatsache mit äußerst störenden Folgeerscheinungen bewahrheitet.

Unter den gegebenen Voraussetzungen und wegen des Termindrucks hielten wir für eine erste, rasche Abtastung des Untergrundes Bohrungen für zielführender als Schächte. Frühzeitiges Erkennen der Variationsbreite der geotechnischen Gegebenheiten war das Wichtigste, wenn auch gewiß war, daß von Stollen- oder Schachtaufschlüssen verlässlichere Aussagen über Beschaffenheit und Struktur weicher Gesteine zu erwarten seien als aus Bohrungen. Wir beiden Geologen waren uns von vornherein darüber im klaren, daß sich im Laufe der Arbeiten aus den ersten fünf abwärts gerichteten NX-Bohrungen im Berge sehr wahrscheinlich neue Fragen ergeben werden, die, wie auch sonst so häufig, zu einer Ausweitung des ursprünglichen Minimalprogrammes führen würden. So kam es auch; einerseits weil die Auswertung des Bohrgutes — NX in weich gebundener Nagelfluh mit Geröllen bis 8 cm \varnothing und darüber! — und der Vergleich dieser Ergebnisse mit den Bohrrapporten da und dort zu keinen befriedigend sicheren Aussagen reichte, andererseits weil sich aus dem erbohrten Material neue Verdachtsmomente ergaben.

3.1.1. Kritik an Bohrungen

Über Wert und Unwert von kleinkalibrigen Untersuchungsbohrungen (um NX) ist schon viel geschrieben worden, auch darüber, daß in jedem Falle Art und Struktur des Gesteins und die speziellen Fragestellungen wesentlichen Einfluß darauf haben, wieweit die Bohrbefunde befriedigende Informationen liefern können oder nicht. Weich gebundene Nagelfluh nach Art jener, wie sie zum großen Teil bei den Aufschlußbohrungen im Mönchsberg durchfahren wurde, gehört zweifelsohne zu den Gesteinsarten, die selbst bei sorgfältiger, zweckentsprechender Anwendung des Doppelkernrohrs und fallweise auch reiner Trockenbohrung, der technischen Deutbarkeit der Ergebnisse aus dem Bohrgut enge Grenzen setzen. In Schachtaufschlüssen genau an Stellen, an denen zuvor Bohrungen ausgeführt worden waren, konnte unmittelbar verglichen werden. Es ergab sich z. B., daß Meter-Strecken, aus denen überhaupt nur Gerölle und zerbohrtes, lehmig-sandiges Material anfielen, aus einem tatsächlich zwar weichen, bindemittelreichen Konglomerat stammten, daß dieses aber in der Schachtwand nun schon durch 9 Beobachtungsmonate trotz Austrocknung im natürlichen Luftzug unausgekleidet und ungesichert ohne jeden Nachbruch steht.

„Fest“ und „nicht fest gebunden“ sind bei einer Nagelfluh relative Begriffe, die nur in Beziehung zu einer gegebenen Beanspruchungsart sinnvoll sind. Gestein z. B., das im bergfeuchten Zustand nach dem Aussehen und nach der Hammerprobe durch den Geologen als ausgesprochen weich gebunden anzusprechen war, das sich in der Kernbohrung sicher überwiegend auf Geröll und sandig-schluffige Matrix zerbohrt hätte, erwies sich gegenüber schlagender Beanspruchung durch die hartmetallbewehrten Stifte des rasch rotierenden Fräskopfes am Alpine Miner AM 50 als erstaunlich fest. Die Gerölle, ob Karbonat, ob Gneis oder Hornstein wurden meistens glatt abgeschlagen, ohne daß eine Lockerung des in der Abbauwand verbliebenen Geröllrestes in der ihn umgebenden Grundmasse zu bemerken gewesen wäre.

Der Erfolg einer Kernbohrung in der Nagelfluh ist sicherlich von vielen, im einzelnen schwer überschaubaren Einflußgrößen abhängig. Die Kronenart, die Umdrehungszahl, der Gerölldurchmesser und nicht zuletzt die Zufallslage eines Gerölls zum Schneidkörper der Krone kommen z. B. zu den eigentlichen Gesteinseigenschaften als bestimmende Faktoren dazu. Geologischer Bohrkastenaufnahme allein, auf die man leider in der Praxis häufig angewiesen bleibt, kann daher in solchen Gesteinen nie volle Aussagekraft beigemessen werden. Zumindest muß man die Gefahr grober Auslegungsfehler einkalkulieren. Der sog. „Kerngewinn“ ist bestenfalls ein „Bohrgutgewinn“. Für die Ermittlung der vertraglich geforderten Zentimeter-Maße oder des Prozentwertes an „Kerngewinn“ kommt es dann darauf an, wie dicht oder wie locker das, was aus dem Bohrloch — und als Nachfall auch aus der Bohrlochwand — herausgekommen ist, im Bohrkasten zusammengeschart ist. Natürlich galten diese Überlegungen mutatis mutandis auch für die Stauseesedimente, für mehr minder umgeschwemmte Moräne usw. Es ließ sich dabei gar nicht im einzelnen sagen, wieweit unsichere Aussagen aus schwer deutbarem Bohrgut im einen Falle tatsächlich auf das Konto kaum vermeidbarer Verfahrensmängel gingen und wieweit sie durch das Vorliegen natürlicher Gesteinsvermengungen als Folge des Einsinkens von Deltaschottern in weichen Seeschlamm oder in durchweichte Grundmoräne bedingt waren. Einzelne faustgroße Gerölle in einer mehrere Meter langen Kernsäule aus erhärtetem, schlammigen Sediment konnten nur als solche eingesunkene Gerölle gedeutet werden.

Die viel zitierte und selten eingehaltene Binsenwahrheit, daß guten, sofort am Bohrpunkt getätigten Aufschreibungen des Bohrmeisters über seine Beobachtungen oft mehr Bedeutung zukommt als dem Inhalt der Kernkisten, traf für die Nagelfluh des Mönchsbergs voll zu. Solche Notizen eines aufmerksamen Bohrmeisters — und bei weitem nicht die Informationen aus den brav geführten Kernkisten — gaben unter anderem den Ausschlag für die richtige Bewertung der so entscheidenden Bohrung Nr. 30/73. Über der Bohrung wurde der Schacht angesetzt, der die Manganhöhle erschloß! Bohrungen ja; man kommt ohne sie auch dann nicht aus, wenn im einzelnen viel daran zu kritisieren ist. Man muß sich nur im gegebenen Falle klar sein, was sie bieten können und wo ihre Grenzen sind.

3.1.2. Überlegungen zur Begrenzung der Bohrtiefen

Im großen und ganzen liegt die Sohlhöhe der LS-Kavernen in der Anlage Mönchsberg-Nord im altstadtseitigen Viertel ziemlich genau auf Höhe der Ausbruchsohle der geplanten Kavernen. Gegen SW, zur Riedenburg, schneidet die Ausbruchsohle der neuen Hohlgänge zunehmend, bis schließlich 6 m unter die Luftschutzzollen ein. Unsere Überlegung ging dahin, daß dann, wenn durch die Untersuchungsbohrungen noch unter der Projektsohle 7 bis 10 m Nagelfluh nachgewiesen sind, dies praktisch als Gewähr für eine ebenso starke, zusammenhängende Platte aus diesem Gestein betrachtet werden dürfe. Von einer solchen „Sohlplatte“ hätten wir erwartet, daß sich in ihr alle Spannungsumlagerungen um die zu schaffenden, großen Hohlgänge schadlos abspielen werden und daß

sich in ihr der sekundäre Stützring ausbilden könne. Weitere Rückwirkungen auf den noch tieferen Untergrund, wie immer der auch beschaffen sein möchte, wären nicht mehr zu befürchten gewesen. Es kam dann zum Teil anders als gedacht.

Im Felsbereich über der Firste der Luftschutzztollen war zumindest bis in die Zone, die dort noch für das Zustandekommen eines natürlichen Traggewölbes in Frage kommen konnte, keine Überraschung zu erwarten. Die Deltaschichtung in den Stollen und an den Mönchsbergwänden erlaubte ja ausreichend sichere Extrapolationen. Daher begnügte man sich zur Erkundung nach oben mit 2 Schrägbohrungen. Sie wurden so angesetzt, daß sie spezielle Fragestellungen der Felsmechanik zu beantworten erlaubten.

3.1.3. Warum nicht praktische Geophysik?

Die Frage liegt nahe, warum man denn für die Erkundungsarbeiten außer der geologischen Aufnahme der frei sichtbaren Oberflächen über und unter Tage, außer Bohrungen und der Herstellung zweier kurzer Schächte nicht auf geophysikalische Methoden, Seismik und Geoelektrik, zurückgriff. Gewiß wurde dies frühzeitig in Betracht gezogen. Geophysik kam erneut ins Gespräch, als es darum ging, sich nach dem Bekanntwerden der beiden Hohlräume im Untergrund über Methoden schlüssig zu werden, um möglichst rasch und ohne Störung des laufenden bergmännischen Betriebes, dazu mit ausreichender Halbmeter- oder auch nur Metergenauigkeit bis dahin unentdeckte Hohlräume unterhalb des bis damals aufgeschlossenen Bereichs sicher zu orten. Im Mönchsberg wären sowohl die Seismik als auch die Geoelektrik überfordert gewesen, denn für beide Methoden fehlten mehrere grundsätzliche Voraussetzungen zu einer nützlichen Interpretation. Sowohl der Umstand, daß die vertikalen Mönchsbergwände von keinem denkbaren Meßpunkt im Berge weiter als 100 m entfernt sind als auch die Existenz des großquerschnittigen Neutors und der ausgedehnten, kreuz und quer laufenden Luftschutzztollen im Meßniveau waren ungünstige Gegebenheiten. Dazu kam die anfänglich weitgehende Unkenntnis dessen, welche Art Grenzfläche überhaupt im Untergrund als Refraktionshorizont oder was als deutlicher Störkörper in geoelektrischer Hinsicht wirksam werden könne. Als man später, nach Erfassung der (bis jetzt) zwei Hohlräume erkannte, worin eigentlich die für den Bau maßgebenden Schwierigkeiten bestehen, auf deren präzise Ortung es angekommen wäre, wurde die Sache nicht besser. Die mehr minder kuppelförmigen, isolierten Hohlräume entsprachen auch nicht in größter Annäherung dem Ideal der Platte mit ebener Grenzfläche gegen ein sie unterlagerndes, schallhärteres Medium. Vermutlich hätte die Grenzfläche von „fest“ gegen „Luft“ an so einem Hohlraum schon irgendeine Auswirkung auf das seismische Verhalten gehabt. Von dieser aber bis zur praktisch verwertbaren Interpretation wäre es noch weit gewesen. Einer Erarbeitung von Grundlagen für Deutungen stand aber der Termindruck entgegen. Eher hätte die Geoelektrik die hohlen Störkörper als solche erfassen können. Die Aussicht, sie durch Messungen in einem schon teilweise ausgehöhlten Berge brauchbar zu lokalisieren, haben wir aber für gering eingeschätzt.

3.2. Die Bohrergebnisse

Hier werden die Bohrergebnisse nur soweit berührt als notwendig ist, um das Gesamtbild abzurunden und die Abfolge der Erkundungsschritte verständlich zu machen. Vergleiche Abbildung 1.

Zwei Bohrungen, Nr. 4/73 und 5/73 waren im Freien auf der riedenburgischen Seite dicht vor der Bergwand als steil bergwärts absteigende Schrägbohrungen zur Erkundung des Baugrundes für die Ein- und Ausfahrtröhren hergestellt worden. Sie sollten auch klären, ob vor der teilweise künstlich gestalteten Mönchsbergwand überhaupt ein Konglomeratsockel vorhanden ist, wie tief dieser reicht und was darunter liegt. Die uns zur Auswertung überlassenen Kerne der älteren Bohrungen 2/72 und 3/72, die beide ebenfalls dicht vor dem Berge angesetzt waren, ließen erwarten, daß dem Steilabfall kein breiterer Konglomeratvorfuß vorgelagert sei. Die Bohrung 4/73, Oberkante 432,60 m, lieferte bis lfm. 7,45, entsprechend 425,44 m ü. A. Nagelfluh-Bohrgut, zum Teil als Kerne, z. T. als zerbohrtes Sand-Kiesmaterial. Daran schloß sich bis 428,87 m ü. A. unverkitteter Mittelsand. Unter diesem folgte nach einem schwer deutbaren Übergangsbereich, aus dem die Kernproben teils als lehmiges Konglomerat, teils als schluffiger Sand unklarer Herkunft aufgefaßt werden konnten, eine Zone, aus der eine knetbar weiche, tonig-schluffige, hell gelbbraune Masse in mehrdm-langen Kernen gefördert wurde. Sie wurde in Analogie zu Beobachtungen von TH. PIPPAN (1968) in einer Baugrube für das Neue Festspielhaus als Stauseeton gedeutet. Von 419,25 m ü. A. bis 415,22 (= Ende) blieb die Bohrung in graugelben bis dunkelgrauen, streckenweise karminrot gefleckten, erweichbaren, dünn-schichtigen Mergeln der Gosau.

Die Bohrung 5/73, Oberkante 431,55 m ü. A., erbrachte im zusammengefaßten Bohrprofil bis 427,88 m ü. A. „Nagelfluhschutt“ (die Bohrung liegt unmittelbar vor dem Neutor). Bis 424,50 m ü. A. durchfuhr sie Material, das neben typischer Moräne auch Konglomerat enthielt. Diese Strecke wurde daher als Vermengungszone aus Bergschutt und Moräne aufgefaßt. Darunter folgte bis zur Endteufe auf 417,10 m ü. A. Nagelfluh, die ersichtlich aus dem Anstehenden erbohrt war.

Zwei kurze Orientierungsbohrungen, Nr. 16/73 und Nr. 17/73, je nur 10 m lang, waren etwa 30 m westlich vom Neutor auf dem Hildmannplatz hergestellt worden. Beide hatten in der oberen Hälfte Bergschutt oder alten Tunnelausbruch aus dem Neutor erfaßt und darunter Gestein, das als weiches, zerbohrtes, aber vermutlich anstehendes Konglomerat gedeutet werden konnte. Es ist mithin nach unserem jetzigen Stande der Einsicht nicht auszuschließen, wenn auch nicht gesichert, daß sich gerade vor dem Neutor eine verschüttete Bastion von gewachsener Nagelfluh bereits in geringer Tiefe unter den jungen Schüttmassen und Sedimenten zumindest 30 m weit gegen SW erstreckt.

Die 5 vertikal abwärts gerichteten Bohrungen in den Luftschutzkavernen, Nr. 6/73, 7/73, 8/73, 9/73 und 10/73 wurden so angesetzt, daß sie zusammen mit der älteren Bohrung 1 a/72 den Projektraum Mönchsberg-Nord, der bereits auf Grund unserer geologischen Vorerhebungen gegen Westen abgegrenzt war, locker deckten. Von ihnen kam nur Bohrung 10/73 aus der teils festeren, teils

mehr minder weitgehend zerbohrten Nagelfluh in deren Liegendes. In dieser Bohrung stand von 419,97 m ü. A. bis 417,67 m ü. A. fast reiner Mittelsand an, unter ihm bis zur Endteufe 413,77 m ü. A. Material, das als dichte, schluffig-feinsandige Masse mit vielen kantengerundeten, polierten Geröllen in den Bohrkasten kam. Es wurde als Grundmoräne gedeutet. Zahlreiche z. T. sicher ansprechbare Proben aus späteren Bohrungen in der Nachbarschaft von 10/73 erhärteten dann die Interpretation solchen Bohrgutes als Moräne. Erst die Erkenntnisse späterer Monate, als die Höhle erschlossen worden war, ließen die frühzeitige Feststellung DEMMERS an den Bohrkernen von 10/73, die er zwar sofort als Warnzeichen aufgriff, für die wir aber keine sinnvolle Erklärung hatten, in den Tatsachenzusammenhang einordnen.

(Die beiden erwähnten Schrägbohrungen aufwärts, Nr. 11/73 und 12/73 blieben, nebenbei bemerkt, erwartungsgemäß in der Nagelfluh.)

3.2.1. Ergänzung aus offener Baugrube zu den Bohrergebnissen

In der Künette für den Ausfahrttunnel, die etwa 5 m unter das Straßenplanum der Riedenburg einschneidet, wurden bereits 3 m u. Gel. gut geschichtete, knetbar weiche, rotbraune Nierentaler Mergel und etwas festere, feinschichtige, dunkelgraue Gosauergel genau von der Art wie in der Bohrung 1a/72 angefahren. Die rotbraunen Mergel wurden durch die vorgängig geschlagene Larssenwand stark gestört. Die Gosauergel fallen gerade am Stollenportal unter ungefähr 30° bergwärts unter die Nagelfluh ein. Entgegen dem allgemeinen WNW-Fallen der Nagelfluh des Mönchsbergs ist sie im mittelbaren Auflagerungsbereich auf jenen Gosauergeln zu diesen konkordant ostfallend gelagert. Erst ungefähr 15 m östlich vom Mundloch biegt das Fallen der Nagelfluh in dessen generelle Lage um.

4. Die Manganhöhle

4.1. Entdeckungsgang

Fest stand frühzeitig, daß dem Projektbereich Mönchsberg-Nord gegen W und NW durch Großklüfte eine klare Grenze gesetzt ist, daß aber in dem übrigen, durch die Luftschutzstollen (scheinbar) schon weitgehend geologisch abgeklärten Bereich solche technisch schwer beherrschbare Klüfte fehlen. Damit schien ein über 100 Meter breiter Streifen im Mönchsberg ab Neutor gegen NW auf die volle Breite des Berges, das sind etwa 130 m, geotechnisch problemfreies Projektgebiet zu sein.

Tatsächlich kündigte sich aber bereits das nächste Problem mit einer einzigen Schrägklüft an. Diese nicht besonders auffällige Klüft in Lage 330/42° spaltete das Gestein in einer randlichen Kammer. Die Klüft war bei den frühzeitig durchgeführten, routinemäßigen geologischen Aufnahmen der Luftschutzstollen festgestellt worden. Verdächtig machte sie einmal der Umstand, daß sie als Einzelriß in einem sonst so gut wie klüftfreien Felsbereich auftrat. Zum anderen fiel auf, daß sie gerade in der Ecke der Luftschutzkammer, die sie schnitt, auf etwa 1 m

Länge bis zu 2 cm weit klaffte und daß die Nagelfluh über und unter dieser Kluft wie sonst nirgends in der engeren Nachbarschaft auf Dezimeter zu brotlaibgroßen Scherben gelockert lag. Außerdem hatten sich in den lehmigen Kluftbelag deutliche Rutschstriemen nach der Fallinie des Risses eingegraben. Auch diese waren eine Einzellerscheinung. An dieser Stelle hatte sich also einmal etwas bewegt, offenbar nicht erst nach Fertigstellung der Luftschutzkavernen. Die Striemen ließen nämlich auf eine Verstellung um mehrere Zentimeter schließen, während die Kavernenecke ihre seinerzeit geschaffene, regelmäßige Kantenform ersichtlich unverändert beibehalten hatte. In den Spalt konnte man etwa einen Meter tief hineinsehen. Der Gedanke an eine Felsabsitzung lag also nahe. Die Kluft wurde daher als möglicher Problembereich betrachtet und nähere Erkundung durch eine Schrägbohrung aus der Kavernenecke vorgeschlagen. Die Bohrung erhielt die Nummer 13/73.

Der Ansatzpunkt der Bohrung lag auf 427,06 m ü. A. Bis 420,81 m ü. A. durchfuhr sie Material, das man z. T. als Konglomerat, z. T. als zerbohrtes Konglomerat ansprechen konnte. DEMMER war bei der Kernaufnahme aufgefallen, daß aus einer dünnen Zone eine erdig-humos aussehende Masse, mit Kies vermengt, gefördert worden war. Der Befund war schwer deutbar, weil nicht abzuschätzen war, wie weit erst durch den Bohrvorgang Vermengung mit Fremdmaterial eingetreten war. Von 420,81 m ü. A. bis 420,42 m ü. A. war der Bohrer laut Mitteilung des Bohrmeisters „durchgefallen“. Daran schloß im Bohrkasten bis 417,48 m ü. A. ein hell gelbgraues Material, das als unverkittetes Gemenge einer schluffig-sandigen Masse mit Geröllen aufgefaßt wurde. Schließlich folgte bis zur Endteufe 416,45 m ü. A. moränenartiges Material. Die Deutung des Bohrguts blieb also zunächst mit einigen Fragezeichen behaftet. Diese ließen sich später aus weiteren Zusammenhängen klären. Der springende Punkt, dessen klare Erfassung allein der Aufmerksamkeit des Bohrmeisters zuzuschreiben war, war die Feststellung eines Hohlraumes. Damit hatte der Verdacht des Geologen, daß die erwähnte klaffende Fuge durch ein Absacken der liegenden Partie zustande gekommen sein könnte, einen ersten greifbaren Beleg gefunden; Grund genug, um weiter zu suchen. Nun wurde aus der anderen Ecke jener Kammer auf's Geratewohl eine zweite Schrägbohrung (15/73) abgestoßen. Ohne auf Einzelheiten aus der Kernkastenaufnahme einzugehen, sei das Ergebnis zusammengefaßt:

Von Bohrlochoberkante 426,99 m ü. A. bis 419,85 m ü. A. z. T. festere, z. T. weitgehend zerbohrte Nagelfluh, darin etwa 1,40 m über dem Ende dieser Strecke wieder eine 35 cm starke, „humos“ aussehende Schicht. Von 419,85 m ü. A. bis 419,14 m ü. A. wieder ein Hohlraum. Darunter bis zum Ende der Bohrung bei 416,39 m ü. A. grob vermengtes Material, das nach dem bloßen Aussehen ebensogut als Gemenge aus grauem Seeton und Geröllen, wie auch als Moräne gedeutet werden konnte.

