

# Die Abhängigkeit der hydrogeologischen von den geologisch-tektonischen Verhältnissen des Karwendelgebirges, aufgezeigt am Beispiel der Mühlauer Quellen (Tirol, Österreich)

(mit Anmerkungen zu struktureologischen und faziellen Problemen der Geologie Tirols)

Von Gunther Heißel

Inhaltsübersicht (siehe Seite 79)

## 1. Kurzfassung

Die Mühlauer Quellen bilden das Fundament der Trinkwasserversorgung der Tiroler Landeshauptstadt Innsbruck (ca. 120.000 Einwohner). Die Quellwässer entspringen im Mühlauer Graben an der Nordkette, also nahe dem Südrand des Karwendelgebirges nördlich von Innsbruck.

Die geologisch-tektonische und die hydrogeologische Bearbeitung des Karwendelgebirges haben klar aufgezeigt, daß — im krassen Unterschied zu den typischen Karstgebieten Ostösterreichs — der Grad der Verkarstung im Karwendel so gering ist, daß die hydrogeologischen Vorgänge im Gebirge nur so ablaufen können, wie sie durch die geologisch-tektonischen Verhältnisse vorgegeben sind. Daher muß in einigen Teilen der Tiroler Kalkalpen, also in allen dem Karwendel ähnlichen Gebirgen bei der Erfassung der hydrogeologischen Verhältnisse der Schwerpunkt in den geologisch-tektonischen Untersuchungen liegen. Dies kann am Beispiel der Mühlauer Quellen klar dargestellt werden. Sowohl ihre Austrittsstelle im Mühlauer Graben als auch ihr oberirdisches und unterirdisches Einzugsgebiet, ihr Schüttungsverhalten, ihre Schutzwürdigkeit und alle weiteren relevanten hydrogeologischen Parameter sind mit geologisch-tektonischen Arbeitsmethoden erfaßbar. Eine Überprüfung mit dem Gesamtwasserhaushalt des Karwendels zeigt, daß sowohl die geologisch-tektonischen als auch die hydrogeologischen Modellvorstellungen richtig sein müssen.

Demnach ist das Karwendelgebirge nicht nur tektonisch in mehrere Stockwerke gegliedert, sondern auch hydrogeologisch. Die tektonischen und die hydrogeologischen Stockwerke sind weitestgehend ident, das heißt, daß hydrogeologische Stockwerke nicht über die Grenzen tektonischer Stockwerke hinausgreifen. Ein tektonisches Stockwerk ist jedoch zumeist in zwei oder mehr hydrogeologische Stockwerke oder Einheiten aufgliederbar.

Die detaillierte geologisch-tektonische und hydrogeologische Beschreibung der Verhältnisse einerseits im Nahbereich der Mühlauer Quellen, andererseits in deren ober- und unterirdischem Einzugsgebiet machen nicht nur eine Zusammenschau der geologisch-tektonischen und hydrogeologischen Erkenntnisse großer Teile des restlichen Karwendels in der vorliegenden Arbeit nö-

tig. Die Arbeit zeigt auch auf, daß mit strukturgeologischen und faziellen Anmerkungen zur Decken- und Schuppentekonik im Karwendel sowie mit dem Einbau neuer Erkenntnisse zum Südrand der Nordtiroler Kalkalpen und zu großen ostalpinen Störungen in Tirol eine ganzheitliche Betrachtungsweise sinnvoll ist. Dies nicht zuletzt deshalb, weil die Mühlauer Quellen nahe dem Südrand der Kalkalpen und nahe einer ostalpinen Großstörung (Inntaldecke) entspringen. Das Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen umfaßt etwa 25 km<sup>2</sup>. Im Rahmen der Vortriebe der Quellfassungsstollen auf etwa 1140 m ü. A. wurden nicht nur Gesteine der Inntaldecke, sondern (entgegen den bisherigen Ansichten) auch Ablagerungen der Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone durchörtert. Es konnten neuerlich zahlreiche Bestätigungen für einen nordgerichteten Ferntransport der Inntaldecke über die Einheiten der Karwendel-Schuppenzone gefunden werden, und zwar sowohl im Bereich des Südabhanges der Innsbrucker Nordkette als auch im Nordkarwendel, wo die Inntaldecke vor Ausformung der heutigen Morphologie zumindest bis zum Rißtal bei Hinterriß gereicht haben dürfte. Die z. T. weit über 900 Meter mächtige junge Sedimentverfüllung in Teilabschnitten des Inntales (vom heutigen Talboden aus gemessen) und das Abtauchen der kalkalpinen Einheiten gegen Süden in das Inntal weisen neben der rezent starken Seismizität dieses Gebietes das Inntal als heute aktive Subduktionszone aus. Die Erkenntnis, daß der Grad der Verkarstung im Karwendel sehr gering ist, zeigt, daß die Wässer der Mühlauer Quellen auch weiterhin als besonders geeignet für eine krisensichere Versorgung der Bevölkerung mit erstklassigem Trinkwasser anzusehen sind. Schutzmaßnahmen, wie die Ableitung von Abwässern aus dem oberflächlichen Einzugsgebiet der Quellwässer, sowie die Ausweisung sinnvoller Schutzzonen und eines Schongebietes (in der Größe des oberirdischen Einzugsgebietes) erscheinen trotzdem bzw. gerade deshalb dringend erforderlich.

## 2. Einleitung

Seit mehr als 400 Jahren wird Trinkwasser für die Stadt Innsbruck aus dem Quellgebiet im Mühlauer Graben nördlich der Landeshauptstadt entnommen. Der steigende Wasserbedarf der rasch wachsenden Landeshauptstadt gegen Ende des 19. Jahrhunderts ließ in Innsbruck bereits 1888 Pläne für den Ausbau einer Wasserversorgung im heutigen Sinn reif werden. Man begann damals mit der fachgemäßen Fassung der Mühlauer Quellen im Mühlauer Graben am Südabhang der Innsbrucker Nordkette nördlich von Innsbruck. Bereits 1890 konnte das Wasserwerk Mühlau in Betrieb genommen werden, das die damals 23.000 Einwohner Innsbrucks mit 78 Seuskundenlitern Trinkwasser versorgte.

Durch die Eingemeindungen der umliegenden Dörfer Mühlau, Arzl, Hötting, Pradl, Wilten, Amras, Vill und Igl gingen mehrere kleinere Quellen zusätzlich in den Stadtbesitz über. Trotzdem kam es in den Kriegsjahren um 1940 zu Engpässen bei der Versorgung mit Trinkwasser, wodurch ein weiterer Ausbau der Wasserfassung Mühlau dringend notwendig wurde.

Der Weitblick der damals Verantwortlichen zeigt sich nicht zuletzt in der Tatsache, daß sie, weil das bestehende Elektrizitätswerk am Mühlauer Bach ebenfalls erweiterungsbedürftig war, ein Gesamtwerk für Stromerzeugung und Wasserfassung zu errichten gedachten. Man plante daher für das neue Trinkwasserkraftwerk Mühlau eine krisensichere, tief im Berginneren gelegene Wasserfassung mittels eines Sammelstollens und dreier Fensterstollen mit einer Gesamtlänge

von 1663 Metern, durch die es gelungen ist, über 90% der im Bereich des Mühlauer Grabens entspringenden Quellwässer auf 1140 m ü. A. zusammenzufassen. Dabei handelt es sich um Wässer, die bisher zwischen 1040 und 1070 m ü. A. entsprungen sind.

Die Wassertemperatur der Wässer des Wurmbach- und Klammbachstollens sind etwa 0.5° C wärmer, als die des Rumer Stollens, dessen Wässer etwa 4.1—4.9° C aufweisen. Die Wässer des Rumer Stollens sind weiters um etwa 2—3 DHG weicher, ihre Gesamthärte liegt bei 5.18—6.24 DHG, während Wurmbach- und Klammbachstollen eine Gesamthärte zwischen 8.18 und 8.89 DHG aufweisen. Die Wässer dieser beiden Stollen sind aufgrund des Auftretens von Gesteinen des Nordalpinen Raibler Schichten auch etwas reicher an Gipshärte, was insgesamt allerdings aufgrund der Dominanz der Wässer aus dem Rumer Stollen bedeutungslos ist. Das Mischungsverhältnis nach SCHINZEL (1953) gliedert sich so auf, daß 3 Anteile aus dem Wurmbach- und Klammbachstollen sich mit 7 Teilen aus dem Rumer Stollen in etwa vermengen. Die Gesamtschüttung der gefäßten Mühlauer Quellen schwankt zwischen etwa 500 l/s und mehr als 2000 l/s, wobei die Minima in den Zeitraum Februar bis März, die Maxima im Allgemeinen in den Zeitraum Juli bis September fallen.

Nachdem die Stollenarbeiten zum Zwecke der Zusammenfassung möglichst aller Bergwässer auf der einheitlichen Höhe von 1140 Metern ü. A. durchgeführt wurden, war zu erwarten, daß der Alte Wurmbachstollen und der Alte Klammtollen, die bis dahin den Wasserbedarf der Stadt Innsbruck gedeckt hatten, während des Stollenvortriebes plötzlich trockenfallen könnten. Da im Zuge der Vortriebsarbeiten eine Verschmutzung der Bergwässer unvermeidlich war, galt es, die Arbeiten so einzuteilen, daß aus anderen Stollenabschnitten stets reines Wasser in genügender Menge zur Verfügung stand. Daher durfte der Stollenvortrieb nicht gleichzeitig an allen möglichen Angriffspunkten durchgeführt werden, das heißt, die Arbeiten hatten hintereinander und unter ständiger Bedachtnahme auf die Erfordernisse der Wasserversorgung vor sich zu gehen:

Aufgrund des unter sehr schwierigen Gebirgsverhältnissen durchgeföhrten Vortriebes des Klammbachstollens versiegten die Wässer der westlichen Klammlanke bis auf einen geringen Rest.

Im Wurmbachstollen wurde mit Erreichen der wasserführenden Gebirgszonen der 16 Meter höher gelegene Alte Wurmbachstollen mit einem Schlag trockengelegt, der 97 Meter tiefer gelegene Alte Klammtollen und die benachbarten »Schleierfälle« im Bereich der westlichen Klammlanke verloren dadurch einen Großteil ihres Wassers.

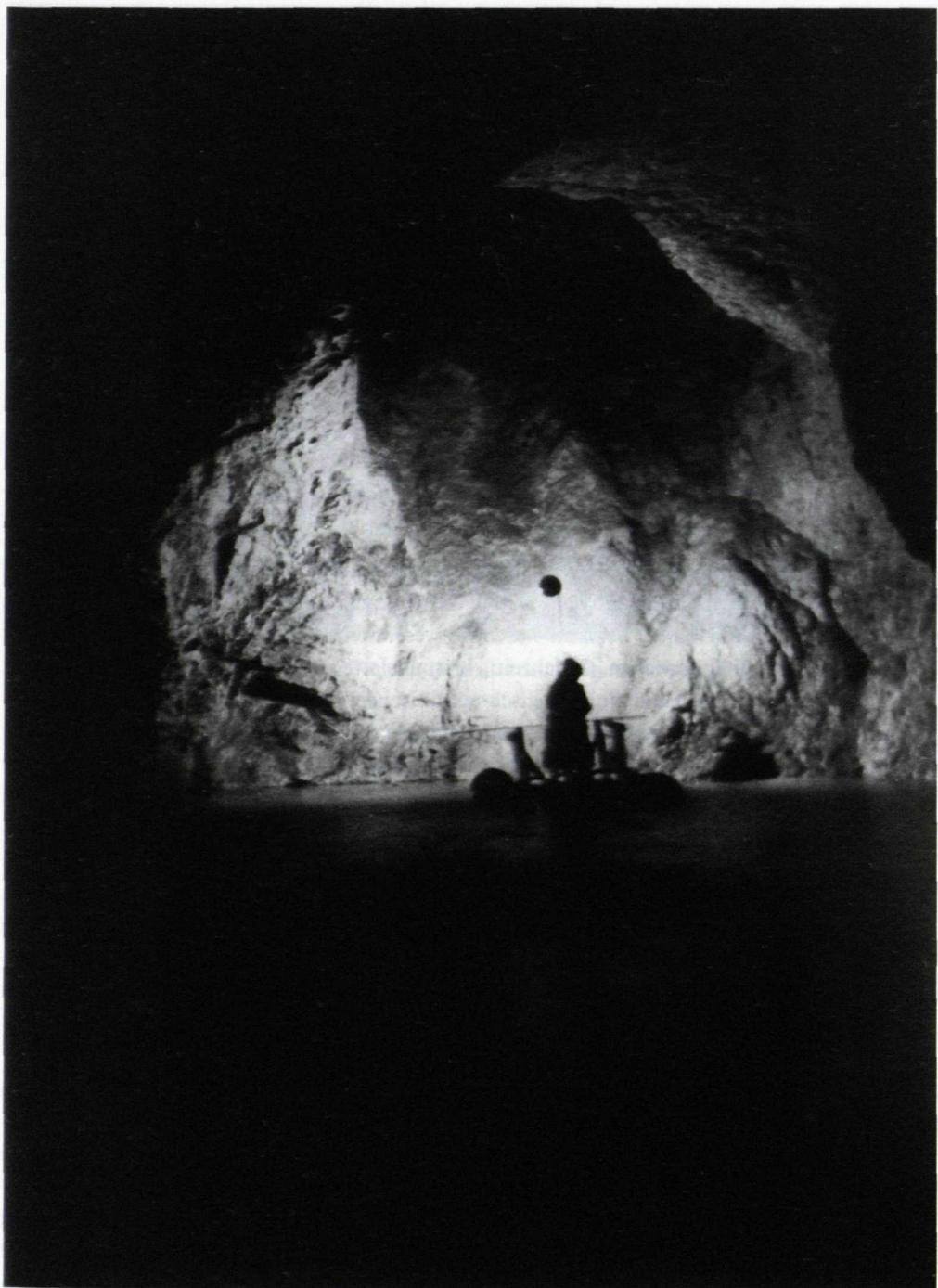
Nunmehr wurde der Vortrieb des Sammelstollens, der schon vor Inangriffnahme des Vortriebes des Wurmbachstollens vom Wasserschloß aus begonnen hatte, vom Wurmbachstollen aus gegen Osten fortgesetzt. 478 Meter hinter dem Wasserschloß erreichte der Stollen den Übergang aus dem Grundgebirge (vermutlich Reichenhaller Schichten) in die Überlagerung (Höttinger Breccie). Die Höttinger Breccie war in dieser Zone stark wasserführend. Mit dem Ableiten dieser Wässer durch den Sammelstollen versiegten die Wässer des Mühlauer Klammbaches (= Mühlauer Baches) sowie die Wässer des Alten Rumer Stollens, deren Austritte sich etwa 10 bis 30 Meter oberhalb des Sammelstollens befunden hatten. An der Ergiebigkeit der »Schleierfälle« und des ebenfalls tiefer gelegenen Neuen Rumer Stollens änderte sich jedoch nichts. Mit dem Verlassen der basalen Schichten der quartären Höttinger Breccie bzw. mit dem zunehmenden

Entfernen von der Kontaktfläche Grundgebirge-Breccie wurde die Höttinger Breccie immer dichter und der Sammelstollen schließlich ganz trocken.