Nun war kein Zweifel mehr, daß im Untergrund jener Luftschutzkammer irgendwelche Hohlräume seien. Ob die beiden Strecken, durch die der Bohrer jeweils durchgefallen war, unmittelbar zusammenhängen, wohin sich der Hohlraum, falls ein solcher durchgehend vorliegen sollte, erstreckte, war aus den

beiden Bohrbefunden noch nicht zu klären. Durch die damals schon hergestellten Bohrungen Nr. 8/73 und Nr. 10/73 war einigermaßen gesichert, daß sich ein solcher Hohlraum von den beiden Leerstellen weg wahrscheinlich nicht in den SSW-WNW-Quadranten oder nach NW in technisch interessierender Tiefe erstrecken werde. Also wurde die weitere Suche gegen Osten hin vorangetrieben. Aus der Westecke der ehemaligen Lazarettkaverne bohrte man als Vertikalloch eine Bohrung Nr. 30/73. Der Bohrer fiel prompt, zunächst einmal von 4,0 bis 6,0 m, dann von 6,6 bis 8,0 m durch. So zumindest lauteten die ersten Angaben des Bohrmeisters. Die angebliche untere Leerstrecke war allerdings nicht mit den sorgfältigen Aufnahmen der Bohrkästen durch DEMMER in Einklang zu bringen. Bis zum oberen Hohlraum war das Material, das im Bohrkasten lag, mehr minder sicher als zerbohrtes Konglomerat zu deuten. Das Bohrgut, das ab lfm 6,0 = 421,59 m ü. A. bis etwa lfm 11,30 = 416,29 m ü. A. folgte, war ein Gemenge aus Konglomeratbrocken, schwarz-brauner erdiger Masse und zerbohrtem Konglomerat. Gegen Schluß der Strecke war das Bohrgut tropfnaß. Dann folgte bis zur Endteufe 412,59 m ü. A. schluffreiche, geröllführende, steife Grundmoräne. Damit war kaum mehr daran zu zweifeln, daß sich in wenigen Metern Tiefe unter den Luftschutzkavernen ein zusammenhängender Hohlraum befinden müsse. Aus Bohrlöchern in geschlossenem, wenn auch klüftigen Gestein könnte eine Fernsehsonde gleich welchen Typs wertvolle Informationen liefern. Im vorliegenden Falle war aber nach der Sachlage aus solchen Beobachtungen keine Antwort auf die entscheidende Frage nach der Gestalt des Hohlraumes zu erwarten, weil die Geräte ja nur Tiefenschärfen bis zu wenigen Zentimetern haben. Nun wurde keine weitere Zeit mit zusätzlichen Bohrungen verloren. Ein Schacht wurde an der Stelle der Bohrung 30/73 angesetzt. Er erschloß eine Höhle von etwa 25 × 25 m Grundfläche ohne natürlichen Zugang. Die E-Ecke der Garagenkaverne schnitt die Höhle noch kräftig an (vgl. Abschn. 9 und Abb. 2 bis 4).

4.2. Beschreibung der Höhle. Höhleninhalt

Das Höhlendach hat Kuppelform. Diese Kuppel taucht allseitig steil in das Grundwasser ab. Ob dieses über offene Spalten oder bloß über enge Klüfte zum salzachseitigen, mit Lockergesteinen aufgefüllten Vorland Verbindung hat, ist nicht bekannt. Sicher ist, daß der Wasserspiegel ohne merkbare Verzögerung die Spiegeländerungen in benachbarten Bohrungen mitmacht. Das kuppelförmige Höhlendach wurde vom Schacht auf halber Höhe durchstoßen (Abb. 2). Den Höhlenboden bildet ein wüstes Trümmerwerk von Nagelfluhblöcken bis über Tischgröße.

4.2.1. Der Manganoxid-Absatz

Von der höchsten Zone der Höhlenkuppel (in deren NW-Teil) abgesehen, ist sowohl das ganze Höhlendach als auch das Trümmerwerk, das die Höhle bis auf $\frac{1}{2}$ bis 4 m freie Raumhöhe erfüllt, schwarz. Das Höhlendach hat etwa von der Schichtenlinie 427,50 m ü. A. abwärts einen zusammenhängenden, wenige Millimeter starken, feinknotigen Überzug aus diesem im bergfeuchten Zustand

braunschwarzen Material. Das Blockwerk, das die nach E steil abfallende Sohle unter jener Kuppel bildet, trägt besonders in Nischen eine bis 20 cm dicke, weichpastenartige Schicht aus dieser Masse. Sie ist äußerst feinkörnig, schmierig und färbt auch in dünnsten Schichten intensiv braun. Wir erinnerten uns, Material

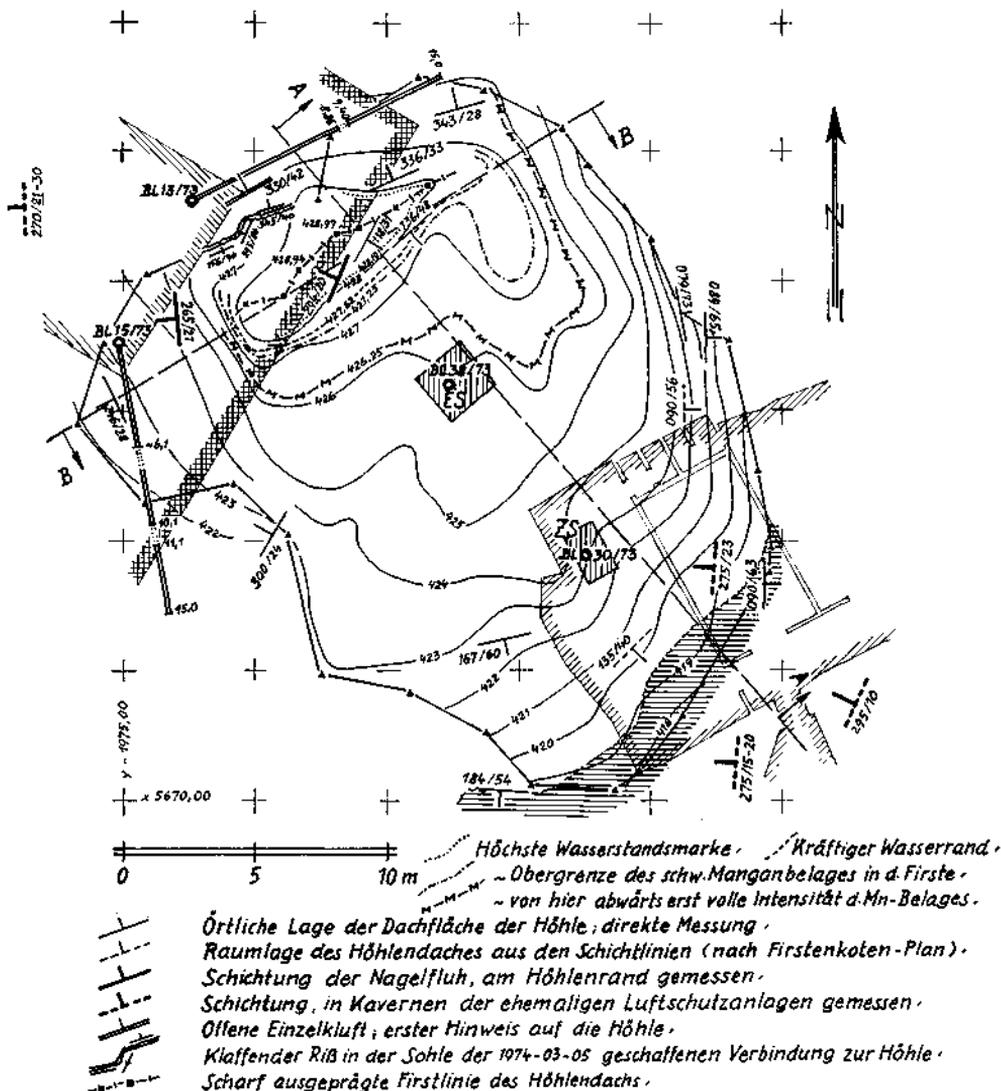
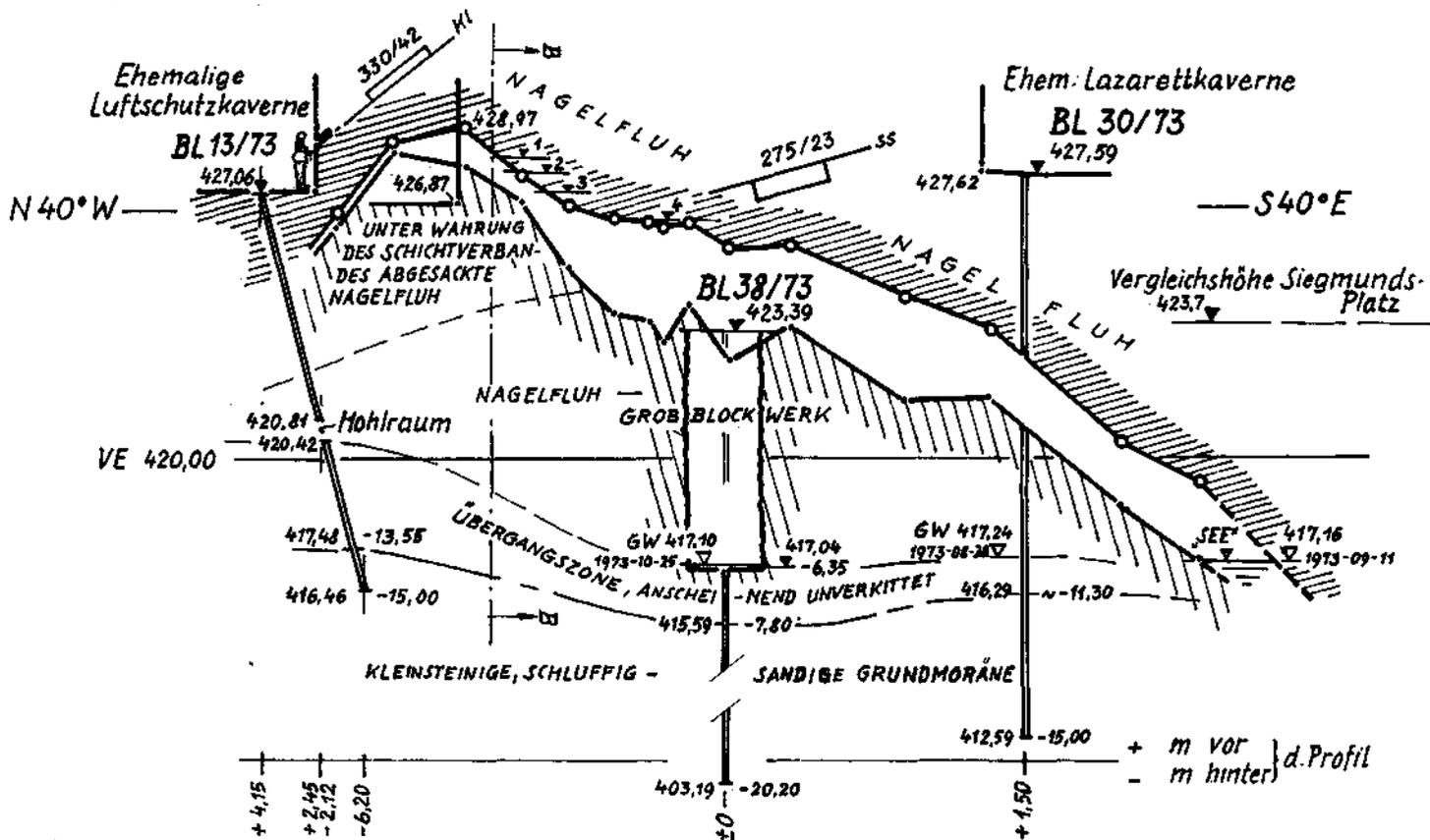


Abb. 2.

Mönchsberg-Seehöhle (Manganhöhle)

Ursprünglicher Zustand der Höhlenfirste. Schichtenlinien auf Grund der geodätischen Aufnahme durch Büro Dipl.-Ing. G. Fleischmann, Satzburg. ZS — Zugangsschacht, ES — Erkundungsschacht.

PROFIL A-A



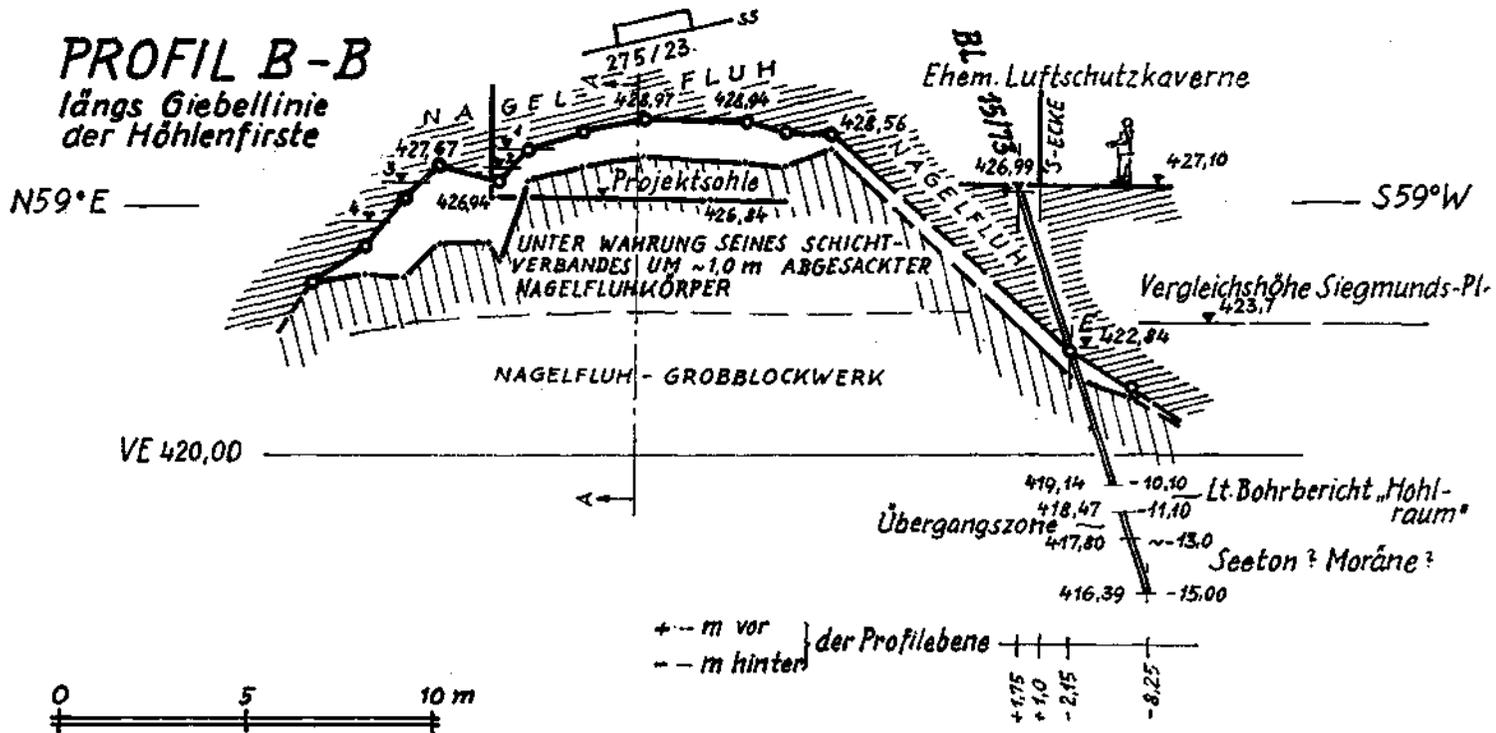


Abb. 3.

Mönchsberg-Seehöhle (Manganhöhle)

Vertikalschnitte A—A und B—B. Bezüglich Schnittlagen vergleiche Abbildung 2. Zustand vor Herstellung der offenen Verbindung zwischen den Luftschutzkavernen und der Höhlenfirste.

Randliche Meßpunkte der geodätischen Aufnahme geradlinig verbunden.

E — Eintrittsstelle der Bohrung in die Höhle, Kluftdarstellung nach L. Müller als Projektion von Quadratrflächen.

Im Profil A—A wurde versehentlich der Zugangsschacht bei BL 30/73 zwischen Lazarettkaverne und Höhlendach nicht eingezeichnet. Vergleiche Abbildung 2.

dieser Farbe als „Schmutzschicht“ unbestimmter Dicke auch schon an Bohrgut aus den Bohrungen Nr. 13/73 und 15/73 angetroffen zu haben. Die ursprüngliche Vorstellung, daß dieses sehr wasserreiche Material — 91,25% H₂O, 8,75% Feststoff nach fünfständiger Trocknung bei 105° C — vielleicht ein Gemenge aus organischem Schlamm und Manganoxid sei, hielten einer Nachprüfung nicht stand. Es handelt sich um rein anorganisches Material. Damit wurde die anfängliche Hoffnung, durch eine ¹⁴C-Bestimmung zu Anhaltspunkten über das Mindestalter der Höhle zu kommen, zunichte. (Freundliche Mitteilung von Herrn Oberass. Dr. H. FELBER, Inst. für Radiumforschung und Kernphysik, Wien.) Herrn Dr. G. RIEDMÜLLER, Hochschule für Bodenkultur, Wien, verdankt der Autor eine halbquantitative Bestimmung des schwarzen Schlammes mit der Raster-Elektronenmikrosonde:

Mn	9000 Impulse
Fe	2500 Impulse
Ca	1500 Impulse
Al	250 Impulse
Si	0 Impulse
Mg	0 Impulse

Eine funkspektrometrische Untersuchung des Materials durch Herrn Dr. K. CONSTANT, Institut für chemische Technologie anorganischer Stoffe, TH Wien, ergab ²⁾:

Ca } Mn }	Hauptgemengteile
Fe	mehrere ‰
Cu, Ni, Mg	je 0,0n ‰
Al	0,0n bis 0,1 ‰
Si	sehr wenig
Cr, Pb, Ba	Spuren

Da der Mn-Überzug am Höhlendach fein krümelig, mit 1 bis 4 mm Krümel-durchmesser ist, schluckt dieser Belag das Licht wie beste Dunkelkammertapete. zumal auch das gesamte Nagelfluh-Blockwerk, auf dem man in der Höhle herumsteigt, ursprünglich, ehe durch Erkundungs- und Bauarbeiten heller Schutt und Gesteinsstaub den schwarzen Belag streckenweise überdeckten, tief schwarz war. Im Höhenbereich um und knapp über dem Grundwassertümpel haben diese Manganablagerungen eine mattglänzende, glatte, horizontale Oberfläche. Sie sind durch fingerbreite Vertikalrisse, typische Schrumpfrisse, in Polygonflächen von Handtellergröße zerlegt. Die Kanten zwischen den Rißflächen und der jeweiligen Oberfläche sind trotz der Weichheit des Materials unverletzt scharf erhalten. Höher oben, 3, 4 oder noch mehr Meter über dem etwa 417 m ü. A. liegenden Grundwasserniveau sind die Polygonkörper dort, wo sie ungeschützt dem Tropfenaufschlag aus der Firste ausgesetzt sind, zu zapfenförmigen, kannelierten Gebilden reduziert. Diese Manganoxid(-hydrat)-Absätze — wie sie zunächst ohne genauer zutreffende mineralogische Kennzeichnung genannt seien —

²⁾ An der Universität Salzburg wurde eine quantitative Analyse des Manganoxid-Absatzes durchgeführt. Sie wird vermutlich von dort aus publiziert werden.

waren auch als teilweise zwickelfüllende Masse zwischen den sperrig gelagerten Nagelfluhblöcken in den Wänden des 6,35 m tiefen Erkundungsschachtes zu sehen, der in der Höhle selbst abgeteuft worden war. Die Tatsache, daß die MnO_2 -Absätze in der Nähe des heutigen Grundwasserspiegels nicht angegriffen, je höher oben aber, um so stärker korrodiert sind, wird wohl als Folge des allmählichen Absinkens des Grundwasserstandes bis auf das in der Jetztzeit erreichte Niveau um 417 m ü. A., das ist $6\frac{1}{2}$ m unter dem Sigmundplatz, zu deuten sein. In den ersten Wochen nach Erschließung der Höhle waren auch in dem ursprünglich glasklaren, völlig ruhigen Grundwassertümpel bis in einige dm Wassertiefe solche über-dm-dicke, in ein Polygonpflaster zerlegte Mn-Absatzkörper zu sehen. Die Beobachtung läuft nun schon $\frac{3}{4}$ Jahre. In diesem Zeitraum haben die Spiegelstände im Tümpel ein flaches Maximum und ein Minimum durchschritten. Es zeigte sich, daß die dicken Manganabsätze — entgegen ursprünglicher Annahme — nicht unter den Niederwasserspiegel reichen. Im Verein mit der mitgeteilten Beobachtung, daß die MnO_2 -Polster die typische, glatte Oberfläche von Absätzen haben, die im Wasser gebildet worden sind, führt das zu dem Schluß, daß der MnO_2 -„Schlamm“ jeweils in der Zone der jährlichen Spiegelschwankung abgesetzt wurde. Ob die Schrumpfrisse unter Wasser durch Synärese zustande gekommen sind oder ob der Volumsverlust außerhalb des Grundwassers erfolgte und sich die Formen nur trotz anschließender Überflutung scharfrandig erhalten haben, sei dahingestellt.

Soviel man sieht, weist das Mn-Sediment keine Spur einer Schichtung auf. Eine Untersuchung des Materials auf eventuell eingeschwemmte Sporen, für deren Durchführung der Autor Herrn Prof. Dr. W. KLAUS dankt, verlief negativ.

Wieso es gerade in dieser Höhle zu der immerhin beachtlichen Anhäufung des manganreichen Absatzes kam, ist noch völlig ungeklärt. Man könnte etwa an selektive Anhäufung des Elements durch Bakterientätigkeit (H. P. CORNELIUS, B. PLÖCHINGER und O. HACKL, 1952; B. PLÖCHINGER, 1952 a), eher noch an rein anorganische Ausfällung denken. In der Mönchsberg-Nagelfluh sind dünne Abscheidungen schwarzer Manganoxidkrusten auf den Geröllen schwach verkitteter Lagen nicht selten. Ob aber der Abbau und Abtransport des Mangans aus solchen dünnen Belägen auf den Geröllen einzelner Lagen selbst dann die Mengen in der Höhle erklärt, wenn man dafür die vermutlich wesentlich größeren Gesteinsmächtigkeiten heranzieht, die vor der Abtragung eines Großteils der Deltaschüttung durch Reiß- und Würmgletscher vorhanden waren, bleibt Spekulation. Daß grundsätzlich dieser Weg des Zuwanderns von Manganoxid(-hydrat) aus Geröllen von Hohlräumen in der Nagelfluh auch ohne Vermittlung des Grundwassers möglich ist, zeigt der Zusammenhang zwischen MnO_2 -verkrusteten Geröllen und dem Firstenbelag eines ausschließlich künstlich hergestellten Kellers über Straßenniveau im Hause Gstättingasse 29. Dort ist auf m^2 -Flächen die Firste mit ebensolchen braunschwarzen Manganoxid-Kröpfchen bedeckt, wie das Dach der „Manganhöhle“. Schließlich wäre auch die Frage, ob das Mangan nicht aus den rotbraunen Nierentaler Mergeln stammen könnte, die die Nagelfluh nachweislich an mehreren Stellen seicht unterlagern, näherer Prüfung wert. Hier bleibt für die Zukunft für Zusammenarbeit verschie-

dener Fachgebiete noch viel zu tun. Nach der Art, wie das braunschwarze Sediment die Hohlräume und Nischen im Grobbleckwerk ausfüllt, ist es sehr wahrscheinlich unter Wasser zumindest umgelagert worden.

4.2.2. Der Grundwassertümpel in der Höhle

An der Stelle, an der der Einstiegschacht die Höhle erreicht hat, ist der Abstand zwischen dem groben Blockwerk und der Firste etwa 2 Meter. Von dieser Stelle aus fällt das schwarz überzogene Blockwerk gegen SE unter etwa 45° ab und taucht auf 417 m ü. A., $6\frac{1}{2}$ m unter dem Straßenniveau der benachbarten Altstadt in das Grundwasser ein. Dieses Grundwasser hat zwischen der ebenso steil abtauchenden Firste und dem Blockwerk einen 2 bis 3 m breiten und an 20 m langen, freien Spiegel. Es bildet den kleinen Höhlensee, der zum amtlichen Namen „Mönchsberg-Seehöhle“ führte. Da nicht die Existenz des kleinen Grundwassertümpels, sondern die reichen Manganoxidabscheidungen das Charakteristikum der Höhle sind, sei sie in dieser Arbeit bevorzugt „Manganhöhle“ genannt.

Aus der geschilderten Tatsache, daß die Manganschlamm-Polygone in Nähe des heutigen Grundwasserspiegels unverletzt, je höher oben aber um so stärker korrodiert sind, darf man auf das relative Alter der Höhle schließen: Sie muß in ihrer heutigen Gestalt im großen und ganzen älter als die Zeit sein, zu der das Grundwasser zum letzten Mal etwa die Kote 427 m ü. A. eingenommen hatte (vgl. Spiegelmarken in Abb. 2 und den Abs. 4.2.3.).

Es scheint, daß die Ausfällung des Manganschlammes jeweils im jährlichen Schwankungsbereich des Grundwassers vor sich ging und daß also dieser Spiegel im Laufe der Zeit allmählich bis auf den heutigen Zustand absank. Nach NW stiegen das Blockwerk und die Höhlenfirste über diesem vom Zugangsschacht weg noch um 6 Höhenmeter an. Da aber die Firste etwas flacher stieg, näherten sich Firste und Blockwerk in dem (inzwischen unter Beton verschwundenen) Scheitelbereich bis auf etwa 70 cm.

4.2.3. Scheitelbereich der Höhle, Wasserstandsmarken

Der höchste Punkt der Höhle lag auf 428,92 m ü. A. Er gehörte einer etwa 10 m langen, WSW-ENE ausgerichteten, fast horizontalen Giebellinie an. Von ihr weg fiel dann die Höhlenfirste unter etwa 30° gegen die Horizontale nach NNW, ersichtlich nach der Schichtung der Nagelfluh. Die Dachform der Firste entsprach genau der Form eines Riesenblocks, der sich aus ihr ohne zu kippen oder zu zerfallen um etwa 70 cm vertikal abgesetzt hatte. Dieser mächtige Klotz von etwa 4 m freier Höhe und gut 10 m Länge war wohl an Kluftrissen gelockert und zerrissen, aber nicht in Teilblöcke zerfallen. In diesen höchstgelegenen Teil der Höhlenkuppel, die in ihrem westlichen Grenzbereich starke Lockerungen und Zerspaltung auf tischplattengroße, dm-dicke Platten aufwies, reichten die geschlossenen schwarzen Mn-oxid-(hydrat-)beläge nicht mehr hinauf. Sie klangen bei 427,25 m ü. A., also $2\frac{1}{2}$ m unter der Giebellinie aus. Aber darüber waren noch rostige Wasserstandslinien zu sehen; eine sehr kräftige auf 427,62 m ü. A. und die oberste, schwächer ausgebildet, aber auf mehrere Meter Länge sicher zu verfolgen, auf 428,10 m ü. A., nur 82 cm unter dem höchsten Punkt der Höhle.

Diese wichtige, oberste Wassermarke fiel bei einer gemeinsamen Begehung zuerst Herrn Ing. J. SENGSTSCHMIDT auf. Einmal festgestellt, war es nicht mehr schwer, sie zu verfolgen und zu dokumentieren. Bis zu dieser Kote 428,10 m ü. A., das ist 4,60 m über dem Straßenplanum Sigmundsplatz muß also die Höhle vor langer Zeit mit Wasser gefüllt gewesen sein.

Es war ein an's Unwahrscheinliche grenzender Zufall, daß die gegen Osten vorgeschobene Kammer des Luftschutzstollensystems weder bei deren Herstellung noch hernach bei voller Belegung in die Höhle einbrach. Wie aus Abbildung 3, Profil A-A, ersichtlich, war man mit der Kammer ahnungslos auf 80 cm an die Höhlenkuppel herangekommen. Ein zweiter, unwahrscheinlicher Zufall war, wie sich nach Erschließung der Höhle herausstellte, daß die mehr minder auf's Geratewohl angesetzten, schrägen Suchbohrungen 13/73 und 15/73 überhaupt die Höhle erfaßten. Beide erwischten sie eben gerade am Rande.

4.2.4. Erkundungsschacht in der Höhle

Drei Bohrungen hatten, wie beschrieben, schrittweise zur Erfassung der Höhle geführt. Mehr Information konnte man nach Lage der Dinge von Bohrungen nicht erwarten. In dem mit Manganschlamm verschmierten Blockwerk versprach ein Schacht bessere Auskünfte. So wurde 12 m NW vom Zugangsschacht, etwa aus dem Zentrum des Höhlengrundrisses in dieses Blockwerk ein neuer Erkundungsschacht abgeteuft. Dieser wurde zwar nur 6½ m tief, weil man in das Grundwasser kam und mit den einfachen Arbeitsbehelfen den Wasserzudrang aus dem sperrig gelagerten Grobblockwerk nicht bewältigen konnte. Der neue Schacht gab aber einen guten Einblick in die Lagerung des Nagelfluhblockwerks, das gerade bis auf die erreichte Endteufe anhielt. An der Gesteinsstruktur der Blöcke konnte man sehen, daß diese, anders als der erwähnte, einfach abgesackte Riesenblock unter der Höhlenfirste, gegeneinander verdreht lagen. Wie diese Lagerung in der Hauptmasse des Blockwerks im Höhlenboden zustandekam, durch ein einmaliges Absturzereignis oder durch Drehvorgänge bei allmählichem Nachsacken bleibt zumindest vorläufig offen. (Blockkanten nicht gequetscht.)

Soweit Zweifel bestanden, hat dieser kurze Schacht klargestellt, daß die Höhle das Ergebnis eines räumlich begrenzten Einsturzes ist, der sich erst nach Verfestigung der Deltaschotter zu Nagelfluh ereignet haben konnte.

4.2.5. Bohrung Nr. 38/74 als Fortsetzung des Schachtes

Da man mit dem Schacht nicht weiterkam, wurde dieser durch eine Vertikalbohrung (Nr. 38/73) fortgesetzt. Ab Schachtsohle, das ist ab 417,10 m ü. A. durchfuhr die Bohrung zunächst einen aus dem Bohrgut schwer deutbaren Mischungsbereich bis 415,59 m ü. A. und blieb von da an bis zur Endteufe 403,19 m ü. A. in kleinsteiniger, schluffreicher, z. T. kompakter Grundmoräne. Tiefer konnte man mit dem sehr leichten Bohrgerät, das man eben gerade in die Höhle bringen hatte können, leider nicht bohren. An die Bohrkerne aus dieser Moräne konnte nun vergleichsweise das weniger gut deutbare Material aus den Nachbarbohrungen angeschlossen werden. Ein guter Teil des Bohrguts aus der Moränenstrecke in Bohrung 38/73 war dicht gepackt, mit 30 bis etwa 70% bindigem

Schluff-Sandgemenge und dem Rest an kantengerundeten, ausgesprochen polierten „Geröll“. Trotz häufiger Stichproben konnten einwandfreie Gletscherkritzen nur noch an einem Geröllkorn festgestellt werden. Daß die dichte Packung nicht etwa erst das Ergebnis einer Pressung durch den Bohrvorgang sei, ergab sich unter anderem aus dem Umstand, daß in mehreren Kernstücken Gerölle, die außermittig von der HM-Bohrkrone erfaßt worden waren, in einem Arbeitsgang abgeschnitten worden sind, ohne daß sie — wie dies sonst bei lockerer eingespannten Gerölln die Regel ist — gedreht oder mehrmals angeschnitten wurden.

4.2.6. Problem um die Entstehung der Höhle

Die Frage um das Zustandekommen der Nachsackung, die zur Höhlenbildung führte, wurde durch die Erkenntnisse aus der Bohrung nicht einfacher. Eine steife Moräne hätte sich bestimmt nicht so viel setzen können, daß schließlich zwischen Höhlendach und sperrig gelagertem, nachgestürzt Blockwerk bis zu 4 m freier Raum entstehen konnte. Sofern der Schluß aus dem Bohrgut dieser einen Bohrung auf die in situ vorliegende Struktur der Moräne richtig ist, müßte eine kaum gelockerte Moräne als mehr minder ungestörter Körper die Sackung zu einer tiefer liegenden, von der Bohrung leider nicht mehr erreichten Zone mitgemacht haben. Eine Möglichkeit wäre, daß das Nachsacken in einen mächtigen Schlammkörper hinein erfolgte, der sein Volumen durch allmähliche Abwanderung des Wassers verringert hatte. Denkbar wäre die Raumschaffung auch durch Ausschwemmung im tieferen Untergrund über Austrittswege unbekannter Art gegen Osten zum tief unterschrittenen Tal der Ursalzach (vgl. A. KIESLINGER, 1972). Die erstgenannte Variante ließe z. B. an ein schlammgefülltes, tiefes Toteisloch denken, in dem der Schlammkörper durch allmähliche Entwässerung unter der Last der überlagernden (Würm-)Moräne und der Nagelfluh einsackte. Der einem Kreis nahekommende Umfang der Höhle und das steile Einfallen der Kuppelwände zum „See“ lassen diese Möglichkeit nicht ganz utopisch erscheinen³⁾.

Das Einschließen der Höhlenwände ist übrigens beachtlich steiler als es nach den geodätischen Aufnahmen zu erwarten wäre, denn die Profilzeichnungen auf Abbildung 4 zeigen Sehnen zu Bögen.

Die Vorstellung vom schlammgefüllten Toteisloch wird durch eine Beobachtung von TH. PIPPAN (1958) unterstützt. Sie beschrieb vom Bau des Neuen Festspielhauses in Salzburg ein sehr verwandtes Phänomen: „Im Hof E der Abbruchwand (Nagelfluh, Platzschaffung für das Bühnenhaus. Der Autor.) wurde in einer 6 m tiefen Baugrube bis 2 m mächtiger spätglazialer Seeton im Hangenden eines auf 4 m Mächtigkeit erschlossenen, groben, meist gut verkitterten Deltas gefunden, das 30 W fällt und auffällig viel Kristallin enthält. Darin befindet sich eine 11 m breite und mindestens 6 m tiefe, mit Seeton ausgefüllte, schachtartige Vertiefung, worin die Arbeiter auch einen Nagelfluhblock fanden. Der Schacht geht wohl auf die Tätigkeit subglazialer oder fluviatiler Wassererosion zurück. ...“ Die von TH. PIPPAN beschriebene Stelle liegt 100 m SSE von der Manganhöhle.

³⁾ Die Umfanglinie der Manganhöhle auf Abbildung 2 verbindet nur die äußersten Markierungspunkte, die bei der Vermessung noch gesetzt werden konnten. Dieser Linienzug weicht daher stark vom tatsächlichen Höhlengrundriß ab.

Ob Toteisloch, ob Strudeloch; die im Grundriß mehr minder kreisförmige Hohlform unter der Mönchsberg-Nagelfluh ist damit schon kein Einzelfall mehr. Schlecht paßt der Kreisumfang des unterirdischen Hohlraumes mit der zweiten Annahme zusammen, daß die Platzschaffung durch seitliches Abwandern von Material gegen NE erfolgt sei. Unter den altstadtseitigen Mönchsbergwänden reicht der bis wenige dm unter das Straßenplanum anstehende Nagelfluhsockel im kristallinen Bereich an der Pferdeschwemme Sigmundplatz ab Wandfuß etwa 25 m vor. In einer Leitungskünette vor dem Neutor konnte man erst 1974 den 60° steilen Nagelfluhabbruch gegen die nordostwärts angelagerte Grundmoräne 27 m NE vom Neutorportal sehen. Im nordwestlichen Flügel der mit Pferdefiguren bemalten Wand um die Pferdeschwemme ist ein ½ cm breiter Vertikalriß zu sehen. Man wird ihn wahrscheinlich in Analogie zu A. KIESLINGERS überzeugenden Beobachtungen (A. KIESLINGER, 1972) als Zugriß über der Abbruchkante der Nagelfluh zum verschütteten Tal der Ursalzach deuten können. Dieser Riß liegt 23 m vor der Wandkante. Damit darf man den Abstand des stadtseitigen Höhlenrandes vom Abbruch der Nagelfluh zum verschütteten Tal mit 45 m ansetzen. Diese Distanz macht allein schon die Abwanderung größerer Feststoffmengen durch Ausspülung unwahrscheinlich. Sie hätte sich über Klüfte ab-

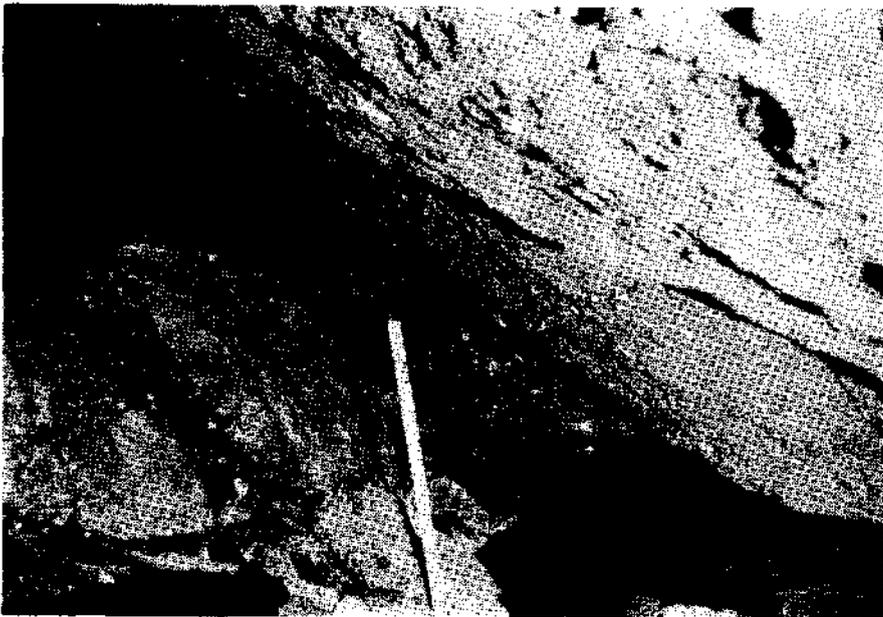


Abb. 4.

Mönchsberg-Seehöhle (Manganhöhle)

Standpunkt knapp über dem Grundwasserspiegel. Blick in Richtung 038° über die NE-Hälfte des Grundwassertümpels. Wasserspiegel etwa 417,20 m ü. A. Größenvergleich: 160 cm lange Stange.

spielen müssen, die SW-NE, also quer zur Mönchsbergwand streichen. Von solchen ist aber im kritischen, stadtseitigen Wandbereich nichts zu sehen ⁴⁾.

4.2.7. Höhlendach und Strukturebenen der Nagelfluh

Im ganzen übrigen Höhlenbereich von WSW über S bis ENE liegen klar überschaubare Dachformen über etwa 11 m Höhe ab Giebel bis zum Grundwasser hinunter vor. Nach allen Seiten sinkt die Kuppel, gegen den Rand hin immer steiler werdend so ab, daß sie mit ungefähr 45 bis 60° Neigung gegen die Horizontale aus dem Sichtbereich wegtaucht. Im flächenmäßig größten, einheitlich fallenden Bereich des Höhlendaches, der im Mittel der Lage 135/40° entspricht, ebenso in anderen Teilbereichen der Kuppel, die unverkennbar anderen Flächenlagen entsprechen (vgl. Abb. 2) drängt sich der Eindruck auf, daß die Ablösungen aus der Firste nach (versteckten) Strukturebenen zustande gekommen sind. Die Raumstellung 135/40° könnte man zur Not, aber ohne rechten Zusammenhang, mit den ESE-fallenden Klüften lagemäßig in Verbindung bringen, die an der Westwand des Mönchsbergs im Bereich zwischen der Reichenhaller Stiege und dem Neutor so auffallen, aber auch im Westabschnitt der Luftschutzzollen und neuerdings in der Ausfahrtskaverne eine beachtliche Rolle spielen. In der Nähe der Höhle war jedoch keine Kluft der angegebenen Raumstellung in den Luftschutzzollen zu finden.

Zehn Meter ostwärts vom Erkundungsschacht in der Höhle, dort, wo die Firste unmittelbar an das Blockwerk in der Sohle anschließt, ist die mittlere Flächenlage des Höhlendaches etwa 090/56°. Für diese Raumstellung findet man unter den an den Bergwänden, besonders auf der Ostseite zu beobachtenden Klüften kaum Parallelen. Nach rein zufälliger Bruchform sehen aber diese untereinander etwas gestaffelten Teilbereiche um 090/56° bestimmt nicht aus. Am klarsten war der Zusammenhang zwischen Gesteinsstruktur und Raumstellung des Höhlendaches im N- und NW-Bereich der Einsturzkuppel. Hier boten sich die Schichtfugen der Nagelfluh als die gegebenen Ablösungsflächen an. Ob das Nachbrechen des Höhlendaches in einem Akt oder, wie eher anzunehmen, ratenweise erfolgte ist nicht bekannt. Die erwähnten höchsten Wasserstandsmarken knapp 1 m unter der Firstenlinie der Höhle widerlegen die anfängliche Vorstellung des Autors, daß der oberste Höhlenbereich über den schwarzen Manganabsätzen erst sehr spät in einem eigenen Akt nachgestürzt sei.

Die Annahme wird wohl allein schon wegen des ersichtlichen Zusammenhanges mit dem Grundwasserspiegel berechtigt sein, daß sich der dicke, schwarzbraune Manganabsatz nur sehr langsam, in Jahrhunderten, wenn nicht Jahrtausenden gebildet hat.

Die Schrägkluft in der LS-Kammer, von der die ganze Höhlenschließung ausging, liegt 330/42°, das heißt, sie würde nach Parallelverschiebung um knapp 2 m die Höhlenkuppel tangieren. Die Raumstellung dieser typischen Zerrkluft mag ein Zufall sein. Sie fügt sich aber in größere Zusammenhänge.

⁴⁾ Voraussichtlich wird nach Abschluß der Kavernenbauten eine rein wissenschaftlichen Zwecken gewidmete, ausreichend tiefe Bohrung zur Klärung der Entstehung der Höhle hergestellt werden können.