Daher entschloß man sich, den Vortrieb gegen Osten einzustellen und 45 Meter vor dem damit erreichten Ort im rechten Winkel gegen das Berginnere, also gegen Norden vorzutreiben. Gleichzeitig wurde die 72 Meter messende Strecke von dieser Abzweigstelle bis über Tag durchgeschlagen, was dann den Rumer Stollen ergab. 206 Meter hinter dem Mundloch des Rumer Stollens fuhr man unvermittelt eine ausgedehnte Grotte im Übergangsbereich von der Höttinger Breccie zum Grundgebirge (Reichenhaller Schichten) an, in der sich ein etwa 30 Meter langer, 25 Meter breiter und bis zu 15 Meter tiefer unterirdischer See erstreckte. Da sich von der Grottenfirste immer wieder Blöcke lösten, ins Wasser stürzten und dieses trübten, wurde der Stollen etwa 30 Meter vor der Grotte um 25 Meter gegen Osten abgeschenkt und daraufhin parallel zur ursprünglichen Richtung fortgesetzt. Der zum unterirdischen See führende Stollenabschnitt wurde dabei an beiden Enden abgemauert und in der Zwischenstrecke wieder verfüllt. 450 Meter hinter dem Mundloch des Rumer Stollens näherte man sich der stark wasserführenden Zone von Triaskarbonaten. Mittels mehrerer Stollenabzweigungen konnte nunmehr der Hauptanteil der Bergwässer erschroten werden, wodurch auch die Wässer der östlichen Klammflanke und des Neuen Rumer Stollens bis auf geringe Reste versiegten.

Allerdings war gerade auch der Schlußabschnitt des Stollenvortriebes durch große Schwierigkeiten bedroht: Beim Vortrieb im Bereich von Bau-Station 435.00 (= Stollenstation 505.00 Meter) kam es an der Gesteinsgrenze Reichenhaller Schichten-Alpiner Muschelkalk zu einem plötzlichen Wassereinbruch von mehr als 1000 l/s. Dadurch stürzte die schwere bergmännische Verpölung ein, wodurch ein weiterer Vortrieb an dieser Stelle unmöglich geworden war. Mit den etwa 60 Meter vor der Einbruchsstelle beginnenden Abzweigungen I-IV wurde diese Verbruchsstelle umfahren und mittels Entlastungsbohrungen der größte Teil des Bergwassers bis auf eine Restmenge von ca. 100 l/s von dem Verbruchsbereich abgeleitet. Die Sanierung der Verbruchszone konnte erst nach Vollendung der vier Abzweigungen durchgeführt werden (s. a. Abb. 17, 18). Die Sanierung war nicht zuletzt wegen des im Verbruchsmaterial eingelagerten Stollenholzes, das das Trinkwasser mit Bakterien zu verunreinigen drohte, dringend notwendig geworden. Diese Arbeiten gestalteten sich jedoch sehr schwierig, nachdem im Verbruchsbereich an der Grenze Reichenhaller Schichten-Alpiner Muschelkalk ein mächtiger keilförmiger Dom über der Stollenfirste entstanden war und sich mit gegeneinander verkeilten Gesteinsbrocken verschiedener Größe angefüllt hatte.

Die Stollen sind etwa 1.50 Meter breit und etwa 2.50 Meter hoch. 65 Zentimeter über Stollensohle befindet sich ein durchgehender begehbarer Stahlbetonlaufsteg, der Kontroll- und Reinigungsarbeiten ermöglicht. Im druckhaften Gebirge und im gebrächen Fels erhielt der Stollen eine Betonauskleidung. Die Reichenhaller Schichten, vor allem aber die Nordalpinen Raibler Schichten, z. T. auch der Schieferton führende Hauptdolomit zeigten sich beim Stollenvortrieb infolge des hohen Lehmanteiles und des beträchtlichen Schiefertonanteiles gegen Feuchtigkeit bzw. bei Wasserzutritt sehr empfindlich. Sie weichten rasch auf, wodurch das Gebirge in diesen Vortriebsabschnitten stark nachbrüchig und teils druckhaft wurde. Daher wurde die Auskleidung in diesen Bereichen abwechselnd mit dem Vortrieb, jedenfalls aber vor dem Auffahren von Streckenabschnitten, aus denen — wie etwa bei der Höttinger Breccie oder aus dem Alpinen



Rumer Stollen, Station 206.00: angefahren Grotte an der Grenze Höttinger Breccie — Reichenhaller Schichten (Foto 1)

Muschelkalk — Wasserzulauf zu erwarten war, eingebracht. Im standfesten Gebirge wurde hingegen nur der Sohlbereich betoniert, wodurch Wassereintritte in den Stollenhohlraum von den Ulmen und von der Firste ermöglicht werden konnten. Im Bereich der großen Wasserzutritte, wie beispielsweise im Rumer Stollen, wurde auch in der Sohle auf den Betonausbau verzichtet. Nachdem mit den Arbeiten für das Trinkwasserkraftwerk Mühlau im Jahre 1942 begonnen wurde, konnte es am 13. Mai 1953 nach einiger Zeit des Probefahrten feierlich eröffnet werden. »Glanzlicht« der gesamten Anlage ist dabei die »krisensichere« Stollenfassung, die ein Verdienst der damaligen Ingenieure, Geologen aber auch Mineure ist. Man bedenke nur die schwierigen Arbeitsbedingungen für die Vortriebsmannschaften bei z. T. sehr schlechter Gebirgsbeschaffenheit und unter z. T. mächtigem Bergwasserandrang mit Wassertemperaturen von etwa 4.5 °C (s. Foto 2). Nur wenige, gesundheitlich besonders robuste Mineure sollen bei diesen Arbeiten bis zuletzt ausgehalten haben.

Weitere Details hiezu können der Festschrift »Das neue Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau« der Stadtwerke Innsbruck (1953) entnommen werden.

Nun jedoch zum Grund für die Abfassung der vorliegenden Arbeit:

Im Jahre 1974 hat der Verfasser im Karwendel mit seiner Dissertation begonnen, mit dem Ziel, die hydrogeologischen Verhältnisse des Gebirges zu erarbeiten.

Sehr rasch mußte dabei festgestellt werden, daß die geologisch-tektonischen Vorstellungen, die bis dahin über das Karwendel bekannt waren, in wesentlichen Punkten von der in der Natur beobachtbaren Realität abwichen. Gleichzeitig kristallisierte sich jedoch auch sehr klar heraus, daß die hydrogeologischen und die geologisch-tektonischen Verhältnisse im Karwendel eng miteinander verknüpft, ja geradezu von letzteren abhängig sind. Obwohl der Verfasser die hydrogeologischen Untersuchungen weiterführte, richtete sich in der Folge das Hauptaugenmerk vorwiegend auf die Erarbeitung der geologischen und strukturgeologischen Parameter. Eine Fülle von Veröffentlichungen zwischen 1976 und 1991 ging daraus hervor, mit dem Ergebnis, daß heute die Kenntnisse über den Gebirgsbau des Karwendels deutlich andere sind, als noch vor 1974, womit auch die hydrogeologischen Zusammenhänge wesentlich besser als früher erklärt werden können. Es darf noch hinzugefügt werden, daß der Verfasser in den Jahren 1982 sowie 1986 bis 1988 (in dieser Zeit als Mitarbeiter der Innsbrucker Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr) als Gutachter im Auftrag des Wasserwerks der Stadtwerke Innsbruck die Quellen an der Innsbrucker Nordkette, insbesondere die Mühlauer Quellen geologisch und hydrogeologisch zu bearbeiten hatte, wodurch sich der eigene Wissensstand erheblich erweiterte.

In letzter Zeit, ähnlich wie auch früher schon, werden die Mühlauer Quellen als Karstquellen bezeichnet (siehe Literaturangaben in TOLLMANN, 1986), wobei ein negativer »Unterton« nicht selten zu » hören « ist. Gerade für Geologen, die mit den ausgeprägten Karsterscheinungen in weiter östlich liegenden kalkalpinen Abschnitten vertraut sind, ist es natürlich schwerer verständlich, daß in manchen Gebirgen der Nordtiroler Kalkalpen, wie etwa im Karwendel, im Mieminger Gebirge oder in der Heiterwand und anderen Teilen der Lechtaler Alpen, der Grad der Verkarstung so gering ist, daß die hydrogeologischen Vorgänge im Gebirge nur so ablaufen können, wie sie durch die geologisch-tektonischen Verhältnisse vorgegeben sind. Es darf also hiermit behauptet werden, daß nur derjenige die Hydrogeologie dieser Gebirge verstehen kann,



Stollenvortrieb im Rumer Stollen/Abzweigung IV bei starkem Wasserandrang (Foto 2)

der die genaue Kenntnis über deren Geologie und Strukturgeologie besitzt. Die Mühlauer Quellen, als hervorragendes Standbein der Innsbrucker Trinkwasserversorgung, sollen daher exemplarisch die Abhängigkeit der hydrogeologischen von den geologisch-tektonischen Verhältnissen im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufzeigen.

### 3. Regionale und geologische und strukturgeologische Verhältnisse

#### 3.1 Der Gebirgsbau

##### 3.1.1 Allgemeines

Das Karwendelgebirge ist Teil der Nördlichen Kalkalpen. Diese werden in Bayern und Tirol von insgesamt sechs großtektonischen Einheiten aufgebaut. Es sind dies von unten nach oben die Cenoman-Randschuppenzone, die Allgäudecke, die Lechtaldecke, die Karwendel-Schuppenzone, die Inntaldecke und die Krabachjochdecke (BACHMANN & MÜLLER 1981; GSTREIN & HEISSEL 1989; HEISSEL 1978; HEISSEL in: DONOFRIO, HEISSEL & MOSTLER 1979, 1980; TOLLMANN 1985).

Das Karwendelgebirge besteht im Norden aus der Lechtaldecke, an die gegen Süden die Karwendel-Schuppenzone anschließt. Ein Großteil des Gebirges gehört zur Inntaldecke.

### 3.1.2 Die Inntaldecke (s. a. Abb. 1—3)

Die Inntaldecke zeigt einen weiträumig verfolgbaren nordgerichteten Großfaltenbau. Große Sattel- und Muldenstrukturen lösen einander von Norden nach Süden ab. Die Faltenachsen streichen im wesentlichen etwa Ost-West und fallen zur tektonisch bedingten Seefelder Senke gegen Westen ab.

Die Gesteine der Inntaldecke sind im allgemeinen aufrecht gelagert. Allerdings findet sich im Bereich stark nordvergenter Großfalten — wie beispielsweise in der Nordwand des Hohen Gleirschs (s. a. Abb. 9) — oder im Bereich intensiver Kleinfaltung — wie zum Beispiel am Südhang der Innsbrucker Nordkette (s. a. Abb. 5,9) — immer wieder auch verkehrte oder überkippte Schichtlagerung.

Die Kleinfaltung, von der Gesteine der Inntaldecke häufig betroffen sind, und die sich, wie vor allem am Südhang der Nordkette sehr schön sichtbar, meist im Kern von großen Aufsattelungen befindet, zeigt vielfach, und speziell auch am Südabhang der Innsbrucker Nordkette, deutliche Abweichungen von der übergeordneten, für den Großfaltenbau typischen Nordvergenz. Es handelt sich demnach bei der Kleinfaltung in der Regel um einen multivergenten Spezialfaltenbau, bei dem im Bereich des Südhangs der Nordkette die Südvergenzen dominieren. Von dieser intensiven Kleinfaltung sind nicht nur die inkompetenten Gesteine des Alpinen Buntsandsteins, der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalks betroffen, sondern auch der Wettersteinkalk kann — ähnlich wie beispielsweise auch am Wanneck im Mieminger Gebirge — sogar in seiner massigen Ausbildung (Riffazies) bzw. im Bereich der riffnahen Lagunenfazies (z. B. Pfeiser Spitze — Wildangerspitze), vor allem jedoch im Bereich der deutlich geschichteten lagunären Fazies von intensiver Kleinfaltung betroffen sein. Diese Faltungen des lagunären Wettersteinkalks sind besonders schön im Gebiet der Reps, im Roßloch, im Gebiet nördlich des Vomper Baches zwischen Roßloch und Mittagspitze sowie an der Süd- und vor allem an der Nordseite der Gleirsch-Halltalkette vom Hohen Gleirsch bis in die Nordwände des Hundskopfes beobachtbar.

Auch der Hauptdolomit, der östlich der Seefelder Senke im Karwendel innerhalb der Inntaldecke nur im Bereich von Großmulden ansteht, ist von im wesentlichen nordvergenter, insgesamt jedoch multivergenter Spezialfaltung betroffen.

Die Schichtenfolge der Inntaldecke umfaßt Gesteine vom Alpinen Buntsandstein bis zum Hauptdolomit.

Um die hydrogeologischen Verhältnisse der Bergwässer der Mühlauer Quellen verstehen zu können, muß man nicht den gesamten strukturgeologischen Bau der Inntaldecke besprechen. Daher wird nachfolgend im wesentlichen nur auf die tektonischen Verhältnisse zwischen der Linie Höttinger Graben-Pleisenspitze im Westen und der Linie Thaur-Stempeljoch-Kaltwasserkarspitze im Osten eingegangen, wobei der Schwerpunkt der Betrachtungen südlich des Kamms der Gleirsch-Hallalkette liegt.

Mit der Beschreibung im Süden beginnend (s. Abb. 5), sehen wir, daß von der Solstein-Aufwölbung im Bereich des Südabhangs der Innsbrucker Nordkette zwischen Höttinger Graben und dem Gebiet südlich der Wildangerspitze nur der Nordflügel dieser Großfalte erhalten ist, der Südflügel fehlt erosionsbedingt. An diese Hohe Munde-Solstein-Aufwölbung schließt gegen

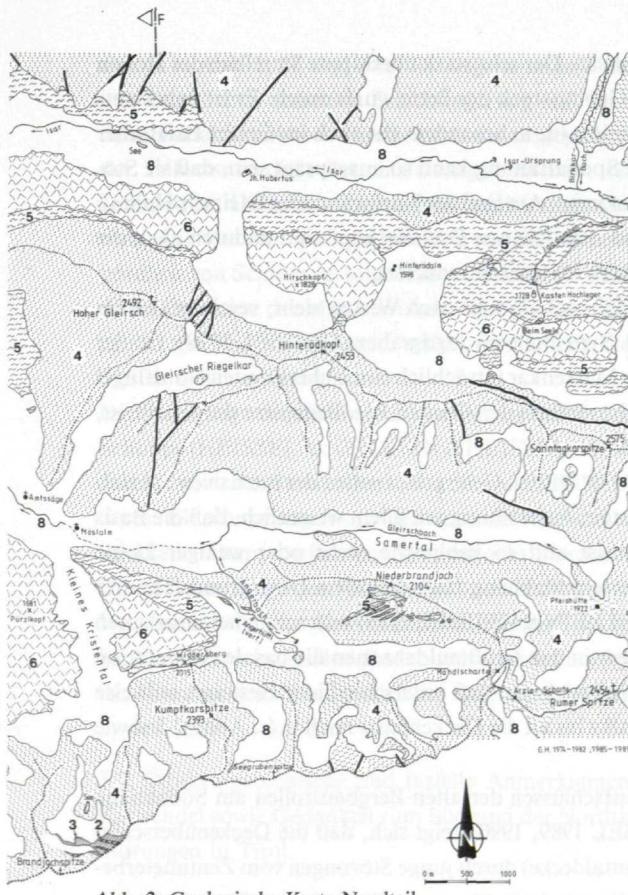


Abb. 2: Geologische Karte Nordteil

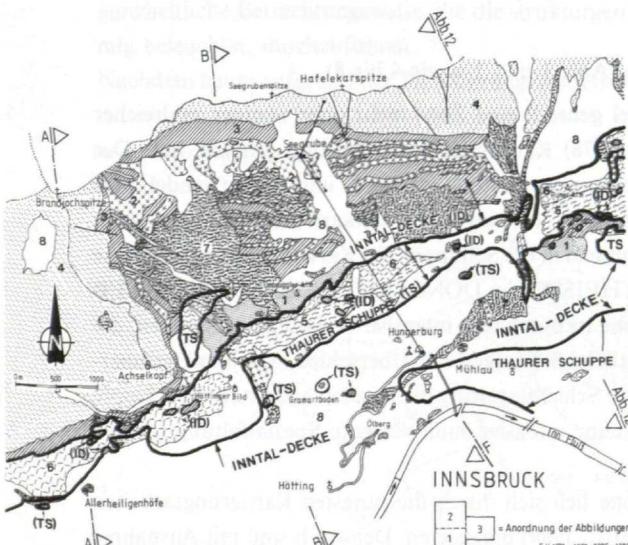


Abb. 1: Geologische Karte Südteil

Abb. 1 bis 3: Geologische Karte des südlichen und zentralen Karwendelgebirges zwischen Kerschbuchhof im Westen, Absam im Osten und dem Hinterautal im Norden. (Die drei Kartenblätter passen nahtlos aneinander).

Abb. 4 bis 8: Geologische Schnitte durch das südliche Karwendelgebirge, Schnitt A—A bis E—E (von West nach Ost). Der Koordinatennullpunkt jeden Schnittes liegt auf einheitlicher nördlicher Breite.

#### Legende zu den Abbildungen 1 bis 18:

Perm(?)—Trias: 9 = Haselgebirge; Trias: 1 = Alpiner Buntsandstein, 10 = grüne Sandsteine des Alpinen Buntsandsteins der Karwendel-Schuppenzone im Halltal (sowie der Inntaldecke und der Karwendel-Schuppenzone östlich des Halltal durchbruches und im Nord- und Ostkarwendel), 2 = Reichenhaller Schichten, 3 = Alpiner Muschelkalk, 4 = Wettersteinkalk, 5 = Nordalpine Raibler Schichten, 6 = Hauptdolomit, 11 = Kössener Schichten; Quartär und Holozän: 7 = Höttinger Breccie und andere Hangbreccienvorkommen, 8 = Lockersedimente (Moränen, Hangschutt, etc.).

ID = Inntaldecke, TS = Thauer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone, SD = Salzdiapir der Karwendel-Schuppenzone

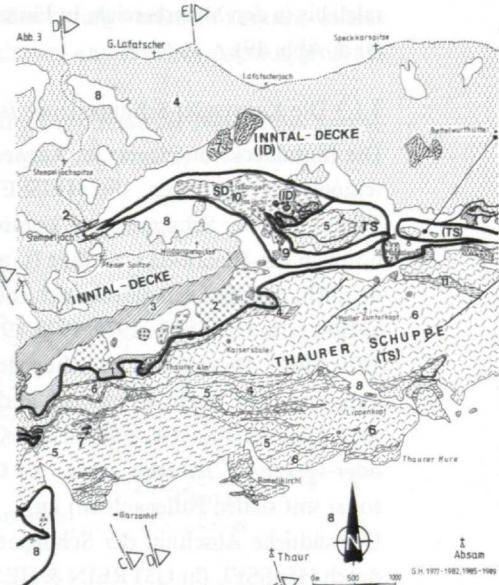


Abb. 3: Geologische Karte Ostteil

Norden die Angerhüttl-Stempeljoch-Mulde an. Der sehr stark überkippte Sattelbau des Hohen Gleirsch zieht weit nach Osten bis in den Gebirgsstock des Bettelwurfs durch. Er ist dabei stets in eine Reihe intensiver Spezialfalten aufgelöst (u. a. besonders gut auch im Gebiet Lafatscher Roßkopf-Speckkarspitze sichtbar). Diese Spezialfaltung kann so ausgeprägt sein, daß sie Störungen mit Winkeldiskordanzen beinhaltet kann. Am Fuß der Nordwände der Gleirsch-Halltal-kette zwischen der Blütsgraben-senke und dem Kleinen Gschniergekopf sind dadurch auch die Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten tektonisch reduziert.

Die Muldenstruktur, die vom Gebiet des Überschalljochs nach Westen zieht, vereinigt sich im Hinterautal mit anderen Teilmulden (z. B. Synklinale im Jagdgraben, HEISSEL 1978). Ob der Sattelbau zwischen Pleisenspitze und dem Marxenkar tatsächlich einen überkippten Nordflügel besitzt, wie er auf Abb. 9 für den Bereich nördlich der Großen Riedlkarspitze dargestellt ist, muß zur Zeit noch offengelassen werden.

Am Südabhang der Innsbrucker Nordkette ist für den Gebirgsbau neben der intensiven Spezialfaltung der Triasgesteine im Kern der Solstein-Aufwölbung vor allem wesentlich, daß die Basis der Inntaldecke sattelförmig aufgewölbt ist und so zahlreiche mehr oder weniger kleine Erosionsreste der Inntaldecke am Nordkettensüdabhang flach fremdem Untergrund (Thaurer Schuppe) auflagern, wie HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL 1989) sehr schön herausarbeiten konnte. Insgesamt zeigt sich, daß vor allem in den Großmuldenzonen die basale Amputation der Inntaldecke tief in die Schichtenfolge einwirkt, so daß unterschiedliche Gesteine, teilweise sogar die Ablagerungen des Wettersteinkalks bis an die Deckenbasis reichen (s. Abb. 1, 5 sowie GSTREIN & HEISSEL, 1989).

Vor allem in den zahlreichen Untertageaufschlüssen der alten Bergbaustollen am Südabhang der Nordkette (s. a. GSTREIN & HEISSEL 1989, 1990) zeigt sich, daß die Deckenüberschiebungsstörung (= tektonische Basis der Inntaldecke) durch junge Störungen vom Zentimeterbereich bis in den Meterbereich, in Einzelfällen auch darüber, versetzt und verstellt werden kann (s. a. Abb. 19).

### 3.1.3 Die Karwendel-Schuppenzone (s. a. Abb. 1 und 3 sowie 4 bis 8)

Die Inntaldecke überlagert im Karwendel generell eine Zone mehr oder weniger zahlreicher tektonischer Schuppen, die HEISSEL (1978) Karwendel-Schuppenzone genannt hat. Der Charakter einer Schuppenzone kommt besonders deutlich im Nord- und Ostkarwendel, also nördlich der Inntaldecke zu Tage (s. a. Abb. 9). Im Nord- und Ostkarwendel zeigt sich auch deutlich, daß die Lechtaldecke sich zunehmend in die Schuppen der Karwendel-Schuppenzone auflöst (s. a. HEISSEL, 1976, 1978, 1991; HEISSEL in: DONOFRIO, HEISSEL & MOSTLER 1979, 1980). Diese nördliche Schuppenzone ist durch teils intensive Verfaltung entstanden, die aufgrund ihrer Intensität vielfach in deutliche Störungen mit Überschiebungscharakter überging. Dadurch findet sich neben aufrechter Schichtlagerung nicht selten auch stark überkippte oder verkehrte. Teilweise zeigen die Gesteine intensive multivergente Spezialfaltung (örtlich sogar mit steilen Faltenachsen) an.

Der südliche Abschnitt der Schuppenzone ließ sich durch die jüngsten Kartierungsarbeiten durch HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989) präzisieren. Demnach sind mit Ausnahme des Halltaler Salz- und Haselgebirgsvorkommens alle Gesteine einer einzigen Schuppe zuzuord-

nen (s. a. Abb. 1, 3), und zwar der sogenannten Thaurer Schuppe. Die Thaurer Schuppe weist im wesentlichen aufrechte Schichtlagerung auf. Sie ist zwischen der Kranebitter Klamm und dem Halltal durchbruch durch einen sehr ausgeprägten nordgerichteten Faltenbau gekennzeichnet. Teilweise ist diese Gesteinsfaltung so intensiv, daß es zu deutlichen Schichtreduktionen gekommen ist. Daher findet sich lokal auch immer wieder überkippte bis verkehrte Schichtlagerung. Die Thaurer Schuppe läßt sich von der Kranebitter Klamm nach Osten bis in das Gebiet nördlich von Schwaz verfolgen, ihre westlichsten Aufschlüsse im Karwendel bilden die Hauptdolomitgesteine des Martinsbühels am Inn. Auch die Karteller Scholle (SCHMIDEGG, 1951) gehört zur Thaurer Schuppe, wofür nicht zuletzt kleine Deckschollenreste der Inntaldecke in diesem Gebiet sprechen.

Demnach liegt der Salz- und Haselgebirgsstock des Halltales tektonisch unter der Thaurer Schuppe (HEISSEL in: GSTREIN & HEISSEL, 1989). Sein Einfluß reicht gegen Westen zumindest bis unter das Stempeljoch, was die von HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989) auskarrierten Einschuppungen von Gesteinen der Reichenhaller Schichten in die Sedimente des Wettersteinkalks knapp östlich des Stempeljochs beweisen.

Die Schichtenfolge der Thaurer Schuppe reicht zwischen Kranebitter Klamm und Halltal vom Wettersteinkalk über die Nordalpen Raibler Schichten bis in den Hauptdolomit. Südlich von St. Magdalena im Halltal finden sich in einer nordgerichteten Muldenstruktur auch Gesteine der Kössener Schichten, östlich des Halltales reicht die Schichtenfolge der Thaurer Schuppe bis in den Jura.

### 3.2. Strukturgeologische und fazielle Anmerkungen zur Decken- und Schuppentektonik im Karwendel sowie Gedanken zum Südrand der Nordtiroler Kalkalpen und zu großen ostalpinen Störungen in Tirol.

Um die hydrologischen Verhältnisse der Mühlauer Quellen richtig werten zu können, ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die die strukturgeologischen und faziellen Aspekte großräumig beleuchtet, durchzuführen.

Nachdem heute aufgrund der Tiefbohrung Vorderriß 1 der Deckenbau der Nordtiroler Kalkal-

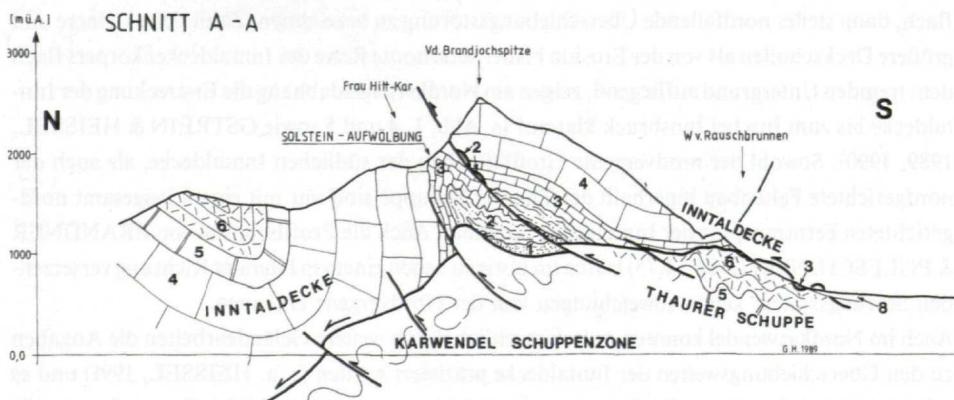


Abb. 4: Schnitt A—A (geologischer Schnitt)

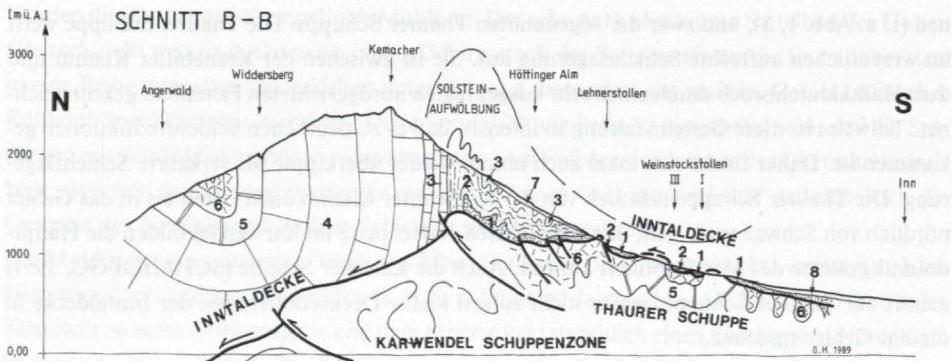


Abb. 5: Schnitt B-B (geologischer Schnitt)

pen für die Cenoman-Randschuppenzone, die Allgäudecke und die Lechtaldecke bewiesen ist, fehlt anscheinend für den einen oder anderen Fachkollegen noch ein derartiger Beweis für die Karwendel-Schuppenzone und die Inntaldecke. Wenngleich der Verfasser der Ansicht ist, daß sich im Gelände eine derart reiche Fülle von Beweisen für die Allochthonie der Inntaldecke nicht nur im Karwendel, sondern auch westlich davon im Bereich des Mieminger Gebirges, am Tschirgant und im Heiterwandgebiet erbringen läßt, daß auch ohne Tiefbohrung alle Zweifel beseitigt werden können, werden doch immer wieder Zweifel am Charakter einer fernüberschobenen Inntaldecke laut (z. B. BRANDNER & POLESCHINSKI, 1986). Als Argumente für die Ortsgebundenheit der Inntaldecke werden dabei fazielle und tektonische Gründe angeführt. Es wird einerseits zwar zugestanden, daß die Inntaldecke im Norden weite nordvergente Überschiebungen aufweise, im Süden seien jedoch steile südvergente Aufschiebungen typisch.