4.2.8. Flacher Riß in Mönchsbergwand. Möglicher Zusammenhang mit Höhle

Mit der wohl als gesichert zu betrachtenden Deutung der „Manganhöhle“ als Ergebnis lokaler Absatzvorgänge gewann eine kleine, zunächst nebensächliche Beobachtung an Gewicht: Bei der Aufnahme der im Abschnitt 10 behandelten großen Steilklüfte über und neben der Terrasse oberhalb des Neutors fiel in der zerklüfteten Wand eine annähernd horizontale, sehr unebene Rißspur auf. Sie liegt etwa 1 m über der Terrassensohle, also auf 449 m ü. A. (vgl. Abb. 8, Bolzenpaar Nr. 6). Sowohl nach W als auch nach E, wo sie in eine Schichtfuge der Nagelfluh einschwenkt, kann die etwa 1 mm klaffende Kluft beiderseits ein kurzes Stück über die zwei Vertikalklüfte hinaus verfolgt werden. Austrocknung dürfte am Zustandekommen dieses Risses nicht schuld sein, sonst hätten in erster Linie die zahlreichen Schichtgrenzen aufgehen müssen, ehe es zur Bildung eines „wilden“ Risses aus solcher Ursache kam. Bleibt also nur ein Aufreißen unter der Wirkung eines abwärts oder schräg abwärts wirkenden Zuges. Bedenkt man, daß diese Stelle im Grundriß nur 35 m ESE und 20 m über dem höchsten bzw. 25 m über dem nächstgelegenen Punkt des Daches der „Manganhöhle“ liegt, dann hat es einiges für sich, wenn man den Riß als Indikator nützt. Sicherheitshalber wurde er in die systematische Kluftweitenüberwachung einbezogen. Bis jetzt (Juni 1974) hat aber das Baugeschehen an ihm keinerlei erkennbare Änderungen herbeigeführt.

Zum selben System von Zugrissen in weiterem Abstand um die Manganhöhle — vergleichbar den Zerrklüften um das Senkungszentrum beim Einlauf des Almkanalstollens in der Riedenburg — sind wohl einige gestaffelte, je einige Meter lange Risse zu rechnen, die Mitte 1974 bei der Herstellung der Einfahrtskaverne Mönchsberg-Nord zum Vorschein kamen. Sie wurden an der neutorseitigen Ulmfläche und auf Kämpferhöhe mit flach NE-fallenden Schnittpuren festgestellt. Von der Firstenkuppel der Manganhöhle sind diese Kluftausbisse an der Garagenwand etwa 23 m, unter 60° schräg nach SSW aufwärts, entfernt.

5. Eine zweite Höhle

Mehrere Monate nach Auffindung der Manganhöhle, damit leider erst zu einem Zeitpunkt, zu dem die Ausbruchsarbeiten schon im vollen Gange waren, erfuhren wir durch freundlichen Hinweis von seiten des Bundesdenkmalamtes, Wien, von Akten über eine zweite, kleinere Höhle. Das Dach dieses Hohlraumes war 1943 bei der Herstellung der Luftschutzanlagen gerade noch angeschnitten worden. Der bekannte Höhlenforscher Dipl.-Ing. W. VON CZOERNIG hatte damals diese Höhle von amtswegen (W. CZOERNIG, 1943) erkundet. In einem Zeitungsartikel (W. CZOERNIG, 1944) schrieb CZOERNIG darüber: „... So hat sich auch hier eine mit 15° einfallende Schichtung auf weicher Unterlage um 50 bis 75 cm tief abgesetzt und eine 10 × 15 m breite Höhle gebildet, ...“ Wenig erfreulich, wenn auch durchaus nicht von der Hand zu weisen war im Hinblick auf den nun laufenden Garagenbau die abschließende, beiläufige Bemerkung CZOERNIGS: „... Es ist nicht ausgeschlossen, daß an anderer Stelle vielleicht ähnliche kleine Höhlen angefahren werden.“ Der Hohlraum wurde

heuer, 1974, durch einen kleinen Schacht wieder geöffnet und kürzlich mit Beton verfüllt. Eine Erkundungsbohrung (Nr. 39/74) von 12 m Länge, die jetzt als erster Erschließungsschritt auf diese kleine Höhle angesetzt worden war, hat unter dünner Konglomeratdecke auf der Strecke von 426,77 m ü. A. bis 424,99 m ü. A. den Hohlraum zufällig an der Stelle seiner größten freien Höhe durchstoßen. Anschließend drang der Bohrer bis 423,72 m ü. A. durch ein Gemenge aus weicher, nasser, lehmig-sandiger Masse mit 40% Geröllen ohne Verkittungsspuren. Bis zur Endteufe auf 418,98 m ü. A. blieb die Bohrung dann in der Nagelfluh. Diese war zum Teil nur weich gebunden, aber allem Anscheine nach ungestört in situ. Jedenfalls stammte das Kernmaterial nicht von einem wirr gelagerten Blockwerk. Eine zweite Steilbohrung, Nr. 40/74, erfaßte bereits knapp unter der Sohle der Luftschuttkaverne nach kurzer Konglomeratstrecke auf 428,25 m ü. A. einen Hohlraum von schätzungsweise 20 cm. Sie blieb dann bis 424,35 m ü. A. in der von der anderen Bohrung geschilderten weichen, unverkitteten Masse, ehe die zusammenhängende, ungestörte Nagelfluh erreicht wurde. Vom kleinen Schacht aus konnte man ein Stück weit in die Höhle kriechen. W. CZOERNIGS Angaben stimmten genau. Der Schacht taucht mit der WNW-fallenden Schichtung der Nagelfluh ab. Abrisškanten waren leider an der zugänglichen Nagelfluh nicht festzustellen. Was nachgegeben hat, eine im Grundwasser zerweichte Zone im Konglomerat selbst, Seeschlamm oder sonst etwas im Liegenden der Nagelfluh, ist vorläufig noch unbekannt⁵⁾. Feststoffabwanderung wäre bei dieser mitten im Berge gelegenen Höhle noch unwahrscheinlicher als bei der Manganhöhle. Der Felsmechaniker wollte natürlich wissen, ob nun außer den beiden Höhlen bestimmt keine weiteren mehr vorhanden seien. Ob solche eventuell den bisherigen Erkundungsbohrungen entgangen sein könnten. Wohl oder übel waren also noch in diesem späten Stadium ein Dutzend zusätzlicher Untersuchungsbohrungen zu machen. Diese Nachtragsbohrungen wurden in jenen Bereichen der Garagenkavernen angesetzt, auf die sich nach dem Urteil des Felsmechanikers die Spannungen um die großen Garagenräume konzentrieren werden. Damit stellte sich für den Felsmechaniker und den Geologen in diesem Zusammenhang die Frage, wie groß überhaupt gegebenenfalls ein natürlicher Hohlraum im mechanisch wirksamen Einflußbereich der großen Kavernen eben noch sein dürfe, daß man noch mit einem ausreichend tragfähigen, sekundären Stützgewölbe um ihn rechnen könne.

6. Die Mönchsbergtropfsteinhöhle

Ergänzend sei im Zusammenhang mit den beim Garagenbau erschlossenen bzw. wieder angefahrenen Höhlen im Mönchsberg auch die schon seit vielen Jahrzehnten bekannte, kleine „Mönchsbergtropfsteinhöhle“ (Name laut Be-

⁵⁾ Erst nach Abschluß des Manuskripts ergaben sich durch den Kavernenausbruch im Höhenbereich unter dem Straßenplanum sichere Hinweise dafür, daß diese „zweite Höhle“ und noch einige andere Setzungsfugen durch Gefügezusammenbrüche in der Nagelfluh bzw. in Sandsteinlagen zustande kamen. Grund: Kalkentzug aus der Nagelfluh durch Mischungskorrosion im Sinne von A. BÖGLI durch Reaktion zwischen Klufwasser und dem (ehemals höher stehenden) Grundwasser.

standsblatt im Österreichischen Höhlenverzeichnis) erwähnt. Sie liegt auf der riedenburger Seite des Berges, 100 m SSW vom Neutor im stark gelockerten Felsvorfuß der Mönchsbergwand. Von diesem geschützten Naturobjekt müssen die Zufahrten zu den Garagen von Mönchsberg-Mitte entsprechenden Abstand halten. Die Nagelfluh weist in der Umgebung der Höhle mehrscharige Zerklüftung mit Spalten von cm bis dm Weite auf, die sich längs des Vorfußes der Wände über dutzende Meter hinziehen. Ein auffallender Spülwasserverlust in Bohrung Nr. 24/73, die zu den Erkundungsbohrungen für das Projekt Mönchsberg-Mitte gehört, und von der Oberkante jenes Vorfußes aus gebohrt wurde, ereignete sich genau in der geometrischen Verlängerung der Hauptspalte, nach der die kleine Höhle gestreckt ist. Unmittelbar vor dem Bergfuß, nur wenige Meter vom Höhleneingang entfernt, war im ebenen Vorgelände die Bohrung Nr. 2/72 angesetzt. Sie geriet bereits knapp unter Straßenplanum in mehrere Meter mächtigen, nur schwach diagenetisch verfestigten Seeschlamm. Ein deutlicher Hinweis auf die Ursache für die auffallende Lockerung des Nagelfluhgefüges im Vorfuß der Hauptwand!

7. Die weiten Klüfte im äußersten Westteil der LS-Kavernen Mönchsberg-Nord (vgl. Tafel 2 und Abb. 5 u. 6)

Hier seien jene Großklüfte behandelt, die, wie unter 2.1. erwähnt, den Planungsraum gegen Westen begrenzen. In der großen, ungefähr 8 m hohen, westlichsten LS-Kaverne sah man besonders am SW-Ulm einige etwa 60° nach ESE einfallende, große Klüfte. Zwei von ihnen sind zwischen 20 und 30 cm weit. Dem Augenscheine nach sind die Wände dieser beiden Spalten erst durch strömendes, sandführendes Wasser so weit ausgescheuert worden. Dadurch schwankt die Kluftweite über die Höhe des Ulms so sehr.

Bemerkenswert ist, daß diese Klüfte offensichtlich mehrphasig gefüllt worden sind: in einem ersten Akt mit weichem, schmierenden, hell-gelbbraunen Schlufflehm (Abb. 5), der nun im wesentlichen der Hangendwand anliegt; in einem späteren Stadium mit flach geschichtetem, hell-gelbbraunen, glimmerreichen Feinsand. Er kann nur von oben her eingespült worden sein. Da er in einzelnen Lagen braun verfärbt ist, ist das Sedimentationsgefüge gut zu erkennen. Nach dieser doppelten Füllung müssen sich zumindest an der südlichen der beiden weiten Klüfte, die auf Tafel 2 mit „110/56“ vermerkt ist, nachträgliche Scherbewegungen abgespielt haben. Die Sandfüllung ist nämlich vertikal durchgespalten und in den Spalt ist der helle Lehm von der Art der Erstfüllung eingeschmiert (Abb. 6).

Im Brustbereich des kurzen Richtstollens, der noch von der genannten großen Kaverne aus einige Meter gegen Westen vorgetrieben worden war, schneiden sich mehrere Großklüfte. In jeder von ihnen findet man cm- bis 1-dm-dicke, auffallend rötlichgraue Lehmfüllungen. Siehe Tafel 2. Diese breiten Lehmklüfte sehen nicht so aus, daß anzunehmen wäre, sie seien erst durch Ausscheuerung aufgeweitet worden. Man kommt vielmehr zu dem Schluß, daß der kurze Richtstollen in einen Felsbereich geraten ist, der eine beachtliche Gefügelockerung erfahren hat. Die Zunahme des Gesamtvolumens der Felsmasse um jenes, das die

weiten Klüfte einnehmen, kann hier, im Berginneren nur durch ein Nachgeben nach unten hin zustande gekommen sein. Alle späteren Beobachtungen, sowohl im Stollensystem als auch im Freien, fügen sich zwanglos in diese anfängliche Vorstellung. Der rötliche, in sich sehr gleichmäßige, außerordentlich feinkörnige Lehm ist in situ leicht knetbar, schmiert sehr stark und haftet zäh an allem, was mit ihm in Berührung kommt. Kein Wunder, daß man in diesem lehmreichen Klüftgewirr den Vortrieb aufgegeben hatte. Der ausgesprochen rotbraunstichige Farbton des Lehms legte den Gedanken nahe, daß diese Farbe von den rotbraunen Nierentaler Mergeln stamme.. Herr Dr. G. RIEDMÜLLER untersuchte freundlicherweise eine Probe des rötlichen Lehms und stellte durch



Abb. 5.

Mönchsberg-Nord. SW-Wand der westlichsten Kammer der ehemaligen Luftschutzanlagen. Weite, lehm- und sandgefüllte Kluft.

Blick nach SW. Im linken Drittel der Kluft Schlufflehm. Größenvergleich: Stollenlampe.

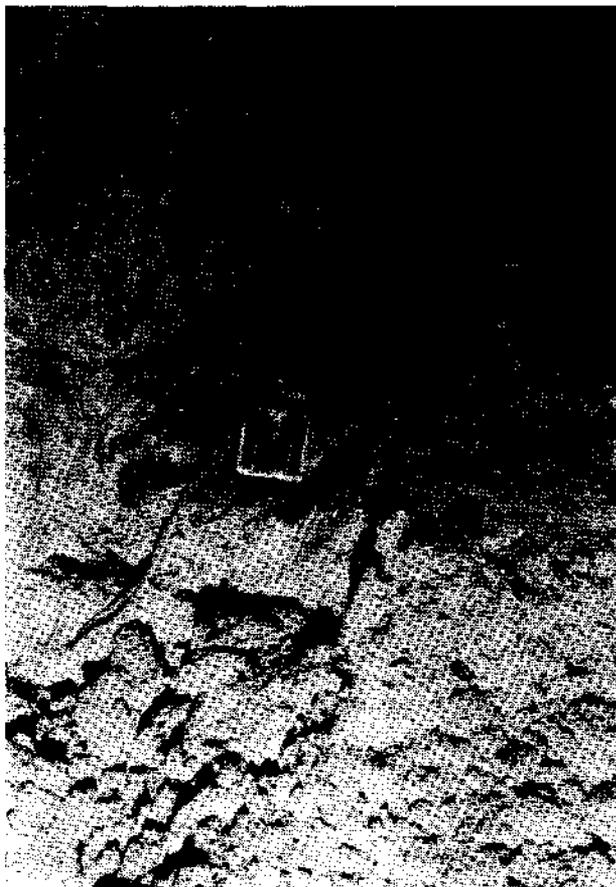


Abb. 6.

Detailbild zu Abbildung 5.

Größenvergleich: 10 cm lange Grundplatte des Kompasses. Rechts über dem Kompaß ein vertikaler, lehmgefüllter Sekundärriß durch den deutlich geschichteten, glimmerführenden, dichtgepackten Feinsand.

Röntgendiffraktometer-Analyse (Cu-K-alpha-Strahlung) folgende Komponenten fest:

Calcit	++++ (überwiegend)	
Dolomit	+	
Muskovit-Illit	+++	
Vermiculit	+++ (vorwiegend mit Ca belegt, neben wenig Mg)	
Quarz	+++	
Goethit und Hämatit	+ (+)	
	Hauptgemengenteil	++++
	Spuren	+

Eine Vergleichsprobe von rotbraunem Nierentaler Mergel aus der Bohrung 2/72, lfm 23,05 ergab:

Calcit	++++ (weitaus überwiegend)
Dolomit	—
Muskovit-Illit	(+)
Vermiculit	++ (vorwiegend mit Ca belegt, neben wenig Mg)
Quarz	++++
Goethit	(+)
Hämatit	—

In beiden Proben ist also praktisch derselbe Mineralbestand, wenn auch in verschiedenen Mengenverhältnissen zu finden.

Eine Kalkbestimmung nach Scheibler an der Lehmprobe, ebenfalls durch G. RIEDMÜLLER, ergab 37,4% der Trockenprobe an CaCO_3 . Dieser Wert stimmt mit einer gravimetrischen Vergleichsbestimmung durch den Autor genau überein.

Der Chemismus des Klufflehms entspricht also dem eines Kalkmergels. Eine granulometrische Analyse (Zerlegung des Feinanteils im Atterberg-Zylinder) des rotbraunen Klufflehms ergab:

feiner als 0,002 mm	68,4 Gew.-%
0,002—0,006 mm	14,4 Gew.-%
0,006—0,02 mm	7,1 Gew.-%
0,02 —0,06 mm	7,2 Gew.-%
größer als 0,06 mm	2,9 Gew.-%

Die Annahme liegt nahe, daß dieser rötliche Lehm in den Klüften ursprünglich ein breiiges Gemenge aus Seeschlamm mit zerweichten Nierentaler Mergeln und -sandsteinen war, das beim Einsinken der Nagelfluh — vielleicht erst unter hoher Eisauflast im Würm — in die Spalten des zerbrechenden Konglomerats hochgequetscht wurde. Tatsächlich wurden rotbraune Nierentaler Mergel, wie schon beschrieben, nur 40 m südlich von den Stollenklüften, in der Ausfahrtskүнette knapp 3 m unter Gelände angeschnitten. Herr Prof. Dr. W. KLAUS, Univ. Wien, untersuchte sowohl Proben von dem rötlichen Klufflehm als auch Bohrproben aus den rotbraunen Nierentaler Mergeln pollenanalytisch. Die Proben enthielten so gut wie keine, jedenfalls aber keine bestimmbareren Pollen.

Die großen, weiten Klüfte in der Kaverne, die nur 40 m hinter der Außenwand des Berges liegen, streichen orthogonal zur Bergwand. An der nur 25 m hohen Nagelfluh-Wand über dem Ausfahrtstunnel ist eine Schar von 5 eindrucksvollen Schrägklüften zu sehen, die die Wand von links oben nach rechts unten durchsetzen. Ihre Raumstellung weist sie wohl der Schar mittelsteil nach ESE fallender Klüfte zu, der auch die breiten Klüfte in der Westkaverne angehören. Diese auffällige Kluffschar an der Bergwand, etwa hinter dem Hause Reichenhaller Straße 8a, entspricht aber nicht den dm-weiten Stollenklüften. Sie trifft nämlich das Niveau der Luftschutzstollen erst etwa 20 bis 30 m weiter südöstlich. Der Ausbiß der breiten Stollenklüfte ist durch die der Wand an der Mönchsberg-Stiege vorgesetzte Bruchsteinmauer verdeckt. Jene fünf erwähnten ESE-fallenden Parallelklüfte an der Bergwand sind in den Luftschutzstollen — also zu ebener Erde — wenige mm weit. Sie brachten sich kürzlich, Juni 1974, als die Firste

für das riedenburgseitige Ende der Ausfahrtskaverne ausgefräst wurde, als tropfnasse Schar bis zu 20 mm weiter, lehmgefüllter Klüfte nachdrücklich in Erinnerung. Die größte liegt $114/44^\circ$. Gegen NE, in den Berg hinein, klingen sie erst 60 bis 70 m hinter der Bergwand blind aus. Auf die Wahrscheinlichkeit, daß solche lehmgefüllte Klüfte im Kämpferbereich der Ausfahrtskaverne zu erwarten seien, war vom Geologen frühzeitig schon deshalb hingewiesen worden, weil damit zu rechnen war, daß sie mehr minder normal zum Gewölbeschub liegen werden. Die Überraschung bestand nur darin, daß einige von ihnen 10 m über dem Luftschutzstollen-Niveau so weit klafften.

Von dem etwa 100 m langen Wandbereich des Mönchsbergs, hinter dem die intensivste Zerklüftung in den Luftschutzkavernen und im Almstollen selbst angetroffen worden war gegen SE bis etwas über das SW-Portal des Neutors hinaus sieht man hin und hin noch Kluftrisse in Abständen von wenigen Metern. Fast alle durchschneiden die vertikale Bergwand von links oben nach rechts unten — das ist von NW nach SE — mit Spurneigungen, die zum Neutor hin auf 70° Steilheit zunehmen. Die meisten dieser Risse sind so kräftig aufgewittert, daß sie, obwohl eigentlich nur wenige Millimeter weit, leicht aus 50 oder 100 m Entfernung wahrzunehmen sind. Bei näherem Zusehen findet man aber auch manchen schnurgeraden, mehrere Meter langen Riß in derselben Lage, der nur $\frac{1}{2}$ bis 1 mm weit und so fein geblieben ist, daß er an der rauhen Nagelfluhwand unter Umständen erst bei günstiger Beleuchtung erkennbar wird. Anscheinend sind dies jüngere Risse als jene, die randlich aufgewittert sind. Sie gehören aber ihrer Raumstellung nach zum selben Beanspruchungsplan wie letztere. Diese langen, feinen Risse haben einen feinzackigen Verlauf. Sie spitzen, soweit man sehen kann, an beiden Enden auf Null aus und werden bisweilen durch Parallelrißchen gestaffelt fortgesetzt. Bisweilen sind kleine Geröllkörner von den feinen Rissen durchgespalten. Verschiebungsspuren, die man an diesen schmalen Klüftchen kaum übersehen könnte, wurden nicht festgestellt. Damit dokumentieren sich diese schräg über die Bergwand laufenden Klüfte als Zugrisse.

7.1. Zurückführung der Klüfte im Westteil auf eine gemeinsame Ursache

Betrachtet man alle diese ESE-fallenden Klüfte, von den dm-breiten bis zu den sehr feinen als Gesamtheit, so sind sie der Ausdruck dafür, daß der ganze riedenburgseitige Bergkörper zwischen der Mönchsberg-Stiege aus der Reichenhaller Straße bzw. dem Einlauf des Almkanal-Stollens und dem Neutor, unter Zugspannungen aufriß. Gemessen an der Intensität der dadurch entstandenen Klüfte und nach geometrischen Überlegungen ist anzunehmen, daß der Angriffspunkt der Zerrung — in weiterer Schlußfolgerung der Bereich, in dem das Liegende der Nagelfluh nachgab — etwa unter dem erwähnten Stolleneinlauf zu suchen sei. Gerade in den Luftschutzstollen, fern von jeder Fälschung der Erscheinung durch die Verwitterung, stellt man fest, daß — abgesehen vom engsten Zentralbereich mit den dm-weiten Spalten — diese ESE-fallenden Klüfte im Straßenniveau wesentlich enger sind als 10 m darüber. Klüfte, die unten nur mm-weit sind, können, wie schon erwähnt, oben 10 bis 20 mm klaffen. Man kann daraus auf ein fächerartiges Aufgehen um eine flachliegende, tief situierte NNE-

SSW-Achse schließen; eine Vorstellung, die durchaus der angenommenen Ursache, einem Nachgeben des Liegenden, entgegenkommt.

Für diese Annahme sprechen auch die Klüftungsverhältnisse im Almkanal-Stollen („Städtischer Arm“) und, wie noch zu zeigen, die Gesteinsklüftung sowie die indirekt davon beeinflusste Oberflächengestaltung des Mönchsbergs.

7.1.1. Klüftung im Almkanal-Stollen (vgl. Tafel 2)

Von dem erwähnten, insgesamt 247,50 m langen Almstollen, war aus Urkunden aus der Bauzeit, die in die Jahre um 1380 zu datieren ist (E. FIEBICH-RIPKE, 1959), sowie von einer Renovierung im 18. Jhdt. bekannt, daß seine ersten zirka 35 lfm ab Einlauf in besonders schlechtem Gestein hergestellt werden mußten (ZILLNER, 1864). Da dieser Abschnitt voll ausgemauert ist, läßt sich zur Zeit mangels künstlicher Aufschlüsse nicht sagen, ob besonders arg zerklüftete Nagelfluh oder vielleicht unmittelbar anstehende, wasserempfindliche Gosau-mergel die unmittelbare Ursache für die seinerzeitigen Bauschwierigkeiten waren. Da solche teilweise knetbar-weiche Mergel nun in der Künette für die Ausfahrtsrampe der Garagenkavernen dicht neben dem Almkanal angeschnitten worden sind, liegt letztere Annahme nahe. Es könnte sich auch Seeschlamm gesetzt oder seitwärts nachgegeben haben. Wenn A. MUDRICH in seiner Geschichte des Neutors über den Zustand in der Riedenburg um 1750 schreibt: „Der Boden war stellenweise so morastig, daß die Pferde bis an den Bauch einsanken.“ (A. MUDRICH, 1915, S. 114), dann charakterisiert dies wohl die Art der dortigen Sedimente. Ab Ende der Mauerungsstrecke ist im Almstollen bis zu seinem stadtseitigen Mundloch beim Gstättertör ausschließlich Nagelfluh zu sehen. Firste und obere Hälfte der Ulme sind nicht ausgekleidet, bieten daher ungehinderten Einblick. In den ersten etwa 99 lfm (abgeschritten) ab Ende der Ausmauerung nach NE quert der Stollen zahlreiche Klüfte. Einige davon sind lehmgefüllt und 7 bis 10 cm weit. Schlagartig ab jener 99-m-Grenze ist die Nagelfluh in den restlichen 113 m bis zum Ende des Stollens beim Gstättertör klüftfrei.

7.1.2. Der „Sunk“

Gerade über der Ausmauerungsstrecke des Almstollens und dem nach NE anschließenden, klüftigen Abschnitt sinkt das Mönchsbergplateau in einer 100 m × 100 m weit gespannten, 30 m tiefen, gegen SSW offenen Mulde am tiefsten ab. Vgl. Tafel 2. Der Tiefpunkt mit 449 m ü. A. liegt nahe dem SW-schauenden Wandabfall. Diese auffallende, waldbestandene Mulde, an deren oberem Rand im NE der Weg von der Bürgerwehr zum Café Winkler entlang führt, ist in der Literatur des 18. und 19. Jhdt. als „der Sunk“ beschrieben (A. FRANK, 1930, S. 28). Nach der Geländeformung ist der tiefere Bereich des „Sunks“ sicher eine Naturform, an der durch Steinentnahme und für Befestigungszwecke nur unbedeutende Veränderungen zustande kamen. (Oben dagegen, in der Nähe des Café Winkler, wo der Fels offenbar besser war, ist durch Steinbruchstätigkeit viel verändert worden.) Der „Sunk“ selbst ist sicher keine Einbruchform. Gegen eine solche Annahme sprechen die gleichsinnig orientierten Schichtflächen in den

Nagelfluh-Aufschlüssen übertage; vor allem aber das bei aller Zerstückelung im ursprünglichen Großverband erhalten gebliebene Konglomerat im Almkanalstollen, der ja gerade unter der tiefsten Einmuldung verläuft. Nach Meinung des Autors läßt sich der „Sunk“ ungezwungen als Form des Eisschurfs und/oder fluvioglazialer Erosion erklären. Sie konnten gerade dort, wo ungewöhnlich starke Klüftung den sonst fast klüftfreien Nagelfluhkörper des Mönchsbergs gegen mechanischen Angriff anfällig machte, am stärksten wirken. Der Autor möchte allerdings das Zustandekommen der weitgespannten Großform des „Sunk“ eher dem Eisschurf als der Wirkung strömenden Wassers zuschreiben. Bodenfließen kann ja als ausrundender Formungsvorgang in der anstehenden Nagelfluh ausgeschlossen bleiben. Damit liegt nahe, daß die vorbereitende Ursache für den „Sunk“, die örtlich intensive Klüftung des Gesteins und deren Ursache Vor-Würm sein wird. Das Würm-Eis war ja der letzte Gestaltungsfaktor großen Stils auf dem Mönchsbergplateau und wohl auch an der Großform des Berges.

Auf Tafel 2 ist eine zusammenfassende Darstellung der Klüftlagen versucht, die im weiteren Bereich um den „Sunk“ eingemessen wurden. Es sind die Klüfte übertage, sowohl im „Sunk“, als auch an der SW-Wand, wie auch jene in den Luftschuttkavernen und im Almkanalstollen einbezogen worden. Auf dem Plateau im „Sunk“, gab hiezu eine kleine, ehemalige Steinentnahme zwischen dem Gehweg ober der Mönchsberg-Stiege und den Befestigungsanlagen der „Bürgerwehr“ einen guten Einblick in die Klüftung. Dieser Steinbruch im „Sunk“ ist nämlich die unmittelbare räumliche Ergänzung zu den 5 auffallenden, schräg durch die Bergwand verlaufenden, parallelen Klüftspuren im Wandbereich über der Kavernenausfahrt. In der synoptischen Darstellung mittels Kugelprojektion ordnen sich die Großklüfte und ein Teil ihres kleineren Klüftgefolges zu einer Gemeinschaft von Trennflächen, die sich tangential um einen gedachten Kegel oder eine Kuppel legen. Es liegt nahe, darin jene Zerrungskuppel zu sehen, in deren Basisbereich die in Abschnitt 7.1. beschriebene Absackung unter der Nagelfluh anzunehmen ist. Ob hier nähere Nachschau Ähnliches erweisen könnte, wie bei der „Manganhöhle“, 160 m weiter im SW?

Über Klüfte an den Nagelfluhwänden des Mönchsbergs und des benachbarten Rainbergs ist selbstverständlich auch schon früher geschrieben worden. F. WÄHNER (1894, S. 507) schrieb von „... Bruchflächen (offenen Spalten, kleinen Verwerfungen) ...“. H. CRAMMER (1903, 1918) ging mit guten Beobachtungen dem Problem der wandparallelen Großklüfte in den Außenzonen des Rainbergs nach. Er schoß aber, wie sich nun herausstellte, mit der Verallgemeinerung seiner örtlich sicher zutreffenden Feststellungen über's Ziel. W. VORTISCH (1924) stellte fest: „... Im übrigen fehlen der Nagelfluh tektonisch entstandene Klüftsysteme ...“ TH. PIPPAN, der wir viele wertvolle Detailbeobachtungen von den Salzburger Stadtbergen verdanken, schrieb unter anderem (TH. PIPPAN, 1958, S. 235) von den „zahlreichen, oft viele Meter langen Klüften an den Wänden“, und daß solche „... schräg, sehr häufig auch parallel zur Wand verlaufen.“ Als einziger Autor verwies sie darauf, daß „auch Querklüfte ... vorhanden“ seien. A. KIESLINGER (1972) befaßte sich mit speziellen baugesologischen Problemen, die aus wandparallelen Klüften erwuchsen.

Wenn sich auch die vorliegende Arbeit nur auf den kleinen Abschnitt des Mönchsberges bezieht, in dem jetzt die Garagenkavernen gebaut werden, haben die mitgeteilten Beobachtungen vielleicht für sich, Feststellungen an der Außenseite des Berges nun auch mit solchen aus dem Berginneren in Zusammenhang bringen zu können.

8. Berggrundwasser und Kluftwasser über dem Ruhespiegel

8.1. Berg-Grundwasser (vgl. Abb. 1 und Tafel 1)

Die bisherigen Arbeiten für die Garagenkavernen boten Gelegenheit zu einigen Einblicken in das Verhalten des Bergwassers. Die Meßdaten sind gewiß sehr unvollständig. Nachdem bald feststand, daß die Kavernen selbst dem jahreszeitlichen Gang des Grundwasserspiegels entzogen bleiben, waren ja Spiegelmessungen in den Bohrungen für die Techniker mehr minder Fleißaufgabe. Es wäre schade, würde das seither angefallene Datenmaterial nicht mitgeteilt. Auf Abbildung 1 sind jene Bohrungen, aus denen Grundwassermessungen (GW-Messungen) vorliegen, jeweils um eine Achse im angenommenen Vergleichshorizont 417,00 m ü. A. in die Zeichenebene geklappt dargestellt. Auch die Spiegellage im Grundwassertümpel der Manganhöhle, dem „See“, wurde in Umklappung gezeichnet. Es war zwar nicht möglich, zu jeder Bohrung alle darin gemessenen GW-Stände zu zeichnen. Doch wurde darauf geachtet, daß zumindest Tage, an denen in möglichst vielen Meßstellen der GW-Stand ermittelt worden war, sowie Extremwerte eingetragen wurden. Zweck der GW-Darstellung in Abbildung 1 ist, eine rohe Vorstellung von der räumlichen Lage und dem Einfallen der GW-Spiegelfläche zu geben. Greifen wir z. B. als Vergleichstag 1974-02-13 heraus, so ergibt sich zwischen dem im SW gelegenen Meßpunkt 6/37 und dem im NE befindlichen Meßpunkt 10/73 eine Spiegeldifferenz von 3,70 m. Die Horizontalentfernung zwischen diesen beiden Punkten beträgt 116 m. Das entspricht einem Spiegelgefälle von 3,2%. Noch höher ist jenes, das sich aus den Novembermessungen 1973 zwischen Bohrung 36/73 und Bohrung 38/73 errechnet. Es liegt bei knapp 5%. Das Grundwasser strömt über das Jahr unter dem Berg SW-NE. Soweit aus den lückenhaften Meßdaten auf Tafel 1 zu ersehen, betrug die Schwankungsbreite der Spiegellagen für die Meßstellen in der Manganhöhle über das erste Meßjahr hin 1,86 m. Für die weiter im SW und W gelegenen Bohrpunkte lag die Jahresschwankung bei etwas über 2 m. Das beachtlich hohe Spiegelgefälle unter dem Berg weist auf einen bedeutenden Durchtrittswiderstand sowohl in der Nagelfluh als auch in den sie unterlagernden Gesteinen hin. Da der Niveauunterschied des Straßenplanums zwischen NW- und SE-Portal des Neutors 5,85 m beträgt, steht also das Berg-Grundwasser unter der riedenburgerseitigen Bergkante das Jahr über tiefer unter Gelände als auf der Altstadtseite. Zwei je 10 m lange Tastbohrungen, Nr. 16/73 und 17/73, wurden im Vorfeld des Mönchsbergs vor dem riedenburger Portal des Neutors hergestellt. Wie in Abbildung 1 eingetragen, wurden in diesen beiden Bohrlöchern — wider Erwarten — ungewöhnlich hohe Einzelwerte für den Grundwasserstand gemessen. Sie sind bislang nicht zu erklären. Leider können sie nicht

überprüft werden, weil die Bohrungen sofort nach Herstellung abgeworfen werden mußten. Es handelt sich bei jenen beiden ausgefallenen, hohen Meßwerten kaum um Fehler. Beide Spiegelstände wurden an verschiedenen Tagen in verschiedenen Bohrlöchern festgestellt und lagen trotzdem nahezu gleich hoch. Die Bohrungen Nr. 16/73 und 17/73 waren zur Erkundung des Baugrundes im Bereich der Einfahrtskünette hergestellt worden. Ihr Bau wird vielleicht zur Lösung der derzeit noch offenen Frage beitragen.

Sowohl unter dem Mönchsberg als auch in seinem südwestlichen Vorland sind die Gesteinsverhältnisse im Grundwasserniveau so komplex und ist die Unterkante des wasserdurchlässigen Konglomerats über undurchlässigen, feinstoffreichen Unterlagsgesteinen so uneben, daß eine auch nur angenähert ebene Kluftwasserspiegelfläche kaum zu erwarten wäre.

Im engsten Bereich der Manganhöhle, dicht vor dem NNE-Rand des untersuchten Abschnitts des Mönchsbergs ist auf etwa $30 \times 30 \text{ m}^2$ Grundrißfläche der Gesteinsaufbau bis knapp unter mittlere und höhere Grundwasserstände einigermaßen gleichmäßig: das abgesackte, sperrig gelagerte und damit durchlässige Nagelfluhblockwerk reicht gerade bis zur Mittelwassermarke des GW hinunter. Die Spiegellagen in den beiden Höhlenbohrungen Nr. 30/73 und 38/73 und im Höhlen-„See“ (vgl. Abb. 2 und 4) durften daher für gegebene Zeitpunkte als praktisch gleich innerhalb der 1-cm-Meßgenauigkeit angesehen und deshalb im Diagramm auf eine Linie vereinigt werden.

Im Jahresmittel liegt der Grundwasserspiegel in der Manganhöhle etwa $6\frac{1}{2}$ m tiefer als der Sigmundsplatz 60 m NE von der Höhle. Sigmundsplatz und Pferdeschwemme stehen übrigens nicht mehr auf dem Nagelfluhvorfuß des Mönchsbergs, sondern schon über der Lockermassenfüllung des Salzachtales. Der scharfe Abbruchrand des bis auf wenige dm an das Planum der vom Sigmundsplatz zum Neutor führenden Straße heraufreichenden Nagelfluhsockels war zufällig im April 1974 in einer Rohrkünette aufgeschlossen. Dieser Rand ist vom Portal des Neutors 27 m entfernt. In dem 2 m tiefen Rohrgraben schloß an 60° steil NE-fallender Grenzfläche an die Nagelfluh dicht gepackte, kleinststeinig-sandige, feinstoffreiche (umgelagerte?) Moräne an. Nach Erkundungsbohrungen, die 1955/56 etwa 50 m SE von dieser Stelle für die Fundierung des Neuen Festspielhauses hergestellt worden waren, wird diese Moräne nach der Seite in sandige, fluviatile Ablagerungen übergehen. Größere randparallele, offene Klüfte, von der Art, wie sie A. KIESLINGER (A. KIESLINGER, 1972) rund 70 m SE jener Rohrkünette im Nagelfluhsockel beim Bau des Neuen Festspielhauses feststellen konnte, waren in der Künette beim Neutor nicht zu sehen. Der erwähnte, durch Alluvionenfüllung verdeckte Steilabfall vor dem Nagelfluhsockel ist im Grundriß von der Manganhöhle nur 45 m entfernt. An dieser Grenze von Fels zu Lockergesteinen tritt das Bergwasser in jene über. Das Dach der Manganhöhle reicht 11,5 m über den mittleren Grundwasserspiegel der Höhle hinauf; das heißt es liegt etwa 5 m über dem Niveau des Sigmundsplatzes. Wie schon im Abschnitt 4.2.3. erwähnt, waren in der Höhle noch bis knapp unter ihre höchste Höhe eindeutige Wasserstandsmarken zu sehen; die oberste auf 428,10 m ü. A. Die Höhle war also einst sicher über einen längeren Zeitraum

bis knapp unter ihre Firstlinie und damit mehr als 4 m über heutige Straßenhöhe der benachbarten Altstadt mit Wasser gefüllt. Ein bloß kurzes Aufschwingen eines stationären, tieferen Wasserspiegels, etwa als Folge eines plötzlichen Absinkens des Konglomeratblocks bei einem späteren Nachsturz, hätte kaum die 3 cm breite Wassermarken bei 428,10 m ü. A. erzeugen können; schon garnicht die intensive, scharf abgegrenzte Braunzone mit der Oberkante bei 427,62 m ü. A. Andererseits wäre nicht zu verstehen, wie sich, heutige Geländeformen vor dem Berge vorausgesetzt, in diesem ein Wasserspiegel von 5 m über Altstadtplanum, wie immer er zustande gekommen sein sollte, länger erhalten konnte, wenn die Vorflut nur 25 m weg lag. (Für diesen Fall die Wandkante, nicht der vergrabene Steilabfall!) Daraus ergibt sich aber der Schluß, daß die Höhlenkuppel schon zu einer Zeit ihre heutige Form hatte, als das Gelände vor dem Wandfuß noch etwas 3 bis 4 m über dem heutigen Planum des Sigmundplatzes lag. Das könnte wohl schon vor der römischen Besiedlung gewesen sein.

Auf Tafel 1 sind die dem Autor bis Ende Juni 1974 bekannt gewordenen Grundwasserbeobachtungsdaten als Zeit/Spiegelhöhen-Diagramm zusammengestellt. Es zeichnet sich ein Hochstand für Juni 1973 bzw. Juli 1973 für die stadtseitigen Beobachtungsstellen ab. (1974 war Anfang Juli das Maximum noch nicht erreicht!)

8.2. Kluftwasser über dem Ruhespiegel

Die Kluftwasserführung über dem jeweiligen Ruhespiegel des Bergwassers zeigte in den bisherigen eineinhalb Beobachtungsjahren eine ausgeprägte, stets rasch wirksam werdende Reaktion auf mehrtägiges Regenwetter und auf den Eintritt der Schneeschmelze. Es kommt zwar selbst in den nässesten Zeiten in den Luftschutzstollen nirgends zur Ausbildung kontinuierlicher Rinnstellen. Wohl aber treten dann in der gesamten südwestlichen, dem riedenburger Wandfuß benachbarten Hälfte der Luftschutzanlagen zahllose Feucht- und Tropfstellen auf. Dabei zeichnet sich ein etwa 25 m breiter, nasser Kernstreifen ab. Er erstreckt sich E-W von dem Bereich zwischen dem riedenburgseitigen und dem mittleren Ausgang der Stollen zum Fußgängertunnel des Neutors bis in die westliche Luftschutzkaverne, in der 1943 der weitere Vortrieb wegen der Großklüfte zum Erliegen gekommen war.

Erst längere Beobachtung lehrte, daß jeder Feucht- oder Naßbereich an den rauen Nagelfluhwänden der Stollen mit den sonst oft nur schwer erkennbaren Klüften ursächlich zusammenhängt. Von den eigentlichen Aussickerungsstellen an der Firste kriecht nämlich das Wasser als dünner, unscheinbarer Film jeweils dm-, bisweilen meterweit zu den unregelmäßig begrenzten, unteren Kanten der einzelnen Schichttafeln. Dort erst sind die Tropfstellen und damit die häufig diffusen, weißen Sinterschleier zu sehen. Bei flüchtiger Beobachtung entsteht daher eher der Eindruck, daß die Grenzflächen des Gesteins nach ss die Wasserleitungsbahnen im Berge seien. An den vertikalen Ulmflächen ist der Zusammenhang zwischen sinterbildendem Feuchtigkeitsaustritt und Steilkluft augenfälliger.

8.2.1. Kalksinter

In den 30 Jahren ihres Bestehens wurde in den Naßzonen der Luftschuttkavernen bis zu 2 cm starker, harter Sinter abgesetzt. Freistehende oder -hängende Tropfsteine waren nicht zu sehen, wohl aber bildeten sich im erwähnten, nassen Kernstreifen Wülste an den Sinterwänden nach Art eines Halbreiefs bis zu 2 oder 2,5 cm Stärke und 20 cm Länge. An Eigelege erinnernde, handtellergroße Nester mit je 10 bis 20 voneinander völlig isolierten Pisolithen konnten sich an ständigen Tropfstellen im östlichen Längsgang an Orten entwickeln, an denen die Sohle der Luftschuttkavernen unausgekleidet geblieben war. Dort lagen entsprechend kleine, durch den Stollenbau aus der Nagelfluh gelöste Steinchen in Massen zur Inkrustation bereit. Gelegentlich glückte dem Autor unter einer solchen Tropfstelle eine Beobachtung, die ihm erklärte, wieso selbst gut-kirschkerngroße, bereits weiß inkrustierte Steinchen in solchen Nestern noch unverbunden blieben, während 5 cm neben solchen Dauertropfstellen der Kies bereits zu einer weißen, versinterterten Masse verklebt war: Im mehr-Sekunden-Rhythmus fielen die schweren Wassertropfen von der Decke aus etwa 4 m herunter. Sie trafen einmal dieses, einmal jenes Korn und zwar in der Regel außermittig. Der Impuls veranlaßte das getroffene Korn zu einer ruckartigen Drehung, unter Umständen auch zu mm- bis cm-hohem Springen.