Dem kann folgendes entgegengehalten werden: Die Geländeergebnisse von HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989) am Südabhang der Innsbrucker Nordkette bzw. generell am Karwendel-Südrand haben ein Bild großräumiger Überschiebungsweiten herausarbeiten können. Die tektonische Basis ist demnach als vorerst flach südfallende, weiter gegen Norden zuerst flach, dann steiler nordfallende Überschiebungsstörung zu bezeichnen. Zahlreiche kleinere und größere Deckschollen als von der Erosion bisher verschonte Reste des Inntaldeckenkörpers flach dem fremden Untergrund aufliegend, zeigen am Nordkettensüdabhang die Erstreckung der Inntaldecke bis zum Inn bei Innsbruck klar auf (s. Abb. 1, 4 und 5 sowie GSTREIN & HEISSEL, 1989, 1990). Sowohl der nordvergente Großfaltenbau der südlichen Inntaldecke, als auch der nordgerichtete Faltenbau innerhalb der Thaurer Schuppe sind nur mit einem insgesamt nordgerichteten Ferntransport der Inntaldecke vereinbar. Auch die Profilschnitte von BRANDNER & POLESCHINSKI (1986:74,75) lassen im übrigen neben einem in lateraler Richtung versetzenden Störungssystem keine Abweichungen von der Nordvergenz erkennen.

Auch im Nordkarwendel konnten zwischenzeitlich durch weitere Geländearbeiten die Angaben zu den Überschiebungsweiten der Inntaldecke präzisiert werden (s. a. HEISSEL, 1991) und es zeigt sich dabei ein mit dem Südkarwendel vergleichbares tektonisches Bild. Demnach weist die tektonische Basis der Inntaldecke, die insgesamt (wie auch am Südhang der Nordkette) flach

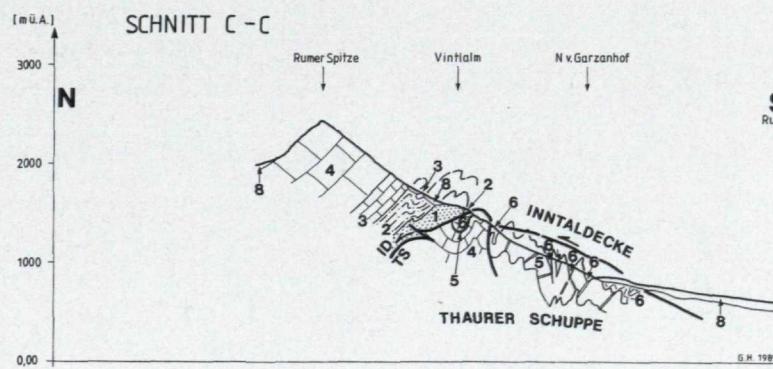


Abb. 6: Schnitt C—C (geologischer Schnitt)

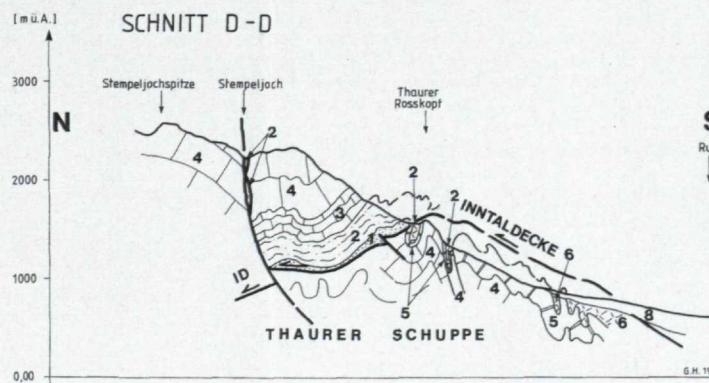


Abb. 7: Schnitt D—D (geologischer Schnitt)

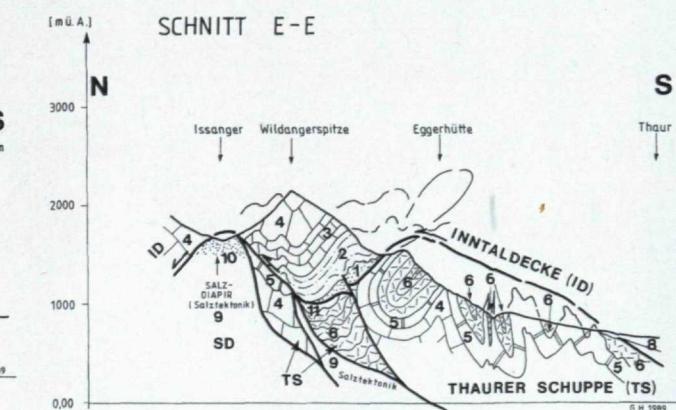


Abb. 8: Schnitt E—E (geologischer Schnitt)

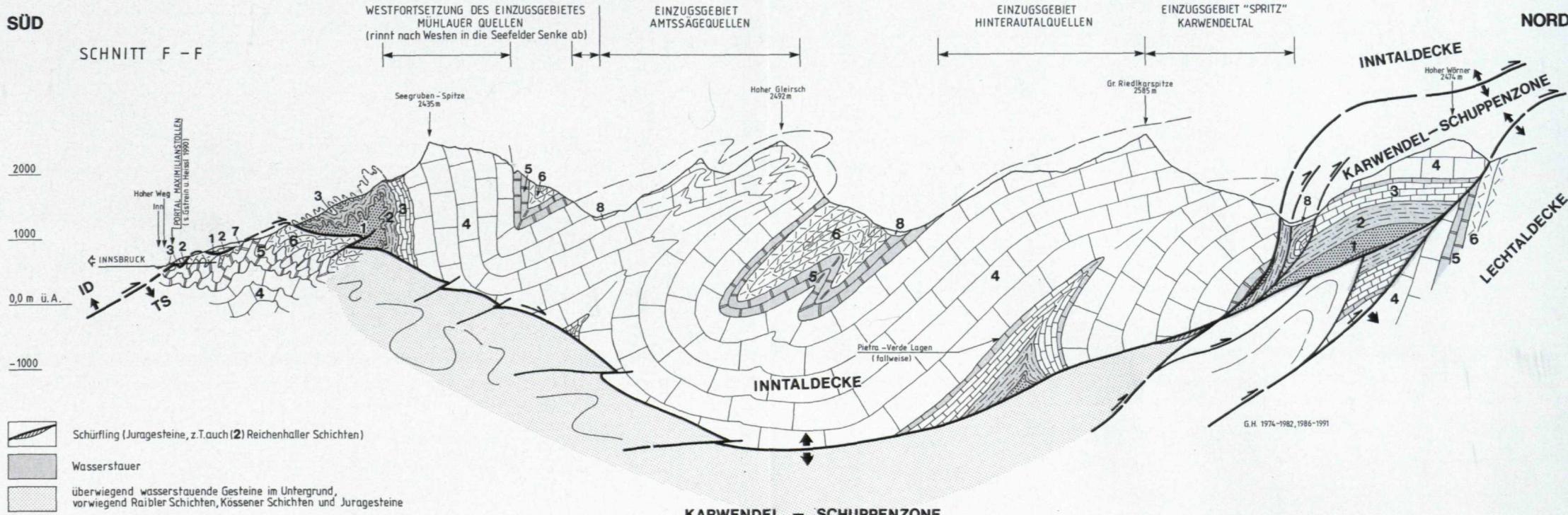


Abb. 9: Schnitt F—F (hydrogeologischer Schnitt durch das Karwendelgebirge)

fremdem Untergrund auflagert, zwischen dem Kleinen und dem Großen Ahornboden großräumige und deutliche Verbiegungen mit Nordnordost-Südsüdwest-Verlauf, also der Richtung der Täler Johannestal, Laliderertal, Engtal folgend, auf. Während im Bereich des Johannestales und Engtales die Deckengrenze muldenartig verbogen ist, folgt das Laliderertal offensichtlich der Achse einer Aufsattelung. Rückschlüsse auf die Entstehung der nördlichen Karwendeltäler Ron-, Tor-, Johannes-, Laliderer- und Engtal mit ihrem Abweichen vom Ost-West-Verlauf der südlichen Karwendeltäler sind damit möglich: die nördlichen Karwendeltäler zeichnen Verbiegungen der Basisfläche der Inntaldecke nach. Es gibt somit nunmehr deutliche Hinweise, daß die Inntaldecke früher zumindest bis zum Rißtal bei Hinterriß gereicht hat! Die vorstehend erwähnten Verbiegungen der Basisfläche der Inntaldecke konnten durch das Auffinden zahlreicher kleiner Deckschollenreste von Untertriasgesteinen (Alpiner Buntsandstein, Reichenhaller Schichten, Alpiner Muschelkalk) auf Juragesteinen, teils auch auf Unter-, Mittel- und Obertriasgesteinen des fremden Untergrundes (Karwendel-Schuppenzone) herausgearbeitet werden. Bisher war ja nur die Deckscholle des Ladizköpfls und die Teufelskopf-Gumpenspitze-Halbkuppe als Teil der Inntaldecke bekannt. Nun müssen jedoch auch die Deckscholle im Bereich des Sonnjochs, weiters die des Mahnkopfs mit ihren Resten von Alpinem Buntsandstein und von Reichenhaller Schichten zur Inntaldecke gezählt werden. Auch im Gebiet des Falkenstandes finden sich Gesteine der Inntaldecke. Es handelt sich dabei um Reste von Reichenhaller Schichten über verschürften Resten von Juragesteinen, die ihrerseits wiederum tektonisch Gesteinen der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalks auflagern. Auch am Westabhang des Ladizköpfls, des Mahnkopfs und des Zipfelbodens finden sich mehrere kleine Reste der Inntaldecke (Alpiner Buntsandstein, Reichenhaller Schichten) bis auf etwa 1550 Meter ü. A. hinabreichend. Die Falkenhütte selbst steht ebenfalls auf einer kleinen Deckscholle der Inntaldecke. Diese Deckschollenreste lagern entweder auf Gesteinen des Hauptdolomits oder der Nordalpinen Raibler Schichten. Hauptdolomit und Raibler Schichten wiederum lagern zwischen dem Jura des tektonischen Untergrundes und der Untertrias der Inntaldecke als Reste einer bisher nicht bekannten tektonischen Einheit, die z. B. im Bereich des Ladizköpfls und am Mahnkopf auftritt. Diese neue tektonische Einheit kann jedoch auch vollständig ausgewalzt sein, so daß die Deckschollen der Inntaldecke direkt den Juragesteinen oder den Untertriasgesteinen des tektonischen Untergrundes auflagern können. Weitere Reste dieser neuen zwischengelagerten Einheit finden sich mit Gesteinen des Wettersteinkalks östlich des Teufelskopfes zwischen Enger Grund, Lalidersalm Hochleger und dem Gebiet südlich der Gumpenspitze zwischen etwa 1650 und 1900 Meter ü. A. sowie im Bereich der Drijaggenalm östlich der Engalm. Reste von Hauptdolomit südlich des Binsalm Niederlegers gehören ebenfalls dazu. Nördlich des Lalidersalm Hochlegers ist ein ausgeprägter Quellhorizont an die Basis dieser tektonischen Einheit gebunden. Ein steiles Abtauchen der Strukturen am Ostende der Inntaldecke, das nach BRANDNER & POLESCHINSKI, (1986) ebenfalls gegen den Charakter einer Ferndecke sprechen soll, kann im Gelände nicht nachvollzogen werden. Einerseits streichen alle Sattel- und Muldenstrukturen der Inntaldecke von Westen aus der Seefelder Senke kommend gegen Osten ansteigend entlang der Vomper Kette nacheinander in der Luft aus, und zwar die nördlicheren weiter im Westen, die südlicheren mehr und mehr im Osten dieser Bergkette, andererseits streicht auch die Inntaldecke insgesamt unweit westlich des Mahdgrabens in etwa 900 Metern ü. A. eng zwischen die

Gesteine der Karwendel-Schuppenzone eingepreßt, in der Luft aus. Wenn man bedenkt, daß die Basis der Inntaldecke beispielsweise unter dem Hohen Gleirsch etwa 2000 Meter unter dem Meeressniveau anzunehmen ist (s. Abb. 9), so steigt sie in Richtung Mahdgraben etwa 2900 Höhenmeter mehr oder weniger kontinuierlich an.

Somit können alle in jüngster Zeit vorgebrachten Bedenken tektonischer Art (BRANDNER & POLESCHINSKI, 1986) hinsichtlich der Allochthonie der Inntaldecke als entkräftet angesehen werden.

Sehr interessant sind die Ergebnisse von EISBACHER et al. (1990), die auch der Inntaldecke Deckencharakter bescheinigen. Leider weist diese Arbeit zumindest in ihrem Südabschnitt Unklarheiten auf: So ist z. B. die stark überkippte bis inverse Schichtfolge des Tschirgantgipfels unberücksichtigt, die Abgrenzung der Inntaldecke westlich Imst mehr als problematisch, der Heiterwandsattel nicht berücksichtigt, die Intertektonik der Inntaldecke östlich von Imst nicht den Tatsachen entsprechend, und auch im Bereich der Lechtaldecke können Detailkartierungen nur teilweise das von EISBACHER et al. (1990) dargebotene Bild bestätigen.

Es empfiehlt sich an dieser Stelle auch, über die Problematik der Südgrenze der Nordtiroler Kalkalpen im Bereich des Karwendelgebirge einige Bemerkungen anzubringen:

Schon die Bohrung Rum, die bei einer Endteufe von 199 Metern unter dem Talboden des heutigen Inntales wegen zu starken Wasserandranges abgebrochen werden mußte, hat nicht den Felsuntergrund des Inntales angetroffen (AMPFERER, 1921). Weitere ähnliche Untersuchungen, beispielsweise im Raum Wörgl, haben das Bild eines stark übertieften Tales, wie es schon die Bohrung Rum gezeigt hat, erhärteten können. Im Jahr 1989 wurde bei Wattens eine 900 Meter tiefe Bohrung etwa in der Mitte des Inntales mit dem Ziel der Erkundung tiefer Grundwässer abgeteuft. Dabei wurde der Felsuntergrund ebenfalls nicht angetroffen (WEBER et. al. 1990). Es ergibt sich daraus die wichtige Frage nach der Ursache der starken Übertiefung des Inntales. Eine Erklärungsmöglichkeit für die Übertiefung wäre der Überlagerungsdruck (»...enorme glaziale Talübertiefung...«; WEBER, 1990) des mächtigen eiszeitlichen Inntalgletschers. Dagegen spricht u. a., daß beispielsweise das Inntal bei Roppen nicht eingetieft ist; im Gegenteil, der Inn durchschneidet hier sogar nahe dem Kalkalpen-Südrand ein deutlich über das westlich und östlich gelegene Inntalniveau herausragendes Hauptdolomitplateau schluchtartig. Auch müßten bei einer Übertiefung infolge Eisdruckes über dem Fels der Talsohle mächtige feinklastische Stillwassersedimente abgelagert worden sein, da der nacheiszeitliche Inn nur über eine markante Seenbildung in das niveaumäßig wesentlich höhere Alpenvorland entwässern hätte können. Derartige Tonschluffsedimente fehlen jedoch in der Bohrung Wattens. Auch mit der Kombination Eisabschurf und Eisüberlagerungsdruck kann man das Phänomen des stark übertieften Inntales nicht erklären, weil auch hier die vorstehend angeführten Gegenargumente zu treffen.

Daher bleibt als neue Erklärung nur die Möglichkeit der tektonischen Ursache der starken Übertiefung des Inntales: Wenn man die großen Satellitenbildlineamente der Ostalpen betrachtet und mit der seismischen Aktivität vergleicht, so sieht man, daß es heute große Störungslinien in den Ostalpen gibt, die kaum noch aktiv oder zur Zeit inaktiv sind (z. b. Navistalstörung als Fortsetzung der Salzachtalstörung, Pustertalstörung), und solche, an denen heute der Großteil der seismischen Aktivität in Tirol stattfindet. Als zur Zeit besonders aktiv sind vor allem die Stubai-

talstörung, die in die Unterinntalstörung übergeht, weiters die Oberinntalstörung zwischen Innsbruck und Telfs mit ihrer Fortsetzung in das Mieminger Plateau hinein, weiters die Oberinnatalstörung zwischen Telfs und Roppen mit ihrer Fortsetzung im Stanzer Tal, vor allem aber auch die Engadiner Störung mit ihrer Fortsetzung ins Gurgltal, ins Ehrwalder Becken und weiter ins Alpenvorland zu erwähnen. Generell fällt auf, daß das Gebiet der Nordtiroler Kalkalpen heute von besonderer seismischer Aktivität gekennzeichnet ist. Dagegen sind Lineamente wie die Pustertalstörung oder die Navistalstörung derzeit seismisch nahezu inaktiv.

Wie sind alle diese Störungen auszudeuten:

Sehr gut zur Interpretation geeignet sind die Aufschlüsse bei Pfons und im Navistal, wo zum Beispiel im Raum Peeralm — Latteralalm — Grafmärtalm, aber auch beispielsweise am Gallenschrofen und südlich davon die intensiven und mehr oder weniger senkrecht gelagerten Verschuppungen zwischen Gesteinen des Innsbrucker Quarzphyllits, den Resten der zwischen Pustertal und Inntal zahlreich vorhandenen deckenartig verbreiteten Matreier Schuppenzone und den penninischen Bündner Schiefern den Störungstyp einer mächtigen Subduktionszone deutlich werden lassen. Auch die Pustertalstörung spiegelt ein derartiges Strukturbild wider. Zurückkommend zu den tektonischen Verhältnissen im Inntal können wir im Vergleich mit den strukturgeologischen Erkenntnissen an anderen Subduktionszonen das Abtauchen der kalkalpinen Decken und Schuppen gegen Süden in das Inntal (zur Erinnerung: die Inntaldecke reicht in Innsbruck mir ihren Obertageaufschlüssen nach Süden bis an den Hohen Weg), sowie vor allem auch die starke Übertiefung der Felstalsohle als Produkt einer rezent aktiven Subduktionszone ansehen. Dabei haben sich die Absenkungsgeschwindigkeit des Felsuntergrundes und die Ablagerungsgeschwindigkeit der jungen Inntalsedimente in gewissen Talabschnitten annähernd die Waage gehalten (zwischen Roppen und Imst ist die tektonische Absenkung viel geringer, als z. B. im Raum Wattens). Es kommt also an diesen Subduktionszonen zu markanter Krusteneinengung und Krustenabsenkung. Großräumige Ost-West-Verschiebungen, wie sie in letzter Zeit in der Fachliteratur immer wieder mehr oder weniger als dominant beschrieben werden (z. B. BRANDNER & POLESCHINSKI, 1986), haben jedoch an diesen Subduktionszonen nicht stattgefunden. Blattverschiebungen, wie sie teilweise tatsächlich auskartiert bzw. an flachen Harnischriefungen abgelesen werden können, weisen nur geringe Versetzungsbeträge auf und sind lediglich von lokaler, d. h. untergeordneter Bedeutung. Angemerkt soll hier auch werden, daß die Silltalstörung nur in ihrem nördlichsten Abschnitt, also nördlich der Einmündung des Viggartales ins Silltal den Charakter einer Subduktionszone »vortäuscht«. Vom Sterzinger Becken bis nördlich von Matrei am Brenner kommt ihr, wie eigene detaillierte strukturgeologische Kartierungsarbeiten gemeinsam mit Herrn Dr. W. LEIMSER (Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr, Innsbruck) zeigten, sicher nicht der Charakter einer Subduktionszone zu. Es handelt sich hingegen um die flach nach Westen einfallende Überschiebungsstörung des mittelostalpinen Tuxer Alpen-Ötztalkristallins (Patscherkofel, Glungezer etc.) über die Reste der unterostalpinen Einheiten der sogenannten Matreier Schuppenzone (Anmerkung: der Begriff Schuppenzone sollte in der Literatur zu Gunsten des Begriffes Deckenzone, also Matreier Deckenzone, weichen) und über die penninischen Hüllgesteine des Tauernfensters. Nördlich von Matrei stellt sich diese Überschiebungsstörung der mittelostalpinen Decke des Ötztalkristallins über die unterostalpinen Einheiten der Matreier Deckenzone (siehe vorstehende

Erläuterung) und des Innsbrucker Quarzphyllits zunehmend steiler und verläuft alsbald saiger stehend an der Stephansbrücke das Silltal verlassend in Richtung Oberinntal. Diese Steilstellung dürfte als Auswirkung der Subduktionsvorgänge einerseits entlang der Stubaitalstörung, andererseits entlang der Oberinntalstörung aufzufassen sein. Jedenfalls soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Darstellungen MOSTLERS (1986), die tektonischen Verhältnisse im Bereich des Silltales betreffend, nicht mehr mit dem heutigen Kenntnisstand über diese »Schlüsselzone« des Gebirgsbaues der Ostalpen, wie sie durch die eigenen intensiven Geländeaufnahmen erarbeitet werden konnten, übereinstimmen. Auch MOSTLERS (1986) Ansicht von einer fast durchwegs vorherrschenden inversen Lagerung des Innsbrucker Quarzphyllits (aufrechte Schichtlagerung gäbe es demnach nur im Bereich der Hippolddecke der Tarntaler Berge) muß heute in einem anderen Licht betrachtet werden. Demnach wird das auf den ersten Blick so gleichmäßig anmutende großflächige Areal des Innsbrucker Quarzphyllits in seinem Nordabschnitt von mehreren, meist flach in nördliche bis nordwestliche Richtung einfallenden, im Süden gegen das Navistal zu meist steilstehenden Überschiebungsstörungen, an denen hin und wieder Reste unterostalpiner mesozoischer Sedimente eingeklemmt sind, unterteilt. Zumindest im Bereich des Mölstales und am Mislkopf liegt die permomesozoische Sedimentabfolge den Gesteinen des Innsbrucker Quarzphyllits tektonisch und nicht transgressiv auf und ist so als Teil der Matreier Deckenzone anzusehen.

Nun noch kurz fazielle Anmerkungen zur kalkalpinen Decken- und Schuppentekonik: Hier muß einmal mehr auf die Frage der Faziesgebundenheit der kalkalpinen Tektonik eingegangen werden. BRANDNER & POLESCHINSKI (1986) beispielsweise sehen als Ursache für die tektonische Herausformung der Inntaldecke die Faziesdifferenzierung in der Mitteltrias, wonach die etwa 2000 Meter mächtige Wettersteinkalkplattform der späteren Inntaldecke rundum von max. 200 Meter mächtiger Partnachbeckenfazies umgeben sei. Weiters meinen die beiden vorstehenden Autoren, daß dieser enorme Mächtigkeitsunterschied und Unterschied in der Verformbarkeit sich bei jeder weiteren tektonischen Beanspruchung auswirken müßte. Dies spräche u. a. dafür, daß die Inntaldecke nicht als fernüberschobene Decke anzusehen sei, sondern lediglich eine tektonisch herausgepreßte und durch Lateraltektonik noch weiter isolierte Scholle, aus dem Südteil der Lechtaldecke hervorgegangen, darstelle.

Dem wurde schon in GSTREIN & HEISSEL (1989) mit einer Fülle von im Gelände beobachtbaren Argumenten widersprochen. Daher seien an dieser Stelle nur noch einige Sachverhalte kurz und ergänzend dargestellt, nicht zuletzt, weil davon auch die Ausdeutung der hydrogeologischen Verhältnisse wesentlich abhängt.

\* Daß die Wettersteinkalkplattform der Inntaldecke rundum von Partnachfazies umschlossen sei, stimmt nicht. Wie GSTREIN & HEISSEL (1989) aufzeigen konnten, finden sich Sedimente der Partnachschichten nur sehr untergeordnet im Nahbereich der Inntaldecke.

\* GSTREIN & HEISSEL (1989) verwiesen bereits auf die geomechanische Unmöglichkeit eines pilzartigen steilen Herauspressens des in der Mitteltrias etwa 1800 Meter mächtigen Sedimentstapels der Wettersteinkalkplattform über die sie angeblich allseits umgebende Beckenzenen. Man bedenke nur, daß zu Beginn des Cordevols die Wettersteinkalkplattform im Mittel etwa 1800 Meter tiefer in die Erdkruste »eingetaucht« ist, als die Bruchschollenbereiche mit Partnachbeckenfazies. Daß der große Bereich der Wettersteinkalkplattform bei der späteren

Krusteneinengung, obwohl er wesentlich mehr »Tiefgang« (ähnlich einem Eisberg) aufwies, über die Faziesbereiche der Partnachbecken mit ihrem geringen »Tiefgang« herausgepreßt hätte werden sollen, ist geomechanisch nicht erklärbar. Dabei muß ergänzend betont werden, daß alle bisherigen Faziesschemata der Mitteltrias (z. B. BECHSTÄDT & MOSTLER 1974, DONOFRIO, HEISSEL & MOSTLER 1979) schon in ihrer Darstellungsweise einen grundlegenden Gedankenfehler beinhalten. Dies vor allem deshalb, weil sie die synsedimentäre Bruchtektonik nicht berücksichtigen und so Sedimente verschiedenen Alters in ein und demselben Zeitschnitt nebeneinander darstellen. Unter Beachtung der synsedimentären Bruchschollentektonik kämen wesentlich genauere und differenziertere Faziesbilder zur Darstellung, die dann auch die geomechanische Unmöglichkeit der tektonischen Prozesse im Sinne von BRANDNER & POLESCHINSKI (1986) klar aufzeigen würden. Das Nichtaußerachtlassen der synsedimentären Tektonik zeigt auch auf, daß der bisher in der Literatur postulierte großräumige Niveauausgleich des Reliefs des Meeresbodens zu Beginn des Juls einerseits mit dem großräumigen Auftreten von Sandsteinschüttungen zu diesem »Zeitpunkt« andererseits ein Widerspruch in sich ist und die durch die Geländearbeiten von HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989) gewonnenen Erkenntnisse im Gegensatz dazu gut zusammenpassen: Demnach war die synsedimentäre Bruchschollentektonik an der Wende Cordevol — Jul noch voll im Gange (wofür ja die Sandsteinschüttungen, die kräftige Hebung mit Erosion im Hinterland signalisieren, sprechen), ja die Sandsteinschüttungen haben in den Nordtiroler Kalkalpen vielfach bereits präjulisch eingesetzt. Damit ist die von BECHSTÄDT & MOSTLER (1974) erkannte Faziesdifferenzierung in der Mitteltrias (Alpiner Muschelkalk — Partnachschichten — Wettersteinkalk) um die mancherorts bereits präjulisch einsetzende Sedimentation der Nordalpinen Raibler Schichten zu erweitern. (vgl. auch Kapitel 3.3.6 der vorliegenden Arbeit). Mit Sicherheit ist weiters damit zu rechnen, daß die Sedimentation des Hauptdolomits mancherorts bereits pränorisch einsetzt. Dies gilt nicht nur für das Südkarwendel, sondern insgesamt für weite Teile der Nordtiroler Kalkalpen.

\* Wenn nicht die mitteltriadische Faziesdifferenzierung als Ursache für die Decken- und Schuppentecktonik der Nordtiroler Kalkalpen herangezogen werden kann, ist die Frage nach dem »Motor« dieser tektonischen Prozesse vordringlich. Auch hier bietet das Karwendelgebirge vermutlich den Schlüssel zur Lösung dieser Frage: Nach eigener Ansicht liegt die Ursache in der permotriadischen bis frühkarbonischen synsedimentären Bruchschollentektonik, die gebietsweise die Ablagerung teils mächtiger Salz-, Haselgebirgs- und Gipsvorkommen bzw. gipsführender Gesteine gestattete. Diese sehr mobilen Sedimente sind durch die weiteren Prozesse der Bruchschollentektonik, nachfolgend auch durch die gebirgsbildenden Prozesse stets mobil geblieben und haben so das »Herausformen« der späteren tektonischen Einheiten bewirkt. Dies zeigt das Karwendel besonders deutlich, wo die haselgebirgs- bzw. gips/anhydritreichen triadischen bis permotriadischen Sedimente des Ostkarwendels und des Haller Salzgebirgsstocks zu einer Zone besonders intensiver Verschuppung und Verfaltung zwischen Lechtaldecke und Inntaldecke, nämlich zur Herausbildung der Karwendel-Schuppenzone und in weiterer Folge zu der an diesen Salz und Gips führenden mobilen Sedimenten armen Inntaldecke geführt haben! Man sieht also, daß der Grundstein zur kalkalpinen Decken- und Schuppentecktonik am Beginn der alpinen Geosynklinalentwicklung gelegt wurde und durch die besonders mobilen Sedimente des

Salz- und Haselgebirges und der Reichenhaller Schichten, vermutlich noch besonders begünstigt durch die synsedimentäre Bruchschollente tektonik (durch die Zufuhr von Wässern über die großen Bruchschollenstörungen), dieser Prozess bis in die subrezente und rezente Tektonik hineinreicht (siehe die Erdbebentätigkeit im Bereich des Halltales etc.). Somit können die Faziesdifferenzierungen während der Mitteltrias oder auch später als Ursache für die Entstehung der in der Tat fernüberschobenen kalkalpinen Decken und Schuppen zu Gunsten der widerspruchsfreien, in der Natur durch Beobachtungen nachvollziehbaren Erklärungen (Faziesdifferenzierung am Beginn der alpinen Geosynklinalentwicklung mit Mobilwerden Salz und Gips führender Sedimente, gesteuert durch die synsedimentären bruchtektonischen, später auch durch die gebirgsbildenden Abläufe) ausgeschieden werden. Dies gilt auch für andere Bauteile der Tiroler Ostalpen, wie z. B. für die ausgedehnten Deckensysteme des unterostalpinen Mesozoikums.