Als erst einmal der Zusammenhang erkannt war, waren die Sinterstreifen die verlässlichsten Anzeiger für Klüfte, auch wenn diese oft nur Zehntelmillimeter weit, ja z. T. nahezu geschlossen waren. Am Kluftwassertransport beteiligen sich ersichtlich alle Klüfte, sowohl solche, die \pm parallel zur riedenburgseitigen Bergwand laufen als auch Steilklüfte, die zu ihr einen beliebigen Winkel im Streichen bilden. Sehr wesentlich nehmen daran auch die steil ESE-fallenden, quer zur Mönchsbergwand streichenden Zugrisse teil, deren örtliche Extreme jene großen, sandgefüllten Klüfte am Westende des Luftschutzsystems sind. Die gelbgraue, lehmige Füllung der Klüfte, besonders der feineren unter ihnen, läßt sich bei genauem Zusehen oft nicht scharf von der Matrix der unmittelbar benachbarten Nagelfluh abgrenzen. Es scheint widersprüchlich, konnte aber sicher beobachtet und im Lichtbild festgehalten werden, daß aus Klüften, die nach ihrem Erscheinungsbild ausgesprochene Zerrklüfte sind, solcher Kluftlehm mm-weit, ja in Einzelfällen bis zu 2 cm weit herausgepreßt ist. Offenbar spielen dabei die tangentialen Druckspannungen, die sich im Fels um das Stollenlumen aufbauten, eine Rolle.

Bei dem winzigen Einzugsgebiet des Mönchsbergplateaus muß man sich wundern, daß es überhaupt zu nahezu ganzjährig aktiven Tropfwasserzonen im Abschnitt zwischen Almkanalstollen und Neutor kommen kann. Die Steilklüfte, die das Wasser bringen, werden in erster Linie aus der weiten Geländemulde unmittelbar südlich der Bürgerwehr, genau über dem Neutor gespeist. In dieser Mulde liegt immerhin um 2 m Boden auf der Nagelfluh. Für den westlichsten Teil der Stollen übernimmt wohl auch der schon genannte „Sunk“ die Rolle der wassersammelnden Mulde. Dagegen fehlen über dem Baubereich „Mönchsberg-Mitte“ sowohl eine Sammelmulde übertage als auch steile Großklüfte, die als Leitungsbahnen wirken könnten. Daher ist dieser Baubereich S vom

Neutor fast trocken. Da hier Klüfte als Leitungsbahnen fehlen, muß sich die Kriechfeuchtigkeit längs der Schichtfugen bewegen und entstehen z. B. an den Wänden über der Buckelreutstraße auffallende Eiszapfenreihen längs der ss-Spuren.

8.2.2. Dauernd nasse Großkluft im Neutor und in der Einfahrtskaverne

Die Fortsetzung der ausgesprochen nassen Zone aus den Luftschutzanlagen nördlich vom Neutor nach SE ist im riedenburgseitigen Teil des „Fußgängertunnels“, der dem Neutor parallel läuft, und im Neutor selbst entwickelt. Während aber in den Luftschutzstollen nur sehr bescheidene Andeutungen E-W streichender Steilklüfte in dieser Naßzone zu sehen waren, klafft im Fußgängertunnel 25 m stadtwärts vom riedenburger Portal die entsprechende Kluft in Lage 257/80° etwa 20 mm weit. Hier sind auch an beiden Ulmen in nassen Zeiten richtige Rinnstellen mit ständigem Wasserfaden — die einzigen im weiten Umkreis um das Neutor! Im benachbarten Neutor selbst läuft diese ständig tropfnasse Kluft nahe dem riedenburger Portal querüber und beißt 15 m südlich von der Neutorachse als krummer, feuchter Steilriß an der südwestlichen Mönchsbergwand aus. Im Grundriß ist diese Großkluft gegen die heutige, teilweise künstlich gestaltete Wandflucht um 30° im Uhrzeigersinn verschwenkt. (Sie liegt also nicht wandparallel.) Im Neutor selbst, nicht aber im Fußgängertunnel daneben, sind übrigens sowohl stadtwärts als auch zum SW-Portal jeweils im Abstand von einigen Metern Parallelklüfte zu jener nassen Großkluft entwickelt. (Eine davon hatte beim Bau des Neutors vor 200 Jahren zu einem lebhaften Meinungsstreit Anlaß gegeben, als es um die architektonische Gestaltung des riedenburgseitigen Portals ging (vgl. A. MUDRICH, 1915). Merkwürdig erschien zunächst, daß die nasse Großkluft wohl im Neutor und im Fußgängertunnel als klaffender Riß zu finden war, daß aber im selben Niveau in der streichenden Fortsetzung in den nur 40 m entfernten Kammern des Luftschutzsystems bestenfalls schwache Andeutungen von Kluftfugen der angegebenen Lage auftraten. Erst als heuer, 1974, rund 10 m über den Luftschutzstollen das Firstengewölbe für die Einfahrtskaverne Nord gefräst wurde, traf man 8 m bzw. 16 m NW von der Achse der „Wendel“ zwei tropfnasse, offene Parallelklüfte an, die eine etwa 6, die andere 15 mm weit. Nach Lage, Aussehen und Tropfwasserführung ließen sie sich zwanglos als die erwähnten Klüfte vom Neutor erkennen. Im Neutor und im Fußgängertunnel reichen diese Klüfte also bis in das Straßenniveau herunter. Von da weg gegen NW verlieren sie sich aber auf diesem Niveau, um erst höher oben wieder als klaffende Fugen in Erscheinung zu treten. Auch diese Großklüfte können sich also nur von oben nach unten fortschreitend geöffnet haben (vgl. Abschnitt 10.2.). Sie sind damit in mancher Hinsicht Parallelfälle zu den beschriebenen Großklüften schräg über dem stadtsseitigen Portal des Neutors und in der Ausfahrtskaverne. Vgl. Demokr. Volksblatt 25. 3. 1948.

8.2.3. Vorrang der Klüfte gegenüber Schichtfugen als Wasserleitungsbahnen

Wo Steilklüfte als Wasserleitungsbahnen zur Verfügung stehen, haben sie im Vergleich zur weniger auffälligen Wasserführung der Schichtfugen der Nagelfluh immer den Vorrang. Das ist nicht nur in den Feuchtbereichen des Kavernen-

systems „Mönchsberg-Nord“ so, sondern auch in den — hier nicht näher behandelten — Luftschutzstollensystemen hinter dem Toscaninihof und hinter dem St. Peter-Friedhof. Im letztgenannten System sieht man bisweilen völlig zerweichte Dolomitgerölle in der Nagelfluh, die sich sozusagen auf halbem Wege zur Bildung der „hohlen Gerölle“ unter Erhaltung mehr-millimeter starker Schalenkrusten befinden. Nagelfluh mit einem ungewöhnlich hohen Anteil an solchen „hohlen Geröllen“ wurde übrigens jeweils auf viele lfm in den Bohrstrecken der Untersuchungsbohrungen nahe beim Neutor erfaßt, die für die Erkundung des Kavernenprojektes Mönchsberg-Mitte hergestellt worden waren. Hier, unter der Einsickerungsmulde an der Bürgerwehr wurde und wird ersichtlich jenes Kalkmaterial aus dem Gestein gelöst, das dann z. T. wieder an den Kavernenwänden nördlich vom Neutor als Sinter ausgeschieden wird.

Wie nicht anders zu erwarten, hat sich die Austrocknung, die im Berge seit Aufnahme der Ausbruchsarbeiten mit Jahresbeginn 1974 einsetzte, bereits durch eine verstärkte Tendenz zur Aufspaltung der Nagelfluh nach den Schichtfugen auch in jenen Luftschutzstollen des Systems „Mönchsberg-Nord“ bemerkbar gemacht, die vorläufig noch vom Kavernenbau unberührt geblieben sind. Von einer wirksamen Härtung der neugeschaffenen Wandzonen im Berge durch die Sinterabscheidung ist vorläufig noch nichts zu merken. Letztere ist noch auf die unmittelbare Kontaktfläche Fels-Luft beschränkt.

9. Zusammenschau zu Klüftung und Wasserführung in den Kavernen

Überblickt man jetzt die geotechnische Gesamtsituation im Mönchsberg beiderseits des Neutors, dann ist der Abfall der technologischen Felsqualität von Südost nach Nordwest nicht zu übersehen: im Projektbereich „Mönchsberg-Mitte“ gab es bisher so gut wie keine Schwierigkeiten durch das Gestein, im Abschnitt „Mönchsberg-Nord“ dagegen Höhlen, Kluftscharen, nasse Zonen und schließlich nahe dem Almkanalstollen eine Situation, die dem Kavernenbau überhaupt ein klares Halt gebot. Das Neutor liegt gerade noch im problemlosen Felsbereich. Man erinnert sich an A. MUDRICHs ausgezeichnete Beschreibung der Geschichte des Baues des Neutors 1764 bis 1767 (A. MUDRICH, 1915). Damals, vor 200 Jahren, kleideten die Gebrüder Hagenauer ihren überharten Konkurrenzkampf gegen den Oberst-Baukommissär Elias von GEYER in betonte Sorge um Schwierigkeiten, die schlechter Fels dem Bau bereiten könnte. Sie verwiesen unter anderem auf die ungünstigen Gesteinsverhältnisse, die die Ausmauerung der südwestlichen 35 lfm des Almkanal-Stollens erforderlich gemacht hatten und prophezeiten daraus untragbare Erschwerungen für den Neutorbau. Als Hofarchitekten hatten sie einen nur zu gut funktionierenden, direkten Weg zum Landesherrn, Erzbischof Graf Sigmund Thun. Ein für Geyer glücklicher Zufall in der Situierung des Neutors brachte das Brüderpaar um den Triumph, Geyer in gesteins-bedingte Schwierigkeiten geraten zu sehen. Wäre das Neutor nur 40 m weiter im NW angesetzt worden, hätte es die allseitig geschlossene Mangan-

höhle anschneiden müssen, wie es nun beim Garagenbau geschah. Das hätte für die damaligen technischen Möglichkeiten allzu große Erschwerungen mit sich gebracht⁶⁾. Den Brüdern Hagenauer blieb trotzdem der Erfolg, daß sie sich spät, als das gute Ende des Neutordurchbruchs schon feststand, doch noch vorspannen konnten. Der durch die wiederholten Interventionen unsicher gewordene Landesherr nahm nämlich Geyer die Gestaltung der Portale weg und übertrug diese Arbeit dem Architektenpaar; eine Zurücksetzung, die Geyer nie mehr verwand. Das war der häßliche Kleinkrieg am Rande einer für ihre Zeit bedeutenden technischen Leistung.

10. Steilklüfte im ehemaligen Steinbruch über dem Neutor

(Vgl. Abb. 7, 8 und 9.)

Ein Problem, mit dem sich A. KIESLINGER als geologischer Berater beim Bau des Neuen Festspielhauses in Salzburg konfrontiert sah, betraf die mehr minder wandparallelen Felsplatten an der Mönchsbergwand südlich vom Neutor (A. KIESLINGER, 1972, S. 816). Er führte diese Aufspaltungen auf Entspannung zurück. Ungefähr in der NNW-Fortsetzung der von KIESLINGER beschriebenen Wandpartie, knapp 45 m NNW vom Neutor, fallen im äußeren, hinter der Pferdeschwemme Sigmundplatz gelegenen Felsbereich einige große Steilklüfte auf. Sie durchziehen von der Plateaukante herunter die ganze Höhe der SE-schauenden, schmalen Stirnwand der seinerzeit nur begonnenen nördlichen Ausweitung jenes Steinbruchs. Der eigentliche Steinbruch aus dem 18. Jahrhundert ist als tiefe Nische im Berg über dem Neutor zu sehen. Mit diesem Bruch hatte man den Schlitz durch den Mönchsberg in Angriff genommen, der als Alternativlösung für den Neutortunnel gedacht war. Die beiden auffälligen Steilklüftspuren, um die es im folgenden geht, kann man von der Straße aus, die vom Sigmundplatz zum Neutor führt, gut ab Plateau bis zum Dach des Hauses Sigmundplatz 11 herunter verfolgen. Dieses Haus, heute „Fruchthof“, ist mit seiner nördlichen Schmalseite direkt an die Felswand angebaut.

10.1. Die Großklüfte als Warner vor möglichen Veränderungen in der Nagelfluh

Nicht zuletzt wegen der räumlichen Nähe dieser Klüfte zu den damals erst projektierten Kavernengaragen war 1972 eine genauere geotechnische Beurteilung jener Risse ein vordringliches Anliegen für die Stadt geworden.

⁶⁾ Auf den Garagenkavernenbau wirkte sich die Höhle sehr störend aus (vgl. Abschnitt 2.1. und 4.1.). Die nächstliegende Abhilfe, die projektierten Kavernen für „Mönchsberg-Nord“ so nach NW parallel zu verschieben, daß sie dem Einfluß der Höhle entzogen sind, kam wegen des Großklüftgewirrs im NW nicht in Betracht. Die Garagenachsen im Grundriß zu schwenken war aber wegen der Luftschutzstollen nicht möglich. Die daher notwendige bauliche „Sanierung“ der Höhle war wegen der geologischen Gegebenheiten technisch sehr aufwendig. Es kam also wie so oft: je interessanter die Geologie, um so mehr Verdruß für die Baudurchführung und um so höhere Kosten für den Bauherrn.

10.1.1. Bergstürze am Mönchsberg

Es hatten sich ja an den Mönchsbergwänden im Laufe der Jahrhunderte schon mehrmals Bergstürze ereignet; der folgenschwerste mit etwa 220 Toten am 12. Juli 1669. Er ist auf die Häuser gegenüber der heutigen Ursulinenkirche, 350 m N vom Neutor, niedergegangen.

Die historischen Bergstürze am Mönchsberg beeinflussten natürlich die Überlegungen zur Überwachung jener beiden Großklüfte. Der Typ der mehr minder wandparallelen Steilklüfte, die eine äußere Lamelle von wenigen Metern Stärke vom großen Nagelfluhkörper losspalten, ist an zahlreichen Wandstellen des Mönchsberges zumindest in Ansätzen zu finden. Es ist anzunehmen, daß auch eine mehr minder vertikale Großklüfte die verhängnisvolle Trennfuge war, durch die sich die Katastrophe von 1669 anbahnte. Im Hinblick auf den Öffnungsmechanismus an den Nagelfluhwänden kennen wir grundsätzlich zwei verschiedene Arten: Klüfte, bei denen das Aufreißen unten, an der Basis der Nagelfluh beginnt (H. CRAMMER, 1903 und 1918) und andere, bei denen die Öffnung des Risses oben beginnt und nach unten fortschreitet (vgl. Abschnitt 8.2.2.). Zu dieser letzteren Gruppe gehören auch die in Rede stehenden Großklüfte schräg über dem Neutor. Sie sind nicht die einzigen ihrer Art an den stadtseitigen Mönchsbergwänden.

Vielleicht ist auch eine nach 1765 abgegebene gutächtliche Äußerung des Oberst-Baukommissärs E. VON GEYER, des Erbauers des Neutors (zitiert von M. — vermutlich: F. MARTIN — in der Salzburger Zeitung vom 13. August 1944) in diesem Sinne zu deuten: „... er (GEYER; der Autor) bestritt, daß an dem Unglück im Jahre 1669 ... , wie damals behauptet worden war, der Umstand schuld gewesen sei, daß die Hausbesitzer den Fuß des Berges geschwächt hätten, indem sie in denselben nach und nach Kammern, Gewölbe und Keller ausgehöhlt hätten. Der Fels des Berges sei derart hart und fest, daß ihm solche künstliche Höhlungen nichts anhaben können. Gefährlich seien aber die sich nach außen öffnenden natürlichen Klüfte, in die von oben und von den Seiten Wasser eindringe, das in gefrorenem Zustande ... den Fels wie ein Keil sprengt. GEYER empfahl regelmäßige, alljährlich vorzunehmende Bergskarrierungen, die von nun an (1778) auch wirklich in jeden Frühjahr vorgenommen wurden“ (M., 1937).

Die bis auf unsere Tage alljährlich fortgesetzte, sehr eingehende Kontrolle der Mönchsbergwände durch die „Bergputzer“ hat sich als segensreiche Maßnahme zum Schutze der Bevölkerung und der Stadt erwiesen. Seither mußten im Laufe der Jahre immer wieder kleinere und auch größere Felspartien, die sich gelockert hatten, gesichert oder je nachdem auch abgeräumt werden. So unter anderem im Jahre 1887 an einer Gefahrenstelle außerhalb des Klausentors. Die Bergputzer hatten damals die bedrohliche Situation aufgespürt und die Stadtgemeinde zog daraufhin einen Geologen der k. k. Geologischen Reichsanstalt als Gutachter bei. Ein früher Fall baueologische Beratung! Sbg. Volksblatt 21. 4. 1937.

10.2. Untersuchung der Klüfte über dem Neutor

Die Städtische Baudirektion beauftragte 1973 den Autor, jene steilen Großklüfte an der Steinbruchwand über dem Neutor zu untersuchen. Aus der ange-troffenen Sachlage gewann der Gutachter die Überzeugung, daß ein latenter Zustand, also bestimmt keine unmittelbare Gefahrensituation vorliege. (Eine solche hätte bauliche Sofortmaßnahmen, wie Ankerungen, Unterfangungen oder

MÖNCHSBERG, ÄUSSERER ABSCHNITT DER NW-WAND DES EHEMALIGEN
STEINBRUCHS ÜBER DEM NEUTOR

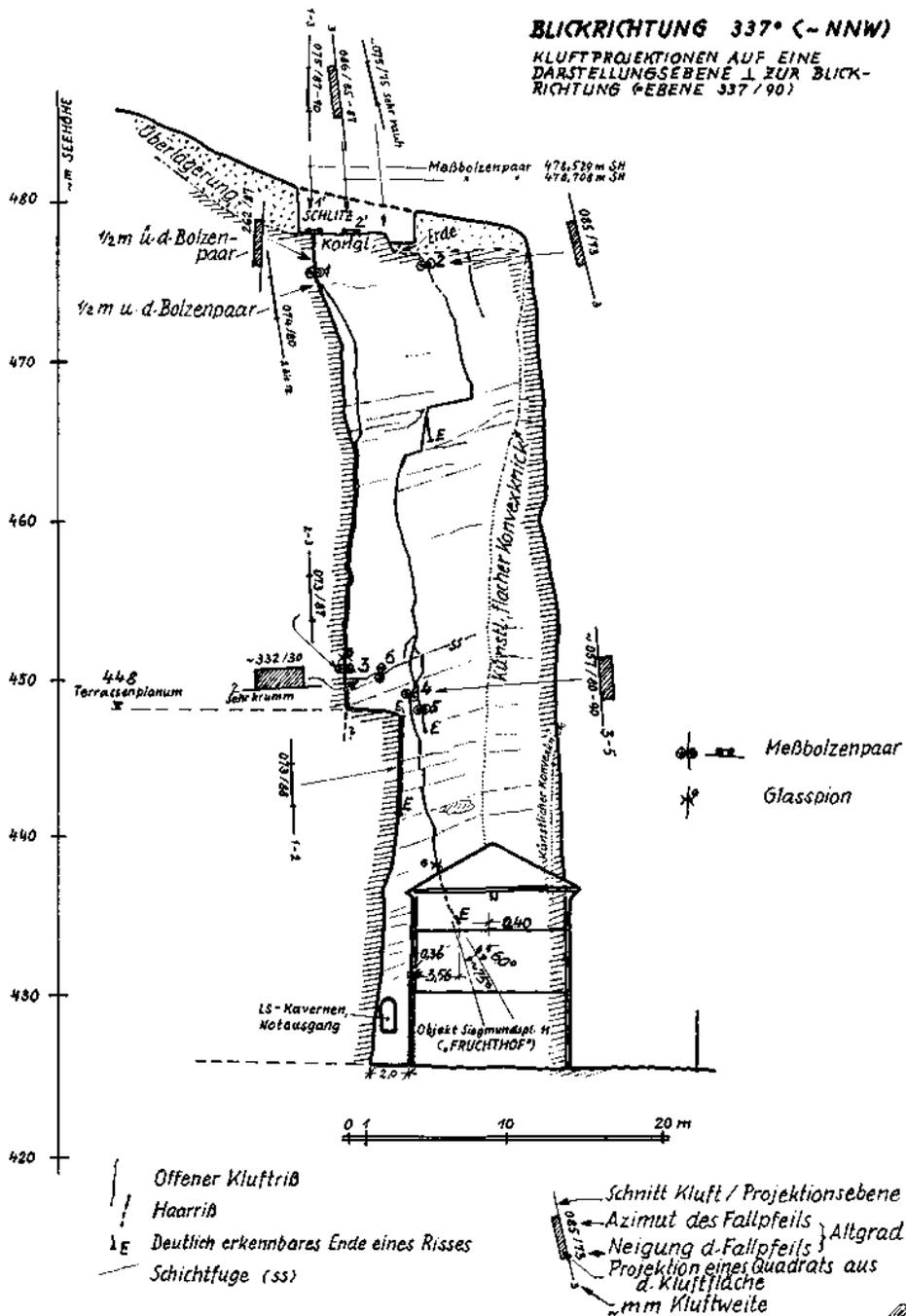


Abb. 7.