Den interessanten Thesen EISBACHERS et al. (1990) ist entgegenzuhalten, daß die Abscherungshorizonte im Bereich der Nordalpinen Raibler Schichten und der Kössener Schichten zumindest im Gebiet der Inntaldecke und der Karwendel-Schuppenzone nur von sehr untergeordneter Bedeutung in Fällen besonderer lokaler Platzeinengung sind. Daß beispielsweise die Inntaldecke im Westen an ihrer Basis mit Hauptdolomitgesteinen, im Osten dagegen mit Untertriasgesteinen beginnt, ist wohl hauptsächlich eine Sache des basalen tektonischen Schrägzuschnittes im Zuge der Deckenwanderung, zusätzlich vielleicht verstärkt durch verminderde Sedimentationsbeträge in der Mitteltrias (Partnachschichten ersetzen teilweise oder zur Gänze die wesentlich mächtigeren Wettersteinkalke).

Noch eine kurze Bemerkung zum Kalkpensüdrand im Raum Innsbruck: Ergänzend zu den vorstehenden Erläuterungen bezüglich der Charakterisierung der Inntalstörung als große, rezent immer noch sehr aktive Subduktionszone sei festgehalten, daß die Vermutung von ARIC & STEINHAUSER (1976), die sich u. a. auf eine persönliche Mitteilung von MOSTLER stützt, wonach die Kalkpensüdgrenze östlich von Innsbruck unter dem Südrand von Thaur liegen soll, als sehr unwahrscheinlich anzusehen ist. Dagegen spricht u. a., daß das Abtauchen der kalkalpinen Strukturen nach Süden im Raum Innsbruck generell flach erfolgt, wohingegen beispielsweise die kalkalpinen Strukturen am Kalkpensüdrand westlich des Tschirgantbergsturzes steil bis senkrecht gelagert sind. Zudem zeigen die strukturgeologischen Verhältnisse westlich des Tschirgantbergsturzes und östlich von Schwaz klar auf, daß die Kalkpensüdgrenze auch im Raum Innsbruck weiter im Süden und nicht bereits knapp südlich des Hohen Weges oder knapp südlich von Thaur angenommen werden muß.

### 3.3 Die Schichtenfolge:

Über die Schichtenfolge im Bereich der Innsbrucker Nordkette gibt die Arbeit von GSTREIN & HEISSEL (1989) detailliert Auskunft, weshalb darauf verwiesen werden kann. Trotzdem seien auch hier einige Anmerkungen zu den einzelnen Schichtgliedern gestattet, vor allem solche, die von hydrogeologischer Bedeutung sind.

Im Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen finden sich Sedimentgesteine aus dem Erdmittelalter. Ihr Alter beträgt ca. 240—185 Millionen Jahre (Trias). Hinzu kommen am Südhang der Innsbrucker Nordkette geologisch relativ junge Ablagerungen aus dem Quartär, nämlich die sogenannte Höttinger Breccie, vermutlich aus dem Mindel-Riß-Interglazial, das ist ca. 300.000—

400.000 Jahre vor heute. Stellenweise wird diese Breccie von Moränensedimenten und Seetonen unterlagert, im Bereich des Hungerburgplateaus von eiszeitlichen Moränen auch überlagert. Die jüngsten Sedimente im Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen sind die rezenten Hang- und Karschuttablagerungen. Moränenablagerungen finden sich auch nördlich des Nordkettenkammes.

### 3.3.1 Alpiner Buntsandstein:

Die Gesteine des Alpinen Buntsandsteins fallen am Südabhang der Nordkette an manchen Stellen (z. B. Vintlalm, Höttinger Graben) durch ihre meist deutliche Rotfärbung auf. Es handelt sich um eine Wechsellagerung von im allgemeinen dünnblättrigen Tonsteinpartien mit dünnbankigen feinkörnigen und vielfach quarzitisch gebundenen Sandsteinbänken. Im Bereich von Störungen neigen die Sedimente des Alpinen Buntsandsteins zur Bildung von tonigen Mylonitzonen. Aufgrund ihres hohen Tonsteinanteiles stellen die Buntsandsteingesteine im Gebirgsbau ein meist sehr gut wirksames wasserstauendes Element dar. Dies kommt u. a. dadurch zum Ausdruck, daß sich entlang eines Horizontes kleiner Quellen mehrere Almen perl schnurartig aneinanderreihen (Thaurer Alm, Vintlalm, Umbrückler Alm, Galtalm). Auch die Mühlauer Quellen entspringen im direkten Nah- bzw. Einflußbereich des Buntsandsteins, dessen Gesteine die ältesten Sedimente im Karwendel sind. Im Südkarwendel finden sich Ablagerungen von Salz- und Haselgebirge nur im Bereich der Salzlagerstätte des Halltales (s. a. SCHMIDEGG 1951, GSTREIN & HEISSEL 1989). Zum Alter der grünlichfarbenen, glimmerführenden Sandsteine des Buntsandsteins im Karwendel, sowie zum Alter des Haselgebirges und der Sedimente der Reichenhaller Schichten muß neuerlich auf HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL 1989) verwiesen werden. Ergänzend sei erwähnt, daß SPÖTL (1989) nicht nur ein unklares Bild über den tektonischen Bau des Gebietes Zunterköpfe — Haller Salzlagerstätte vermittelt, sondern auch bei der Altersfrage des Salz- und Haselgebirges und der Reichenhaller Evaporite widersprüchlich bleibt.

**3.2.3 Reichenhaller Schichten:** Die über den Buntsandsteingesteinen nächstjüngeren Ablagerungen der Reichenhaller Schichten stellen eine vielfältige Gesteinsabfolge dar. Sie bestehen aus dünnbankigen Kalken, mergeligen Kalk- und Dolomitgesteinen, dünnen Schiefertonen und sedimentären Feinbreccien, die oberflächennahe löchrig verwittern können (= Rauhwacken). Die Gesteinsfärbung reicht von dunkelgrau bis fast schwarz über hellere schmutzige Grautöne und über rostiges Ocker und Braun bis zu zartblassen Rosatönen. Vor allem bei den mergeligen Karbonaten, teils auch bei den sedimentären Breccien handelt es sich großteils um mürbes Gestein. Hervorzuheben ist weiters das Auftreten von Gips innerhalb der Reichenhaller Schichten, das jedoch im Bereich des Südhanges der Nordkette sehr gering einzustufen ist. Aufgrund ihres teilweise relativ hohen Anteils an dünnen mergeligen Einlagerungen, feinen abdichtenden Schiefertonzwischenlagen und dicht gepackten Feinbreccien, deren Komponenten im allgemeinen in perlitischer Matrix eingebettet sind (teils treten auch dünne unverfestigte Lehmeinschaltungen hellbrauner Färbung schichtparallel, sowie sekundär als Kluftletten eingebettet auf), gelten die Reichenhaller Schichten zumeist als sehr gute Wasserstauer, was entlang des Südhanges der Nordkette mehrfach deutlich wird. Dies trifft auch im Bereich der Mühlauer Quellen zu, wo die Reichenhaller Schichten ihre wasserstauende Wirkung voll entfalten und nur der Grenzbe-

reich zu den Gesteinen des Alpinen Muschelkalks wasserführend ist. Unter Bergwasserandrang sind vor allem lehmreiche Partien der Reichenhaller Schichten, ähnlich wie die tonschluffigen Buntsandsteingesteine, wasserempfindlich.

**3.3.3 Alpiner Muschelkalk:** Auch die Schichtenfolge des Alpinen Muschelkalks wird von einer heterogenen Gesteinsgesellschaft zusammengesetzt. Über den Reichenhaller Schichten setzen dünnblättrige bis feinbankige dunkelgraue Kalke mit unruhigem Interngefuge ein (sogenannte Flaser- und Wurstelkalke) (Virgioriakalk). Feine Schiefertonlagen können vereinzelt zwischen geschaltet sein. Im Mittelabschnitt der Schichtenfolge finden sich dünn- bis dickbankige, teilweise massig wirkende hellere graue ebenflächige, teils deutlich Crinoiden-führende Kalke (Steinalmkalk). Darüber folgen wellige, meist plattig ausgebildete Hornsteinknollenkalke (Reiflinger Knollenkalk). Diesen Kalken — sie fehlen im Bereich der Seegrube aus faziellen Gründen — sind teils zahlreich grüne Mergel vulkanischen Ursprungs (Pietra Verde) zwischengeschaltet. Die Muschelkalksedimentation wird meist durch bankige, mittelgraue Kalke (Reiflinger Bankkalk) abgeschlossen. Den Gesteinen des Alpinen Muschelkalks kommt nur dort wasserstauende Wirkung zu, wo Pietra Verde-Lagen gehäuft auftreten. Dies ist — wie schon erwähnt — im Großraum um die Seegrube, und damit auch im Fassungsbereich der Mühlauer Quellen nicht der Fall.

**3.3.4 Partnachschichten:** Wie die Geländeearbeiten durch HEISSEL (vgl. GSTREIN & HEISSEL 1989) gezeigt haben, gibt es im Einzugsbereich der Mühlauer Quellen keine Gesteine der Partnachschichten. Sie würden, wären sie vorhanden, aufgrund ihrer teils deutlichen Schiefertonführung als Wasserstauer im Gebirge auftreten, wie es beispielsweise im Bereich der Sprengmittellagerquelle östlich von Zirl der Fall ist.

**3.3.5 Wettersteinkalk:** Im Bereich der Innsbrucker Nordkette beginnt die Schichtenfolge über den Gesteinen des Alpinen Muschelkalks mit anfangs grobbankigen, rasch jedoch massigen, meist hellen, teils auch dunkelgrauen Kalken. Es handelt sich um Vorriff- und Riffablagerungen, die so als relativ inhomogene Karbonate anzusehen sind: Riffschuttbreccien wechseln mit riffbildenden Organismen, die — genetisch bedingt — zahlreiche mehr oder weniger vollständig verfüllte Hohlräume einschließen. Diese chemisch verfüllten Hohlräume sind — beispielsweise am Goetheweg (Hermann-Buhl-Weg) als Großoolithstrukturen gut sichtbar (s. a. BRANDNER & RESCH in: BOSELLINI et al., 1980). Gegen oben setzen in der Schichtenfolge zunehmend dünnplattige bis (dünn)bankige, teils fein laminierte hellgraue bis gelblich und weißlich helle Kalke ein, die Lagunensedimente darstellen. Sie sind im Einzugsbereich der Mühlauer Quellen der Hauptgesteinssbildner. Dank seiner zahlreichen genetisch bedingten Hohlräume im Bereich der Riffschutt- und Riffsedimente bzw. aufgrund seiner sehr ausgeprägten Schichtung im Bereich der Lagunensedimente ist der im zentralen Karwendel bis knapp über 2000 Meter Mächtigkeit erreichende Wettersteinkalk ein Gestein mit unzähligen Wasserwegen und daher ein sehr guter Wasserleiter im Gebirge. Bei flacher Schichtlagerung (Mandltal, Grubach, Pfeis) neigt er zu deutlich sichtbarer Oberflächenverkarstung. Er bildet somit das Hauptspeichergerstein für die Bergwässer der Mühlauer Quellen. Im Bereich der Zunterköpfe, also außerhalb des Einzugsbereiches der Mühlauer Quellen (vgl. Abb. 3, 6—8), sind innerhalb der Thaurer Schuppe nur

die höchsten Bereiche der Schichtenfolge des Wettersteinkalks aufgeschlossen. Es handelt sich hiebei um massig wirkende, nur sehr undeutliche Schichtung aufweisende riffnahe Lagunensedimente. In ihren hydrogeologischen Eigenschaften sind diese Gesteine jedoch mit dem Wettersteinkalk im Einzugsbereich der Mühlauer Quellen durchaus vergleichbar.

**3.3.6 Nordalpine Raibler Schichten:** Über die Nordalpinen Raibler Schichten am Südabhang der Innsbrucker Nordkette und im Bereich der Zunterköpfe geben GSTREIN & HEISSEL (1989) detailliert Auskunft. Diese Vorkommen von Nordalpinen Raibler Schichten liegen im Bereich der Thaurer Schuppe und damit außerhalb des Einzugsgebietes der Mühlauer Quellen, treten aber im unmittelbaren Nahbereich der Quellen auf. Die Nordalpinen Raibler Schichten des Gleirschtals, Grubachs bzw. Mandltals und des Hinterautales liegen, wie die strukturgeo-logischen Betrachtungen (siehe auch Kapitel 5.7) zeigen, zwar innerhalb der Inntaldecke, aber außerhalb des Einzugsbereiches der Mühlauer Quellen. Infolge ihrer mehrfach und teils mit beträchtlicher Mächtigkeit auftretenden Schieferthonhorizonte, teils auch durch ihre Rauhwacken-führung (vgl. mit den Reichenhaller Schichten) besitzen die teils deutlich Gips führenden Nord-alpinen Raibler Schichten hervorragende wasserstauende Wirkung im Gebirgsbau. Zahlreiche Almböden, verbunden mit mehr oder weniger großen Quellen, markieren im Hinterautal (Hinterödalm, Kasten-Hochleger, Lafatscher Hoch- und Niederleger, Kohler Alm, Haller Anger-alm), im Gleirsch- und Mandltal bzw. Grubach (z. B. Erlalm, Angerhütte), sowie am Südabhang der Innsbrucker Nordkette (z. B. Garzahnmahd, Eggerhütte) die fruchtbaren Gesteine der Nord-alpinen Raibler Schichten. Die Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten trennen aufgrund ihrer hervorragenden wasserstauenden Eigenschaften innerhalb der Inntaldecke das tiefere hydrogeologische Stockwerk des Alpinen Muschelkalks und des Wettersteinkalks vom höheren hydrogeologischen Stockwerk des Hauptdolomits. Die Nordalpinen Raibler Schichten der Thaurer Schuppe wirken wie eine hydrogeologische Sperre für die Wässer der darüberliegenden Inntaldecke. Generell sind die schieferthonreichen Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten bei Bergwasserandrang wasserempfindlich.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß fazielle Studien an den Gesteinen der Nordalpinen Raibler Schichten, wie sie zuletzt u. a. von SPÖTL (1989) angestellt wurden, nicht geeignet sind, Rück-schlüsse auf ihre tektonische Zugehörigkeit zu ziehen, und zwar deshalb, weil die tektonischen Einheiten nicht an eine mitteltriadische Fazies gebunden sind (s. a. GSTREIN & HEISSEL, 1989). Die Ablagerungsräume zur Zeit der Mitteltrias sind wesentlich komplexer gegliedert als es die derzeit üblichen Faziesschemata zeigen (s. a. Kapitel 3.2 der vorliegenden Arbeit). Tektoni-sche Verhältnisse allein mittels fazieller Untersuchungen lösen zu wollen, kann in den Nordtiro-ler Kalkalpen überwiegend nicht zum Ziel führen. Wohl aber können mit der Lösung tektoni-scher Probleme auch fazielle Fragestellungen einer Beantwortung besser nähergebracht werden. Auf die Gefahr der falschen Ausdeutung der paläogeographischen Verhältnisse zur Zeit der Ab-lagerung der Nordalpinen Raibler Schichten haben im übrigen GSTREIN & HEISSEL bereits (1981/82) ausführlich hingewiesen.