Außerer, altstadtseitiger Abschnitt der NW-Wand des ehemaligen
Steinbruchs über dem Neutor.

Die großen, schon von der Straße aus gut sichtbaren Risse und die Lage der Meßstellen. Kluft-
darstellung wie in Abbildung 3.

Abräumungen, unter Umständen sogar administrative Notverfügungen, z. B. Räumung bedrohter Objekte mit sich bringen können.) Mit diesem ersten Befund war schon die wichtigste Frage des Auftraggebers — akute Gefahr oder nicht — beantwortet. Die weiteren Untersuchungen an den Klüften konnten damit frei von Terminbedrängnis mit dem Ziele betrieben werden, ein verlässliches Warnsystem einzurichten. Es sollte jede Gefahrensituation sicher im noch ungefährlichen Frühstadium zu erfassen erlauben, außerdem — nach den Vorstellungen des Autors — technisch möglichst unkompliziert funktionieren und, soweit vertretbar, nicht zu aufwendig sein. (Die Stadtbaudirektion hat übrigens die Frage eventueller Kosten für die Sicherheitsmaßnahmen dem Gutachter gegenüber nie angeschnitten!)

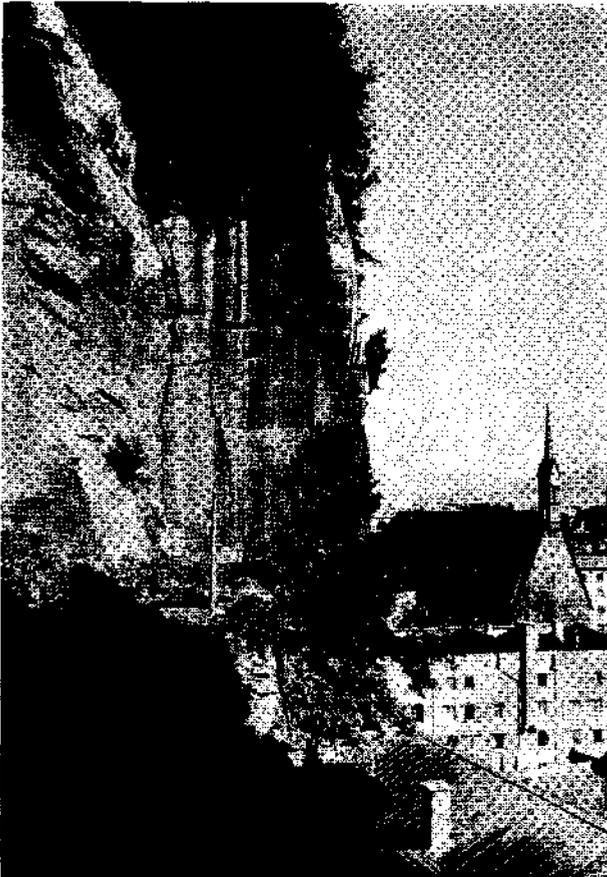


Abb. 8.

Ehemaliger Steinbruch über dem stadtseitigen Portal des Neutors. Blick von der Terrassenfläche (= Sohle des ehemaligen Steinbruchs) auf 448 m ü. A. nach NNW auf die SE-schauende, von den Steilklüften durchzogene Stirnwand einer Erweiterung des Bruches.

Mit den Augen des Geologen gesehen, sind Klüfte wie jene in der Mönchsbergwand natürlich nichts Endgültiges, Unveränderliches. Sie können nur der Ausdruck eines Durchgangszustandes im einsinnig fortschreitenden, natürlichen Abbau aller übersteilten Formen sein, der vielleicht unauffällig, sicher aber unaufhaltsam abrollt. „Geologische Zeiten“ werden für die Überlegungen des Ingenieurs gerne unbesehen — und häufig auch zu Recht — als so immens lang angesehen, daß ein gegebener (Fels-)Zustand näherungsweise als quasistationär für die nächsten paar hundert Jahre angenommen wird. Ist diese verallgemeinernde Vorstellung richtig? Welche gewaltigen und in ihrer Summe sehr augenfälligen Veränderungen sind doch an den glazial übersteilten Landschaftsformen allein in den 12.000 bis 14.000 Jahren seit dem Rückgang der Würmgletscher zustande gekommen! Bedenkt man überdies, daß das Spiel von Spannungshäufung und Spannungslösung eher in Ruckeln als gleichmäßig ablaufen wird, dem Wesen nach mit dem „stick-slip“ bei Gleitungen verwandt (vgl. L. MÜLLER und G. LÖGTERS, 1974, S. 61), dann verschiebt sich die Perspektive. Dies um so mehr, als durch menschliche Tätigkeit nun an den Mönchsbergwänden zumindest seit Jahrhunderten Veränderungen — Skarpierungen, örtliche Unterschneidungen und Unterhöhlungen — herbeigeführt wurden. Keine dieser Maßnahmen ist für sich allein ausschlaggebend, gewiß aber der Lockerung des Felsgefüges eher förderlich als hemmend.

Wieweit die Felsstürze im Laufe der Geschichte der Stadt allein dem natürlichen Ablauf zuzuschreiben sind, wieweit sie durch Bautätigkeit künstlich gefördert wurden, wird sich im nachhinein kaum reinlich trennen lassen.

Für die Untersuchung jener beiden großen Steilklüfte ergaben sich zu Anfang folgende Hauptfragen:

- Räumliche Lage und Erstreckung der Klüfte im Grundriß und nach abwärts. Dabei standen zunächst die alten, aus Kluftbeobachtungen am benachbarten Rainberg entwickelten Vorstellungen H. CRAMMERS (H. CRAMMER, 1903, 1918) zur Debatte, nach denen die wandparallelen Großklüfte durch Weggleiten randlicher Felspartien auf nachgiebiger, gleitfähiger Unterlage zustande kämen. Neuerdings haben BRUNNER und SCHEIDEGGER für spezielle Fälle ähnliche Gedankengänge (ohne Bezug auf den Mönchsberg) verfolgt (F. K. BRUNNER, A. E. SCHEIDEGGER, 1973).
- Feststellung der tatsächlichen Kluftweiten hinter der breit ausgewitterten, äußersten Dezimeterzone an der Wand. Kluftinhalte, Wasserführung dieser Klüfte.
- Frage, ob die großen Risse reine Zerrklüfte oder Verschiebungsklüfte seien. Eine Frage auf die ohne nähere Untersuchung die Antwort für die östliche der beiden Großklüfte eventuell „sowohl als auch“ lauten hätte können: also neben Ablösung parallel zur stadtseitigen Hauptwand Schub parallel zur SSE-schauenden Steinbruchwand. Kluftverästelungen und das Springen der Kluft an Schichtfugen haben nämlich eine Art Kassettierung der äußeren, von der Hauptmasse abgetrennten Nagelfluhbereiche herbeigeführt. Falls Verschiebungen längs der Klüfte zu beobachten, Feststellung eventueller Versetzungsbeträge und Auswertung von Bewegungsspuren.
- Frage, ob die großen Klüfte schon vor dem Steinbruch dagewesen sind, ob sich dieser also mit der Festlegung der zahlreichen ein- und ausspringenden Wandkanten den Klüften angepaßt hat. Die andere Möglichkeit wäre gewesen, daß diese Klüfte erst Folgeerscheinungen der Kerbwirkungen, die von den einspringenden Winkeln des Steinbruchs ausgingen, waren. Ein vorgefäßtes Konzept wäre der Beantwortung dieser Frage nur hinderlich gewesen.

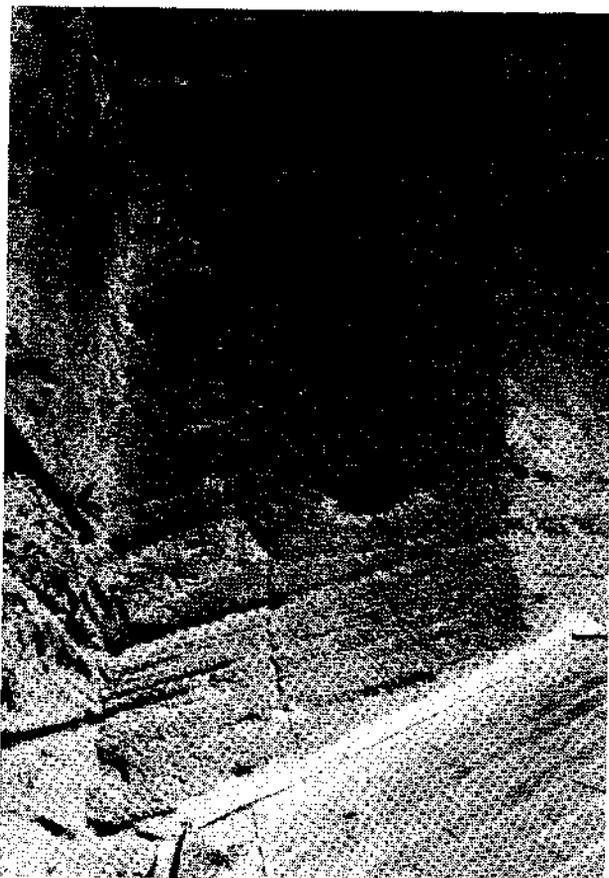


Abb. 9.

Ehemaliger Steinbruch über dem stadtseitigen Portal des Neutors. Blick auf die untere Fortsetzung der in Abbildung 8 aufgenommenen Wand. Zone zwischen der Terrassenfläche 448 m ü. A. und dem Dach des Hauses Sigmundplatz 11. Große, absätzigte Kluft. Vergleiche Abbildung 7.

— Frage, welches Überwachungssystem ausreichen wird, um das Verhalten dieser großen Klüfte in der Zukunft, besonders in der Zeit des Kavernenbaues so sicher im Griff zu behalten, daß man von jeder Veränderung an der äußeren Felszone zeitgerecht verlässliche Kenntnis bekommt.

Voraussetzung für die Zulässigkeit der Überlegungen zum letzten Punkt obiger Aufstellung war dem Autor die aus fremder und eigener Erfahrung gewonnene Überzeugung,

1. daß Klüfte von der Art, wie sie im folgenden noch näher beschrieben werden, so gut wie sicher nicht spontan und ruckartig so weit aufgehen werden, daß

ein bis dahin harmloser Zustand über Nacht zum Niederbruch führt. Mit anderen Worten: daß sich ein gefährlicher Zustand über eine wochen- oder monatelange, vielleicht ruckweise ablaufende Einleitungsphase anbahnen wird.

2. daß sich diese Entwicklung zum Ungünstigen an progressiver Kluftweitenänderung verraten müßte.
3. daß die beiden Großklüfte auf jede mögliche Spannungsumlagerung in der gefährdeten Außenzone des Berges sicher und meßbar reagieren; daß die beiden Klüfte als Indikatoren zur Bauüberwachung also ausreichen werden.

Vorausgesetzt war aber dabei auch, daß der — damals noch bevorstehende — Bau der Garagenkavernen die Vorgänge an den Klüften nicht so sehr beschleunigen werde, daß man sich nicht durch entsprechende Verkürzung der Meßintervalle gegenüber fatalen Überraschungen absichern könne.

10.3. Hinweise auf Erstreckung und Bildungsweise dieser Klüfte

Von Haus aus boten sich für die Erkundung der Tiefenerstreckung der Klüfte die Stollen zum Notausgang der Luftschutzkavernen Neutor-Nord in den schmalen Hof zwischen der Bergwand und dem Hause Sigmundplatz 11 an. Auch der 100 m NNW vom stadtseitigen Neutorportal ausmündende Kavernenausgang zu ebener Erde in den Hof des Bürgerspitals und der Ausgang beim Gstätentor waren günstige Untersuchungsstrecken. In keinem der in Frage kommenden Stollenabschnitte konnte aber Verdächtiges gefunden werden. Damit war fürs erste festgestellt, daß keine der beiden zu untersuchenden Klüfte (vgl. Abb. 7, 8 und 9) an diesen drei Stellen als offene oder zumindest erkennbare Kluftfuge bis auf Straßenhöhe der Altstadt herunterreicht. Selbst wenn die Klüfte als offene Fugen im Zwischenbereich zwischen jenen drei Teststrecken tiefer hinuntergreifen sollten, war mit dem eindeutig negativen Suchergebnis gesichert, daß die Vorstellung H. CRAMMERS (CRAMMER, 1903) über ein Aufreißen der wandnahen Klüfte am Mönchsberg und Rainberg von unten nach oben wenigstens auf die beiden in Rede stehenden Großklüfte nicht anwendbar ist. Es ließ sich vielmehr zeigen, daß der Vorgang sicher in Richtung von oben nach unten erfolgte — und fortschreitet (vgl. Abschnitt 8.2.2.). Auf dem Dachboden des Gebäudes Sigmundplatz 11 kann man nämlich das derzeit untere Ende der östlichen, stadtseitigen der beiden Klüfte einwandfrei sehen (Abb. 7). Nur dünn gekalkte Nagelfluh bildet die nordwestliche Stirnwand des Dachbodens. Dort ist die Kluft als fortlaufender Riß von wenigen Zehntelmillimetern Breite entwickelt. Die ausgefrorene, ausgebröckelte Außenzone, die die Kluft im Bereich über dem Hausdach so auffällig macht, fehlt natürlich an der Dachbodenwand. Die Spur des Haarrisisses biegt an ihr schaufelförmig aus der Steillage auf 60° Neigung gegen die Horizontale nach NE aus. Noch 40 cm über dem Fußboden des Dachbodens erlischt — derzeit — der Haarris. Ohne Zweifel zeigt der Haarris eine Veränderung der Kluftweite nach Aufbringung des Kalkanstrichs an. Nach der frischen Farbe des dünnen Kalkanstrichs auf der gewachsenen Nagelfluh kann dieser kaum älter als 40 oder 50 Jahre sein. (Als sicher konnte nur ermittelt werden, daß seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges,

also in den letzten 30 Jahren nie gekalkt wurde.) Bei der sehr geringen Stärke des Kalkanstrichs kann mit gutem Grunde angenommen werden, daß der Veränderungsbetrag, der der Rißweite in der Kalkhaut entspricht, fast — wenn nicht ganz — die Kluftweite selbst ist. Entweder war der Riß in der Zeit vor der Kalkung nur ein äußerst feiner Haarriß, oder er ist überhaupt erst nach Aufbringung des Anstrichs zustande gekommen. Ersteres ist im Hinblick auf den Zustand der Kluft über dem Dach wahrscheinlicher.

Im Freien, über dem Dach des Hauses Sigmundplatz 11 ist der Haarriß aus der Dachbodenwand tatsächlich schon zirka 2 mm-weit. Noch höher oben, auf Terrassenhöhe 448 m ü. A. (= Sohle des ehemaligen Bruches), entsprechend etwa einem Drittel der gesamten Mönchsberghöhe, ist dieser Riß auffallend stark zerschlagen. (Abb. 8, rechts neben dem unteren Drittelpunkt des Leitungsmastes; Abb. 7, Bildmitte.) Man wird nicht fehlgehen, wenn man diesen über wenige Meter Höhe reichenden Zerschlagungsknoten ursächlich mit dem Auftreffen der horizontalen Kante zwischen Steinbruchsohle und unterstem Wandabschnitt auf die Wand über der Terrasse in Zusammenhang bringt, in der die großen Kluftspuren zu sehen sind. Die Summe der wahren Kluftweiten am Zerschlagungsknoten selbst läßt sich schwer angeben. Über dem Zerschlagungsbereich ist die Kluft hinter der ausgewitterten, oberflächlichen Rinne 3 bis 4 mm weit. An den Meßbolzenpaaren wenige Meter unter der Wandkante zum Plateau ist zu sehen, daß die beiden Klüfte auch oben nicht viel weiter klaffen als 30 m tiefer, knapp über der Terrasse.

An der östlichen der beiden Großkluftspuren fällt schon bei Betrachtung aus der Ferne auf, daß sie recht krumm verläuft und zweimal um Meterbeträge an Schichtfugenflächen springt (Abb. 7 und 8); Kluftversetzungen, die an sich mit Verschiebungen nichts zu tun haben. Weniger auffällig, aber für die Deutung der Entstehung der Klüfte wichtig sind geringfügige, aber deutlich erkennbare Absätzigkeiten an dieser östlichen Kluft im tiefen Wandbereich zwischen Terrasse 448 m ü. A. und Hausdach (Abb. 7 und 9). Die Kluft springt gerade dort um cm oder dm aus der Richtung, wo seinerzeit für den Steinbruchbetrieb würfelförmige Nischen zum Einsetzen von Gerüstpfosten hergestellt worden waren. Diese Nischen sind im kluftfreien Hauptteil des Steinbruchs in Reihen angeordnet. Daß ihre scharfen Kanten gerade dort, wo die Nischen von der großen Steilkluft geschnitten werden, Eckenausrundungen durch verstärkte Verwitterung aufweisen, ist leicht zu verstehen. Der Autor sieht in diesem Springen des Kluftverlaufs gerade an den Nischen einen Hinweis dafür, daß diese großen Steilklüfte erst an Stellen aufgerissen sind, an denen der Steinbruchbetrieb durch die Wandgestaltung die Kerben und Kanten als Ansatzpunkte geboten hat. An diesen kam es dann erst durch die örtlichen Kerbwirkungen zum Bruch des Gesteins. Also Klüfte in diesem Falle als Folge und nicht als Leitelemente der Steinbruchgestaltung.

Der westliche der beiden großen Risse, der sich dicht an die scharfkantige, einspringende, vertikale Wandverschneidung des alten Steinbruchs hält, hat dort, wo er in die Terrassenfläche 448 m ü. A. eintaucht, etwa 3 mm wahrer Weite. Sein unteres Ende muß noch irgendwo über Kote 429 m ü. A. liegen. Er

hätte sonst der intensiven Suche in den Luftschutzstollen auf der kurzen in Frage kommenden Strecke kaum entgehen können.

Ein kürzerer Riß, der sich genau an die scharfe, einspringende, vertikal laufende Wandverschneidung zwischen Längswand und Stirnwand des schmalen Hofes anlegt (Riß 073/88 auf Abb. 7) hat noch über dem Notausgang des Luftschutzsystems sein unteres Ende.

Auf Meter-Entfernung besehen sind diese großen Steilklüfte und ihre Verästelungen recht uneben. Von hineingefallenem Schmutz abgesehen, scheinen sie so gut wie leer zu sein. Die Kluftränder passen dort, wo die Bruchform im cm- und dm-Bereich eckig abgewinkelt in der Wand verläuft, ohne Anzeichen für Verstellung zusammen.

Bemerkenswert und eher unerwartet ist, daß die beschriebenen großen, offenen Steilklüfte in der SSE-schauenden Wand des Steinbruchs über dem Neutor keine Wasseraustritte zeigen. Irgendwo kann also im „Normalfalle“ das auf dem Plateau aus der Bodendecke in die Nagelfluh eintretende Sickerwasser austreten, ohne die Klüfte aufzufüllen. Ganz nahe neben den Kluftspuren auf dem Plateau über der Wand schlug im Zweiten Weltkrieg eine Bombe in die Schieberkammer des Nutzwasserbehälters der Stadt ein. Der Gedanke ist nicht ganz von der Hand zu weisen, daß damals gleichzeitig mit dem Bruch des Wasserbehälters Verbindungswege in der Bodenbedeckung zu den Steilklüften aufrissen und es zu einer einmaligen, unter natürlichen Verhältnissen nie erreichten Füllhöhe in den benachbarten wandnahen Steilklüften kam. Hat dieser ungewöhnliche, einmalige Kluftwasserdruck erst den Haarriß geschaffen, der, wie geschildert, den sicher nicht sehr alten Kalkanstrich an der Dachbodenwand des Hauses Sigmundsplatz 11 durchsetzt?

10.4. Überlegungen zum Entwurf des Kluftüberwachungssystems im stadtseitigen Wandbereich. Vgl. Abb. 7 und 8.

Das Erlöschen der beiden Großklüfte nach unten und das Zusammenpassen der Kluftränder erlauben den Schluß, daß sich an keiner der beiden Großklüfte bisher Vertikalversetzungen angebahnt haben. Sie sind reine Zerrklüfte. Derzeit deutet nichts auf andere Bewegungsarten, als auf einfaches Auf- und Zuklappen hin.