**3.3.7 Hauptdolomit:** Alle Gesteine des Hauptdolomits, die die Sedimente der Nordalpinen Raibler Schichten gegen oben hin ablösen, liegen sowohl nördlich, als auch südlich des Kammes der Innsbrucker Nordkette außerhalb des Einzugsgebietes der Mühlauer Quellen; dies einerseits

aufgrund der besonderen strukturgeologischen Verhältnisse (Deckengrenze, Mulden- und Sattelstrukturen), andererseits aufgrund der abdichtenden Wirkung der Nordalpinen Raibler Schichten. Bei den Gesteinen des Hauptdolomits handelt es sich um meist plattig-bankige, häufig auch massig wirkende Dolomite von meist dunkelgrauer, in der Anwitterung manchmal hellbrauner bis hellgrauer Färbung. Teilweise zeigt der Hauptdolomit ausgeprägte Laminierung, das Auftreten sedimentärer Breccien ist für mehrere Niveaus im Hauptdolomit charakteristisch. Bräunliche bis schwärzliche dünne Schieferungen können den Dolomitlagen zwischengeschaltet sein. Sie besitzen jedoch nur örtlich ausreichende wasserstauende Wirkung; allerdings müssen die z. T. mächtigen Ölschiefer im Bereich um die Reither- und Seefelder Spitze als gute Wasserstauer bezeichnet werden. Generell sind jedoch die Hauptdolomitgesteine nicht nur im Karwendel, sondern über weite Gebiete der Nordtiroler Kalkalpen aufgrund des meist besonders gut ausgebildeten sedimentären und tektonischen Flächengefüges (— der Hauptdolomit ist mehr als alle anderen kalkalpinen Gesteine von Klüften und Störungen durchzogen —) ein exzellentes Bergwasser-Speichergestein und durch besonders hohe Verweilzeiten der Wässer im Gebirge ausgezeichnet. Vor allem in Vererzungszonen am Südabhang der Innsbrucker Nordkette zeigt der Hauptdolomit meist deutliche zuckerkörnige Sammelkristallisation (GSTREIN & HEISSEL, 1989). Der Hauptdolomit dürfte, wie Kartierungsarbeiten durch HEISSEL im Jahre 1986 im Bereich der Berge östlich von Reith, Seefeld und Gießenbach aufzeigten, eine Gesamtmächtigkeit von etwa 3000 Metern erreichen. Damit scheint er im Bereich von Seefeld nicht nur das mächtigste kalkalpine Gestein Tirols zu sein, sondern er kann auch mindestens 1000 Meter mächtiger werden, als man bisher vermutete. Auch dieser Aspekt kann von erheblicher wasserwirtschaftlicher, aber auch eventuell von baugeologischer Bedeutung sein (z. B. Bau von Eisenbahntunnel).

**3.3.8 Höttinger Breccie:** Über Lithologie und Genese der Höttinger Breccie gibt es durch HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989) interessante Neuerkenntnisse: Auch wenn trotzdem noch nicht ihr genaues Alter und ihre Entstehungsgeschichte restlos geklärt sind, kann man demnach davon ausgehen, daß es sich bei der Höttinger Breccie um einen »älteren« Hangschuttmantel der Nordkette handelt. Vermutlich war ein Großteil der Nordkette davon bedeckt. Ausgedehnte Breccienareale wurden jedoch später wieder durch die Erosionskräfte abgetragen, sodaß die Breccie heute nur teilweise ihren Untergrund verdeckt.

Fast ausschließlich bildet der Triasfels den Untergrund der Breccie. Dies gilt zur Gänze oberhalb des Hungerburgplateaus. Lockersedimente (Ablagerungen von Moränen, Seetone) kommen nur lokal und stets bei lediglich geringer Ausdehnung unter der Breccie vor. Die Breccie lagert insgesamt einem stark reliefierten Untergrund auf und beginnt mit einem sogenannten *in situ* Verwitterungsschutt, über dem die Anlieferung der vergleichsweise allochthonen Schuttmassen eingesetzt (s. a. HEISSEL 1987, GSTREIN & HEISSEL 1989). Durch zirkulierende Wässer wurde im Laufe der Jahrtausende der Hangschutt größtenteils verfestigt und wurde so zum Festgestein Breccie. Die Höttinger Breccie ist polymikt. Gemäß ihrem Einzugsgebiet besteht die Breccie fast ausschließlich aus kalkalpinen Gesteinsbruchstücken, aber auch ortsfremde Gerölle aus den Kristallingebieten Tirols, die sogenannten Erratika, lassen sich immer wieder finden. Die Größe der Gesteinskomponenten übersteigt meist nicht 30 cm Durchmesser. Vielfach han-

delt es sich um faustgroße und kleinere Gesteinsbruchstücke. Aufgrund des geringen Transportweges sind sie deutlich eckig und scharfkantig, höchstens leicht angerundet.

Die Breccie zeigt eine teilweise auch von weitem gut sichtbare Bankung, die vom Zentimeterbereich bis in den Meterbereich führen kann. In den Bereichen tieferer Hangabschnitte (z. B. Hungerburgterrasse) ist die Schichtung der Breccie ungefähr eben, in den höher gelegenen Teilen fällt sie etwa hangparallel ein, also etwa mit 20° bis 40°.

Während die bisher geschilderten Partien der Breccie als mehr oder weniger murenartig entstandener Schuttmantel gedeutet werden können, kommen z. B. im Mayr'schen Steinbruch an der Höhenstraße grünlich-gelbe sandig-schluffige Lockersedimente in der Stärke von wenigen Zentimetern Dicke vor, die wohl als äolische Produkte anzusehen sind, d. h. ähnlich wie Löß eingeweht wurden.

Die Höttinger Breccie stellt nun keineswegs ein durch und durch dichtes, kompaktes und zur Gänze lithifiziertes Gestein dar. So können äolische Sedimenteinlagerungen bereits wieder herausgewittert sein. Es können sich auch Hohlräume durch das Herauswittern der erratischen Komponenten bilden, die nicht zuletzt aufgrund ihres langen Gletschertransports zu sogenannten »Geschiebeleichen« geworden sind. Vor allem in den höheren Hangbereichen kann die Breccie lagenweise auch geringer verfestigt sein und so in Lagen stärker verwittern. Dies führt — wie beispielsweise unterhalb der Höttinger Alm, bei der Gufelhütte oder nördlich der Fischler Hütte im Bereich des westlichen Oberendes der Schusterreise — zur Bildung deutlicher Aushöhlungen, den sogenannten Gufeln.

Die Höttinger Breccie ist aufgrund ihrer zahlreichen aufgeweiteten Klüfte ein sehr guter Wasserleiter. Nachdem ihre Unterkante meist an abdichtende Gesteine grenzt (zumeist handelt es sich um die Oberkante der Triasgesteine, in seltenen Fällen auch um Grundmoränen oder Seetone), treten in solchen Niveaus häufig Quellen auf (z. B. Brandlschrofenquelle, Weiherburgquelle, Gamsstollenquelle). Der Höttinger Breccie ähnliche und in Alter und Entstehung wohl vergleichbare Breccievorkommen treten im Karwendel recht zahlreich auf, allerdings im Unterschied zur Höttinger Breccie außerhalb des Einzugsgebietes der Mühlauer Quellen und stets von kleinerer flächenmäßiger Verbreitung. So finden sich derartige Breccievorkommen z. B. mehrfach im Halltal, im Gebiet des Hochnibl-Südhanges, am Südabhang der Südlichen Sonnenspitze im Roßloch (gelbe Gufeln), knapp westlich des Hochalmsattels sowie westlich der Engalm.

**3.3.9 Lockersedimente:** Sie sind im Karwendel nur örtlich die Ursache für den Austritt von Quellen. Im Fall der Mühlauer Quellen besitzen sie keine hydrogeologische Bedeutung.

**4. Detaillierte Beschreibung der geologischen Verhältnisse im Gebiet der Mühlauer Quellen (s. a. Abb. 10, 12, 13, 14)**

**4.1 Die Ergebnisse der Oberflächenkartierung im Bereich der Stollenbauwerke (s. a. Abb. 10)**

Die Stollenbauwerke der Wasserfassung der Mühlauer Quellen zwischen der Herzwiese im Westen und der Mittleren Reise und Arzler Reise im Osten liegen in einem geologisch sehr kompliziert gebauten Gebiet der Inntaldecke.

Während westlich der Schusterreise Felsaufschlüsse weitgehenden Einblick in die geologischen

Verhältnisse erlauben, wird das Grundgebirge zwischen Schusterreise und Arzler Reise zur Gänze von der quartären Höttinger Breccie, sowie von Moränen- und Hangschuttmaterial verdeckt. Das Grundgebirge im zur Diskussion stehenden Bereich wird obertätig aus Gesteinen des Alpinen Buntsandsteins, der Reichenhaller Schichten, des Alpinen Muschelkalks und des Wettersteinkalks aufgebaut.

Die geologische Kartierung (s. a. Abb. 10) zeigt einen kleinen Aufschluß von Buntsandsteingesteinen westlich der Stollen in etwa 1210 m ü. A. Nördlich davon folgen Reichenhaller Schichten in geringer Mächtigkeit, sowie mit deutlicher oberflächlicher Ausdehnung Gesteine des Unteren Alpinen Muschelkalks, die meist nach Süden einfallen und in die am Ostabfall der Herzwiese Gesteine der Reichenhaller Schichten eingefaltet sind.

Die intensive Verfaltung von überwiegend südfallenden Gesteinen des Unteren Alpinen Muschelkalks mit ebenso einfallenden Gesteinen der Reichenhaller Schichten wird im Gebiet der Fischlerhütte auf der Herzwiese besonders deutlich, was auch am Kartenbild durch die »Zebrastreifen«-ähnliche Anordnung der Gesteinszüge, d. h. durch den mehrmaligen Gesteinswechsel und das Auskeilen der Muschelkalkmulden nach Osten in die Luft zum Ausdruck kommt (s. a. Abb. 1).

Zwischen etwa 1600 und 1800 m ü. A. erfolgt nach kurzer Überlagerung durch Höttinger Breccie der Übergang von den Muschelkalkgesteinen in den Wettersteinkalk.

Obertätig stehen im direkten Nahbereich um die Mühlauer Quellen keine Gesteine der Thaurer Schuppe an. Diese sind, obwohl in den Quellfassungsstollen teilweise aufgefahren, an der Oberfläche von den Gesteinen der Höttinger Breccie und den Triasablagerungen der Inntaldecke (Alpiner Buntsandstein, Reichenhaller Schichten, Alpiner Muschelkalk) verdeckt. Allerdings finden sich, wie Abb. 1 zeigt, unmittelbar östlich und westlich des Mühlauer Grabens, sowie nur wenig unterhalb der Quellfassungsstollen auch bereits im Mühlauer Graben Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten und des Hauptdolomits, die der Thaurer Schuppe zuzuordnen sind.

## 4.2 Die geologischen Verhältnisse der Stollenbauwerke (s. a. Abb. 11)

### 4.2.1 Allgemeines

Eine Einsichtnahme in die geologischen Verhältnisse der Stollenbauwerke der Mühlauer Quellen ist heute nur noch beschränkt möglich, nachdem die Stollen größtenteils mit Beton ausgekleidet sind.

Für die geologischen Erhebungen, die im Jahr 1986 vom Verfasser durchgeführt wurden, erfolgte eine geologische Neuaufnahme aller unverkleideten Stollenabschnitte. Zusätzlich wurden alle zur Verfügung stehenden geologischen Unterlagen aus der Zeit des Stollenbaues gesichtet und mit den Neuerkenntnissen der Obertagekartierung und der detaillierten geologischen Neuaufnahme der unverkleideten Stollenabschnitte verglichen und in Einklang gebracht.

Von den geologischen Unterlagen aus der Bauzeit der Stollen sind vor allem mehrere von SCHMIDEGG von Bedeutung. Diese Unterlagen befinden sich im Archiv des Wasserwerks der Stadtwerke Innsbruck. Weiters beinhalten die Beiträge von MÜHLHOFER (1953) und MAASS (1953) wichtige geologische Details.