Auf diesen Mechanismus wurden die Vorschläge zur Überwachung der beiden Großklüfte abgestellt. Die Meßbolzenpaare wurden in 2 Wandhorizonten, und zwar auf Terrassenhöhe und knapp unter dem Plateau, ferner in einem Schürfschlitz auf dem Plateau, der die Nagelfluh freilegte, eingerichtet (Abb. 7). Warum einfache Meßbolzenpaare an Stelle weiter entwickelter Geräte mit höherer Meßgenauigkeit? Es stünden doch periodisch abzulesende oder kontinuierlich aufzeichnende Extensometer, Kluftdilatometer u. dgl. zur Verfügung. Jedes dieser Geräte hat natürlich seine besonderen Vorzüge, stellt aber auch seine besonderen Ansprüche im Hinblick auf die Meßvoraussetzungen. Je einfacher, je weniger kompliziert Einrichtungen sind, die an einer freien Wand eingebaut werden, um so weniger sind sie störanfällig. Hat man sich einmal von der Faszination der Tausendmillimeter-Genauigkeit freigemacht und zur

Erkenntnis durchgerungen, daß für die gegebenen, begrenzte Aufgabe z. B. Meßgenauigkeiten von $\pm 0,1$ mm ausreichen, dann sind an einfachen Meßbolzen weder Fehler durch mechanisches Klemmen, noch durch Wackelkontakte oder durch Kriechströme infolge von Feuchtigkeitsschlüssen zu befürchten. Die Meßbolzen selbst sind so gut wie wartungsfrei. Als Meßgerät genügt eine einfache Schiebelehre. Die Messung selbst kann ohne Schwierigkeiten auch von einem gewissenhaften Nicht-Techniker durchgeführt werden und die Zahlenwerte einer Meßreihe sind mit einem Blick, ohne Umrechnung zu deuten. Hundertstel und tausendstel Millimeter sind selbstverständlich dort am Platz, wo so kleinen Veränderungen tatsächlich Aussagewert zukommt. Das gilt vor allem für das Labor — auch für den Naturversuch unter laborähnlichen Voraussetzungen —, für den Modellversuch und für die Grundlagenforschung. An der freien, Wind- und Wettereinflüssen ausgesetzten Außenzone einer Felswand spielen sich allein schon durch den Tagesgang der Temperatur erfahrungsgemäß reversible Weitenänderungen an Klufträndern in der Größenordnung von halben und ganzen Millimetern ab. Das was aus den Messungen im Falle der Mönchsberg-Klüfte festgestellt werden soll, eine einsinnig fortschreitende Veränderung, überlagert den Tagesgang. Der Einzelmessung käme daher auch nur Gewicht im Rahmen des Kollektivs der Messungen zu, deren jede von variablen Einflußgrößen abhängt. Wozu also im gegebenen Falle genauer als auf Zehntelmillimeter messen? Der Geologe meint, gestützt auf einige einschlägige Erfahrungen bei Kraftwerksbauten, daß in solchen Fällen einer vernünftigen, den Klimabedingungen und eventuellen Baueinflüssen angepaßten Regelung der zeitlichen Dichte der Messungen mehr Bedeutung zukommen wird, als einer Übersteigerung der Genauigkeit der Einzelmessung.

In Jahren, in denen im wesentlichen nur der klimatische Gang die Kluftweite beeinflusst, mögen je nach dem Falle 3 oder 4 Orientierungsmessungen je Jahr genügen. Sobald dabei nicht sofort-erklärbare Veränderungen registriert werden oder neue Umstände (z. B. Bauanfang) dazukommen, können die Meßfolgen beliebig enger angesetzt werden. Im Falle Mönchsberg war nicht auszuschließen, daß der zu Beginn der Kluftmessungen erst bevorstehende — inzwischen schon weit fortgeschrittene — Kavernenbau innerhalb kurzer Fristen zu Veränderungen im Zustand des Berges führen könnte, die sich auch an den Klüften auswirken würden. Dabei war sowohl an Spannungsumlagerungen als Folge des Hohlgebäudebaues zu denken, wie auch an Schockeinflüsse durch Sprengungen. Um sicher zu gehen, wurden bereits die ersten Probesprengungen in ihren unmittelbaren Auswirkungen im Berg und an seinen Außenflächen gemessen. Erst darauf aufbauend legte man sich auf einen dreitägigen Meßturnus für möglicherweise kritische Bauphasen fest.

Im Bedarfsfalle können übrigens durch den Ausbau von Bolzenpaaren zu Dreiergruppen und durch entsprechende räumliche Anordnung derselben auch Verstellungen in 2 oder 3 Dimensionen leicht erfaßt werden. Solche Systeme wurden z. B. schon vor 10 Jahren im Kontrollgang des Staudammes Durlaßboden mit Erfolg angewandt.

Eine Frage betraf die Erfassung der räumlichen Erstreckung und des Verlaufs der unter Meßüberwachung gestellten Steilklüfte. Sie setzen zwar an der Querwand im Steinbruch so an, daß mehr minder parallele Lage zur großen Haupt-

wand anzunehmen wäre. Außerdem hat die verbreitete Vorstellung von den „wandparallelen Klüften“ eine gewisse Suggestivkraft. Trotzdem wurde dieses vorgefaßte Konzept nicht als gegebene Tatsache betrachtet. (Auf der riedenburgiger Seite des Mönchsbergs ist z. B. eine große Steilkluft in vergleichbarer Position bekannt. Auch an ihr setzt der Riß so an, daß man ihn zunächst für „wandparallel“ halten müßte. Im abgedeckten Aufschluß auf dem Plateau sieht man aber, daß die Fuge bereits nach wenigen Dezimetern um etwa 40° so schwenkt, daß sie schärg hinauszielt.) Bei Klüften mit so unregelmäßig zackigem Verlauf ihrer Spur an einer Wandfläche, wie etwa dem östlichen der beiden Risse im Neutorsteinbruch, muß man wohl oder übel annehmen, daß so grobe Richtungsänderungen auch in der Längserstreckung bestehen könnten.

Theoretisch mag es nun eine einfache Aufgabe sein, den Verlauf einer Kluft im Bergkörper klarzustellen. In der Praxis kann die Beantwortung dieser Frage je nach dem Falle recht aufwendig werden. Man könnte an Felsabdeckungen, optische Bohrlochsonden u. dgl. denken. Mit Rücksicht auf die begrenzte, praktische Zielsetzung — frühzeitige sichere Erfassung beginnender irreversibler Veränderungen — war zu überlegen, wo die sachlich gerechtfertigten Grenzen für den Erkundungsaufwand liegen. Safety first! In dieser Hinsicht erübrigt sich natürlich jede Diskussion. Der wirklich gefährliche Fall wäre gewesen, wenn eine der beiden Großklüfte statt wandparallel zu bleiben so ausgeschwenkt hätte, daß dadurch ein Felspfeiler von seinem Hinterland abgetrennt worden wäre. Dieser Fall konnte aber ausgeschlossen werden. An der blanken, gut einzusehenden Felswand hätte man nämlich einen solchen Kluftausbiß sicherlich nicht übersehen können. So überlegend konnte man sich darauf beschränken, den beiden Großklüften an der stadtseitigen Neutorterrasse mittels eines Schürfschlitzes auf dem Plateau nachzugehen. (Wegen der örtlichen schwierigen, mit Steinschlaggefahr verbundenen Verhältnisse verzichtete man einstweilen auf den naheliegenden Versuch, die Kluftspuren in einer zusammenhängenden Felsabdeckung ab Wandkante freizulegen.)

Der Untersuchungsschlitz wurde im Grundriß parallel zur Stirnwand des Steinbruchs, an der die beiden Risse zu sehen sind, in etwa 6 m Abstand von der Wandkante angelegt. Die erdige Überlagerung auf der gewachsenen Nagelfluh war über 3 m stark, 6 m Abstand erschienen fürs erste nah genug an der Wandkante, um die Klüfte auch dann noch in den künstlichen Aufschluß zu bekommen, wenn sie im Streichen um zirka 20° abschwenken sollten. Andererseits waren 6 m auch schon ein ausreichender Abstand, um mit Aussicht auf Realität über Wandaufschluß und Schürfschlitz ein „mittleres“ Streichen extrapolieren zu können. Es zeigte sich übrigens, daß der gewählte Abstand von der Wandkante eher zu viel als zu wenig war. Die bergseitige Fuge, die im Schlitz angetroffen wurde, läßt sich zwar so gut wie sicher mit der westlichen der beiden Wandklüfte verbinden. Aber die östliche, stadtseitige Kluft könnte man mit gleicher Wahrscheinlichkeit mit zwei ungefähr gleich starken, offenen Klüften im Schlitz verbinden, die voneinander etwa eineinhalb Meter Abstand haben. Die Kluftspuren auf der Nagelfluh im Schürfschlitz streichen ziemlich genau parallel zu der NNW-SSE ausgerichteten Hauptwand des Mönchsbergs. Daher wird die

Annahme berechtigt sein, daß die beiden Großklüfte bzw. auch von ihnen abzweigende Klüfräste oder Parallelrisse tatsächlich mehr minder parallel zur Hauptwand laufen. Wie weit sie ab Stirnwand des Steinbruchs die Außenzone des Nagelfluhkörpers noch über jene 6 m hinaus nach NNW aufspalten, ist aus den bisherigen Erkundungsergebnissen nicht zu ersehen.

Sollten die Beobachtungen an den Meßbolzenpaaren einmal etwas anzeigen, was als gefährliche Versteilung des Gradienten im Klüftweiten-Zeit-Diagramm erscheint, können Schreibgeräte oder Alarmgeräte mit Grenzkontakt-Auslösung rasch zusätzlich installiert werden.

10.5. Bisherige Ergebnisse der Klüftüberwachungen

Das Stadtbauamt hatte die Ausgangsmessungen an den Bolzenpaaren und die ersten Wiederholungsmessungen noch 1973, also vor Baubeginn durchgeführt. In der Folge wurden von diesem Amt die Bolzenabstände immer wieder gemessen. Während der als möglicherweise kritisch angesehenen Bauphasen wurden, wie geplant, die Zeitabstände zwischen den Messungen auf 3 Tage verkürzt. Ohne im Detail auf die Meßergebnisse einzugehen sei kurz vorweggenommen: die nun schon über ein halbes Jahr intensiv laufenden Bauarbeiten im Berge wirkten sich vorläufig fast nicht merkbar an den beiden großen Steilklüften aus. Selbst als nur 40 m hinter der altstadtseitigen Wand ein Schrägschacht für das Belüftungssystem bis zum Plateau des Mönchsbergs in vorsichtiger Sprengarbeit hergestellt und in einem folgenden Arbeitsgang planmäßig ebenfalls durch Sprengungen noch ausgeweitet worden war, rührte sich nichts an den beiden Indikatorklüften; sehr zur Freude der Kavernenbauer und — hoffentlich — zur Beruhigung derer, die den Sprengarbeiten mit großem Pessimismus gegenüberstanden.

11. Dank

Es ist dem Autor eine angenehme Pflicht, all denen zu danken, die ihn in seiner Arbeit gefördert haben. Die Stadtbaudirektion Salzburg und die Geschäftsführung der Salzburger Parkgaragen-Gesellschaft gaben die freundliche Erlaubnis zur Veröffentlichung der Teilergebnisse. Der ständige kameradschaftliche Gedankenaustausch mit Herrn Dr. W. DEMMER, Wien, und mit den projektierenden Ingenieuren Dipl.-Ing. M. HEINRICH, Salzburg und Dipl.-Ing. O. M. VOGLER, Wien, sowie mit den Ingenieuren der Tauernplan Ges. m. b. H., Salzburg, würde es schwer machen, das Gedankengut, das jeweils der eine oder der andere zum besonderen Problem beisteuerte, scharf abzutrennen. Herzlich gedankt sei auch Herrn Prof. Dr. W. KLAUS, Universität Wien, für palynologische Hilfe, Herrn Dr. G. RIEDMÜLLER, Hochschule für Bodenkultur, Wien, für mehrfache freundliche Hilfe durch röntgendiffraktometrische Untersuchungen sowie Herrn Dr. W. CONSTANT, TH Wien, der eine funkenspektrometrische Untersuchung des Manganschlammes beitrug.

Die vorliegende Arbeit entspricht dem Erkenntnisstande von Anfang Juli 1974.

Literatur

- BRADLEY, W. C.: Large-Scale Exfoliation in Massive Sandstones of the Colorado Plateau. — *Bull. Geol. Am. Soc.*, 74, S. 519—528, Washington 1963.
- BRUNNER, F. K., & SCHEIDEGGER, A. E.: Exfoliation. — *Rock Mech.*, 5, S. 43—62, Wien 1973.
- CORNELIUS, H. P., PLÖCHINGER, B., & HACKL, O.: Der Tennengebirgs-N-Rand mit seinen Manganerzen und die Berge im Bereich des Lammertales. — *Jb. Geol. B.-A.*, 95, S. 145—225, Wien 1952.
- CRAMMER, H.: Das Alter, die Entstehung und Zerstörung der Salzburger Nagelfluh. — *N. Jb. für Min. usw.*, Beil.-Bd. 16, S. 325—334, Stuttgart 1903.
- CRAMMER, H.: Überschiebungen und Formenwelt bei Salzburg. I. Die Berge der Stadt Salzburg. — *Bibl. Geogr. Handbücher, N. F.*, Festband Albrecht Penck, S. 36—47, Stuttgart 1918.
- CZOERNIG, W.: Archivnotiz ex 1943, Bundesdenkmalamt Wien.
- CZOERNIG, W.: Tropfstein im Mönchsberg. — *Salzburger Zeitung*, 2. Juni 1944, Salzburg.
- DEL-NEGRO, W.: Geologie von Salzburg. — 348 S., 16 Abb., 18 Taf., Universitätsverlag Wagner, Innsbruck 1949.
- DEL-NEGRO, W.: Salzburg. — Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen, 2. Aufl., 101 S., 2 Taf., Wien 1970.
- EBERS, E., WEINBERGER, L., & DEL-NEGRO, W.: Der pleistozäne Salzachvorlandgletscher. — *Veröff. Ges. f. Bayr. Lk.*, H. 19—22, 216 S., 47 Abb., 1 Karte, München 1966.
- FIEBICH-RIPKE, E.: Der Salzburger Almkanal. Ein Werk ältester Salzburger Ingenieurkunst. — *Öst. Wasserw.*, 11, S. 105—116, Wien 1959.
- FRANK, A.: Der Mönchsberg und seine Baulichkeiten. — *Mitt. Ges. f. Salz. Lk.*, 70, S. 1—44, Salzburg 1930.
- FÜCHTBAUER, H., & MÜLLER, G.: Sediment-Petrologie, Teil II, Sedimente und Sedimentgesteine. — 726 S., 326 Abb., 66 Tab., E. Schweizerbart, Stuttgart 1970.
- FUGGER, E.: Zur Geologie des Rainberges. — *Mitt. Ges. f. Salz. Lk.*, 41, S. 71—79, Salzburg 1901.
- FUGGER, E., & KASTNER, C.: Naturwissenschaftliche Studien aus und über Salzburg. — 131 S., 12 Abb., 2 Taf., H. Kerber, Salzburg 1885.
- GERBER, E. K., & SCHEIDEGGER, A. E.: Probleme der Wandrückwitterung, im besonderen die Ausbildung Mohr'scher Bruchflächen. — *Felsmech. u. Ingenieurgeol.*, Suppl. II, S. 80—87, Wien 1965.
- GERMANN, K.: Mangan-Eisen-führende Knollen und Krusten in jurassischen Rotkalken der Nördlichen Kalkalpen. — *N. Jb. f. Geol. u. Pal.*, H. 3, S. 133—156, Stuttgart 1971.
- GERMANN, K.: Verbreitung und Entstehung Mangan-reicher Gesteine im Jura der Nördlichen Kalkalpen. — *TMPM*, 17, S. 123—150, Wien 1972.
- HAEFEL, R.: Zum progressiven Bruch in Schnee, Boden, Fels und Eis. — *Felsmech. u. Ingenieurgeol.*, 5, S. 17—37, Wien 1967.
- HAMMOND, A. D.: Manganese Nodules (I): Mineral Resources on the Deep Seabed. — *Science*, 183, No. 4124, S. 502—503, Washington 1974.
- HEINRICH, M., & VOGLER, O. M.: Parkgarage Mönchsberg Nord, Vorprojekt, Salzburg 1973, nicht veröffentlicht.
- HEINRICH, M., & VOGLER, O. M.: Parkgarage Mönchsberg Mitte, Vorprojekt, Salzburg 1973, nicht veröffentlicht.
- HORNINGER, G.: Gutachten über die wandparallelen Steilklüfte ober dem stadtseitigen Ausgang des Neutores in Salzburg, erstattet im Auftrage der Baudirektion des Stadtmagistrats Salzburg. — Wien 1973, nicht veröffentlicht.
- HORNINGER, G.: Tiefliegende oberflächenparallele Klüfte. — *Proc. Third Intern. Congr. on Rock Mechanics*, Denver 1974. Vol. II, part A, p. 613—618.
- KIESLINGER, A.: Restspannungen und Entspannung im Gestein. — *Geol. u. Bauw.*, 24, S. 95—112, Wien 1958.
- KIESLINGER, A.: Die nutzbaren Gesteine Salzburgs. — 436 S., 127 Abb., 7 Taf., „Das Bergland-Buch“, Salzburg 1964.
- KIESLINGER, A.: Spannungen und Entspannungen im Steinbruchbetrieb. — *Berg- u. Hüttm. Mh.*, 113, S. 298—304, Wien 1968.

- KIESLINGER, A.: Felsgeologische Probleme beim Neuen Festspielhaus in Salzburg. — Schweiz. Bauztg., 90, H. 34, S. 814—818, Zürich 1972.
- LECHNER, K., & PLÖCHINGER, B.: Die Manganerzlagertstätten Österreichs. — Symp. sobre yacimientos de Manganese, Tomo V, Europa. S. 299—313, México 1956.
- M.: Bergsturzgefahr am Mönchsberg. — Salzburger Volksblatt, 21. April 1937, S. 9, Salzburg 1937.
- MARTIN, F.: Eine Zeitung über den großen Bergsturz von 1669. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 62, S. 27—32, Salzburg 1922.
- MUDRICH, A.: Die Geschichte des St. Siegmunds- oder Neutores bis 1774. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 55, S. 113—150, Salzburg 1915.
- MÜLLER, L.: Über die Entstehung oberflächenparalleler Klüfte. Versuch einer mechanischen Erklärung. — Geol. u. Bauw., 27, S. 146—152, Wien 1962.
- MÜLLER, L., & LÖGTERS, G.: Eine Rutschung am Rand eines geologischen Grabens. — Rock Mech., Suppl. 3, Wien 1974.
- N. N.: Von Bergstürzen und Bergputzern. — Salzburger Zeitung, 13. August 1944, Salzburg.
- PEZOLT, L.: Über Bergunglücke, Bergskarrierung und die „Bergputzer“ in der Stadt Salzburg. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 34, S. 21—30, Salzburg 1894.
- PIPPAN, TH.: Bericht 1957 über geologische Aufnahmen auf den Blättern Hallein 94/1 und Untersberg 93/2, 1 : 25.000 und dem Stadtplan Salzburg 1 : 10.000. — Verh. Geol. B.-A., H. 3, S. 232—240, Wien 1958.
- PIPPAN, TH.: Bericht 1959 über geologische Aufnahmen auf den Blättern Salzburg 63/4 und Ebenau 64/3, 1 : 25.000. — Verh. Geol. B.-A., H. 3, S. A 55—A 61, Wien 1960.
- PIPPAN, TH.: The Late Glacial Terraces and Remnants of Interglacial Sedimentation in the Salzburg Basin. — INQUA, Rep. of the VI. Intern. Congr. on Quat., Warsaw 1961, Vol. 3, S. 265—272, Lodz 1963.
- PLÖCHINGER, B.: Fossile Bakterien in den Tennengebirgs-Manganschiefern? — Mikroskopie, 7, S. 197—201, Wien 1952.
- SCHALLHAMMER, A.: Alm-Canal. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 5, S. 60—69, Salzburg 1865.
- SEIBOLD, E.: Rezent submarine Metallogenese. — Geol. Rdsch. 62, H. 3, S. 641—684, Stuttgart 1973.
- STUMMER, E.: Zum interglazialen Alter des Mönchs- und Rainberges in Salzburg. — Ber. Reichsst. f. Bodenf., 1941, S. 95—99, Wien 1941.
- STUMMER, E.: Der Aufbau des Salzburger Zungenbeckens. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 86/87, S. 81—92, Salzburg 1946/47.
- TWIDALE, C. R.: On the Origin of Sheet Jointing. — Rock Mech., 5, S. 163—187, Wien 1973.
- VORTISCH, W.: Zur Entstehung des Mönchsbergkonglomerates in Salzburg. — Verh. Geol. B.-A., S. 204—207, Wien 1924.
- WÄHNER, F.: Geologische Bilder von der Salzach. — Schriften Verein z. Verbr. naturw. Kenntn., 34, S. 459—531, Wien 1894.
- W. F. Z.: Das „Tröpferbad“ im Mönchsberg. — Demokr. Volksblatt, 25. März 1948, Salzburg.
- WOLTERS, R.: Zur Ursache der Entstehung oberflächenparalleler Klüfte. — Rock Mech., 1, S. 53—70, Wien 1969.
- ZILLNER, F.: Die Wasserleitung der Alm. — Mitt. Ges. f. Salz. Lk., 4, S. 7—128, Salzburg 1864.

Beilage 1 und 2 am Schluß des Heftes:

Tafel 1

Mönchsberg-Nord, Grundwasser-Spiegellagen

Die Spiegel an den 3 Meßpunkten in der Manganhöhle — freier Spiegel im GW-Tümpel, Bohrung 30/73, Bohrung 38/73 — als korrespondierend angenommen und daher im Diagramm zusammengefaßt. Vergleichshorizont 417,00 m ü. A.

Tafel 2

Westabschnitt der ehemaligen Luftschutzkavernen nördlich vom Neutor. Almkanal-Stollen

Klüfte und Schichtung im Plan und in 4 je einen Teilbereich erfassenden Lagenkugel-Diagrammen.

Mönchsberg-Nord, Grundwasser-Spiegellagen

Die Spiegel an den 3 Meßpunkten in der Manganhöhle — freier Spiegel im GW-Tümpel, Bohrung 30/73, Bohrung 38/73 — als korrespondierend angenommen und daher im Diagramm zusammengefaßt. Vergleichshorizont im Diagramm 417,00 m ü.A.