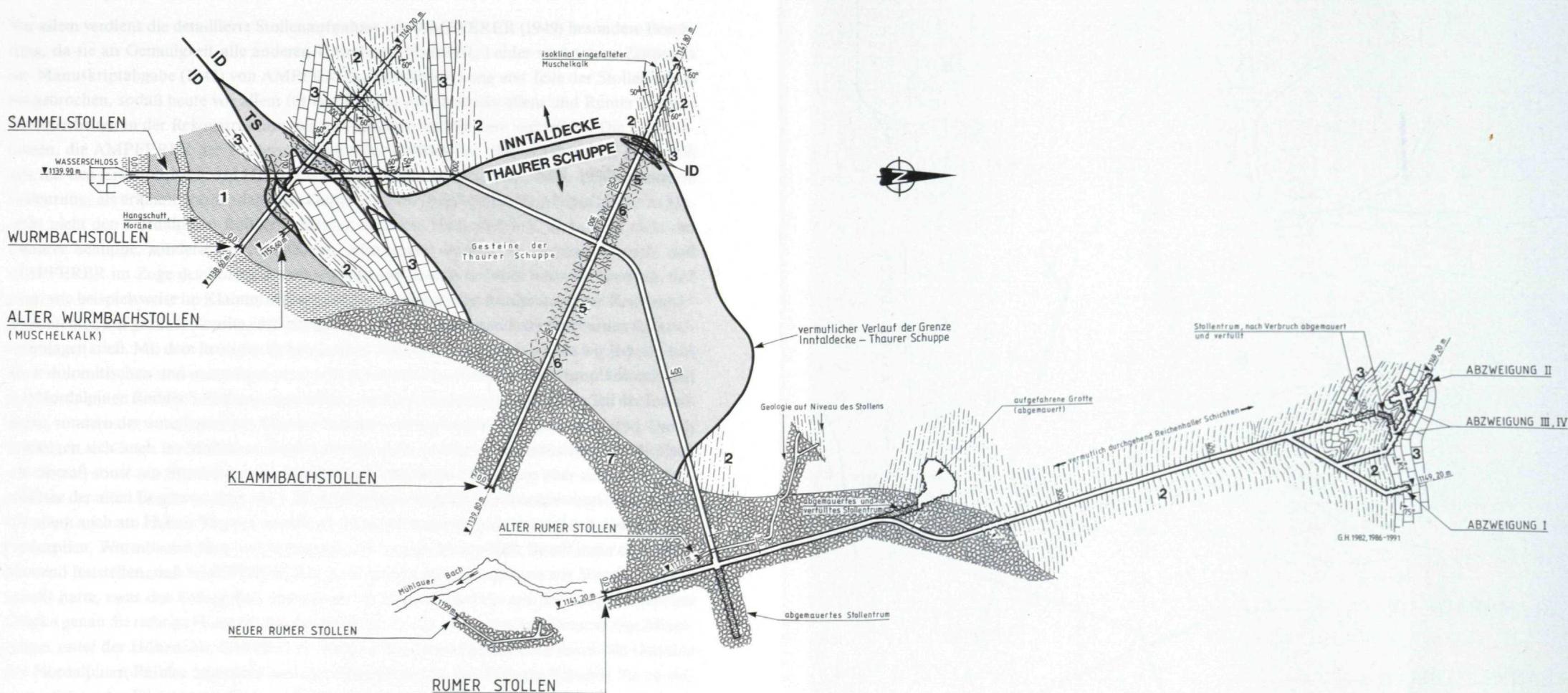


Abb. 11: Geologischer Horizontalschnitt im Niveau der Stollensohle

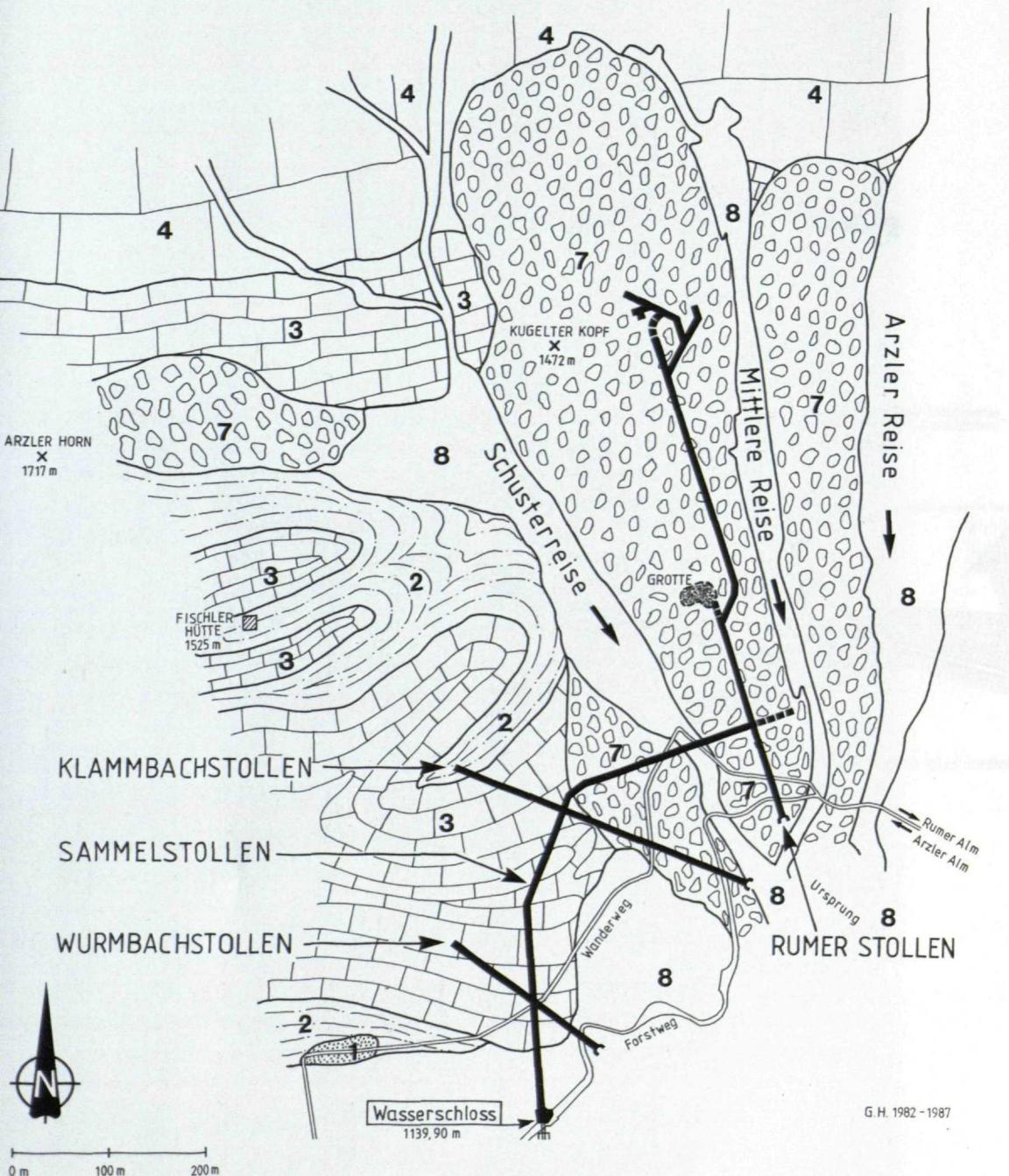


Abb. 10: Geologische Karte der Oberflächenkartierung der Inntaldecke im Nahbereich der Mühlauer Quellen

Vor allem verdient die detaillierte Stollenaufnahme von AMPFERER (1949) besondere Beachtung, da sie an Genauigkeit alle anderen Unterlagen übertrifft. Leider waren zum Zeitpunkt der Manuskriptabgabe (1943) von AMPFERERs Veröffentlichung erst Teile der Stollenanlage ausgebrochen, sodaß heute vor allem für den Bereich des Sammelstollens und Rumer Stollens Unsicherheiten in der Rekonstruktion der geologischen Verhältnisse verbleiben. Die Informationen, die AMPFERER der Nachwelt durch seine Publikation 1949 erhalten hat, gewannen erst mit den Erkenntnissen von HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL, 1989, 1990) besondere Bedeutung, als erkannt wurde, daß viele Gesteine an der Innsbrucker Nordkette bisher zu Unrecht nicht den Nordalpinen Raibler Schichten und dem Hauptdolomit, und damit nicht der Thaurer Schuppe, sondern der Inntaldecke, zugerechnet wurden. So geschah es auch, daß AMPFERER im Zuge des Vortriebes seine Prognosen insoferne nicht bestätigt fand, als daß man, wie beispielsweise im Klammtollen an Stelle der erwarteten Rauhwacken der Reichenhalter Schichten auf graue Dolomite und teils glimmerreiche Mergel und Schieferfone mit Kalkzwischenlagen stieß. Mit dem heutigen Kenntnisstand über den Gebirgsbau wissen wir jedoch, daß diese dolomitischen und mergeligen bzw. schieferfotonreichen Gesteine dem Hauptdolomit und den Nordalpinen Raibler Schichten zugerechnet werden müssen, und damit nicht Teil der Inntaldecke, sondern der unterlagernden Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone sind. Damit bestätigen sich auch im Mühlauer Graben die gleichen geologisch-tektonischen Verhältnisse, wie überall sonst am Südabhang der Innsbrucker Nordkette. Vor allem aber zeigen die Aufschlüsse der alten Bergbaustollen wie z. B. im Höttinger Graben, im Rauschbrunnengebiet und vor allem auch am Hohen Weg bei Innsbruck (Maximianstollen) ein speziell mit dem Klammbachstollen, Wurmbachstollen und Sammelstollen vergleichbares Bild. Somit kann man rückblickend feststellen, daß AMPFERER, der ja die geologischen Prognosen vor Vortriebsbeginn erstellt hatte, zwar den Gebirgsbau nicht exakt erkannt hat, jedoch mit der nötigen »Portion Glück« genau die richtige Höhe für den Anschlag der Stollen festgelegt hat. Denn wenige Meterzehner unter der Höhenkote 1140.00 ü. A. wäre die Stollenvortriebsstrecke durch die Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten und des Hauptdolomits der Thaurer Schuppe bis zu den wasserführenden Karbonaten der Inntaldecke wesentlich länger geworden. Dies hätte auch für den Fall gegolten, daß die Stollen wenige Meterzehner über der Kote 1140.00 ü. A. angeschlagen worden wären, nachdem dann der Weg bis zum Erreichen des Bergwasserspiegels der Inntaldecke deutlich länger geworden wäre!

Mit Hilfe der drei Faktoren (geologische Oberflächenkartierung, geologische Neuaufnahme der unverkleideten Stollenabschnitte und Auswertung und Interpretation vorhandener geologischer Unterlagen) läßt sich heute jedenfalls ein geologisches Gesamtbild für den Bereich der Stollenbauwerke gut herausarbeiten. Die größte Überraschung dabei ist: Zumindest der Wurmbach-, Klammbach- und der Sammelstollen haben Gesteine der Thaurer Schuppe durchrörtert, bevor sie die wasserführenden Zonen der Inntaldecke erreicht haben!

So zeigt sich heute ein abgerundetes Bild geologischer Verhältnisse, das in vielen Punkten im Einklang mit den Ansichten der vor und während der Vortriebsarbeiten beschäftigten Aufnahmsgeologen AMPFERER und SCHMIDEGG steht, das jedoch aufgrund neuer detaillierter Erkenntnisse eine deutliche Verfeinerung, teils auch drastische Verbesserung erfahren konnte. Für das allgemeine Verständnis ist es noch wichtig anzufügen, daß als erstes der Klammbachstoll-

len, dann der Sammelstollen bis Station 100.50, nachfolgend der Wurmbachstollen vorgetrieben wurde. Daraufhin wurde der Sammelstollen fertiggestellt und zuletzt der Rumer Stollen ausgebrochen.

#### 4.2.2 Die geologischen Verhältnisse des Wurmbachstollens (s. a. Abb. 11, 13)

##### 4.2.2.1 Allgemeine geologische Beschreibung

Der Vortrieb des Wurmbachstollens wurde begonnen, als der Klammbachstollen bereits fertig, und der Sammelstollen bis Station 100.50 (= Stollenstation bei Meter 100.50) ausgebrochen war.

Der Wurmbachstollen wurde etwa 15 Höhenmeter unterhalb des Alten Wurmbachstollens, der nur Gesteine des Alpinen Muschelkalks durchörtert hatte, angeschlagen.

Der Vortrieb begann in roten bis weißen, flach bergein fallenden Gesteinen des Alpinen Buntsandsteins. Die rötlichen und weißen Farben verschwanden alsbald und machten einem grauen lehmreichen und glimmerführenden Sandstein Platz. Damit wurde auch das Bergeinfallen der Schichten flacher, stellte sich jedoch mit Annäherung an Station 20.00 wieder steil. Mit Station 23.00 wurden gelbe Rauhwacken in der Firste angetroffen, die die Stollensohle bei Station 26.00 erreichten. Es kann heute rückblickend ausgedeutet werden, daß es sich dabei um Gesteine der Reichenhaller Schichten gehandelt hat, die gemeinsam mit den Sedimenten des Alpinen Buntsandsteins zur Inntaldecke zu rechnen sind. Um Station 30.00 ist den Aufzeichnungen AMPFERERs zu entnehmen, daß Dolomitbreccien, wie schon zuvor im Klammbachstollen und im Sammelstollen, durchfahren wurden. Es ist also anzunehmen, daß auf wenige Meter Streckenlänge Hauptdolomitgesteine der Thaurer Schuppe angetroffen wurden, ehe zuerst Rauhwacken der Reichenhaller Schichten und bei Station 46.00 an einer steilen Störung dickbankige Gesteine des Alpinen Muschelkalks die ergiebig wasserführenden Kalke der Inntaldecke signalisierten.

Mit Station 56.00 konnte der Bergwasserandrang bereits mit ca. 200 l/s gemessen werden, wobei bereits ein Absinken des Bergwasserspiegels im Stollen während des Vortriebes zu beobachten war. Tatsächlich fiel ja auch der Alte Wurmbachstollen trocken. Jedenfalls ging die Absenkung des Bergwasserspiegels so weit, daß diese Bereiche heute im wesentlichen trocken sind.

Der Vortrieb dürfte, wofür die Aufschlüsse im Sammelstollen zwischen Station 136.47 und 167.47 sprechen, zwischen Station 66.00 und 70.00 neuerlich Sedimente der Reichenhaller Schichten durchörtert haben. Leider enden allerdings die genauen Vortriebsbeschreibungen AMPFERERs bei Station 66.00. Allerdings könnte der leichte Geruch von freigesetztem H<sub>2</sub>S, der heute immer wieder um Station 70.00 im Wurmbachstollen wahrnehmbar ist, ein nochmaliges Auftreten von Gesteinen der Nordalpinen Raibler Schichten andeuten (vgl. GSTREIN & HEISSEL 1990, »Lettenkuft« im Maximilianstollen; s. a. Abb. 19).

Bei Station 78.00 befand sich der Vortrieb des Wurmbachstollens erneut in Gesteinen des Alpinen Muschelkalks, die bis Station 118.00 anhielten. Die Muschelkalkgesteine sind — wie üblich — zwischen die davor und danach anstehenden Gesteine der Reichenhaller Schichten muldenförmig eingepreßt. Schon am Schichtstreichen sieht man, daß diese Faltung — vor allem bedingt durch die Materialinhomogenitäten — zum Teil mit mehr oder weniger deutlicher Diskordanz, teils aber auch konkordant erfolgte.

SÜD

NORD

2000

1500

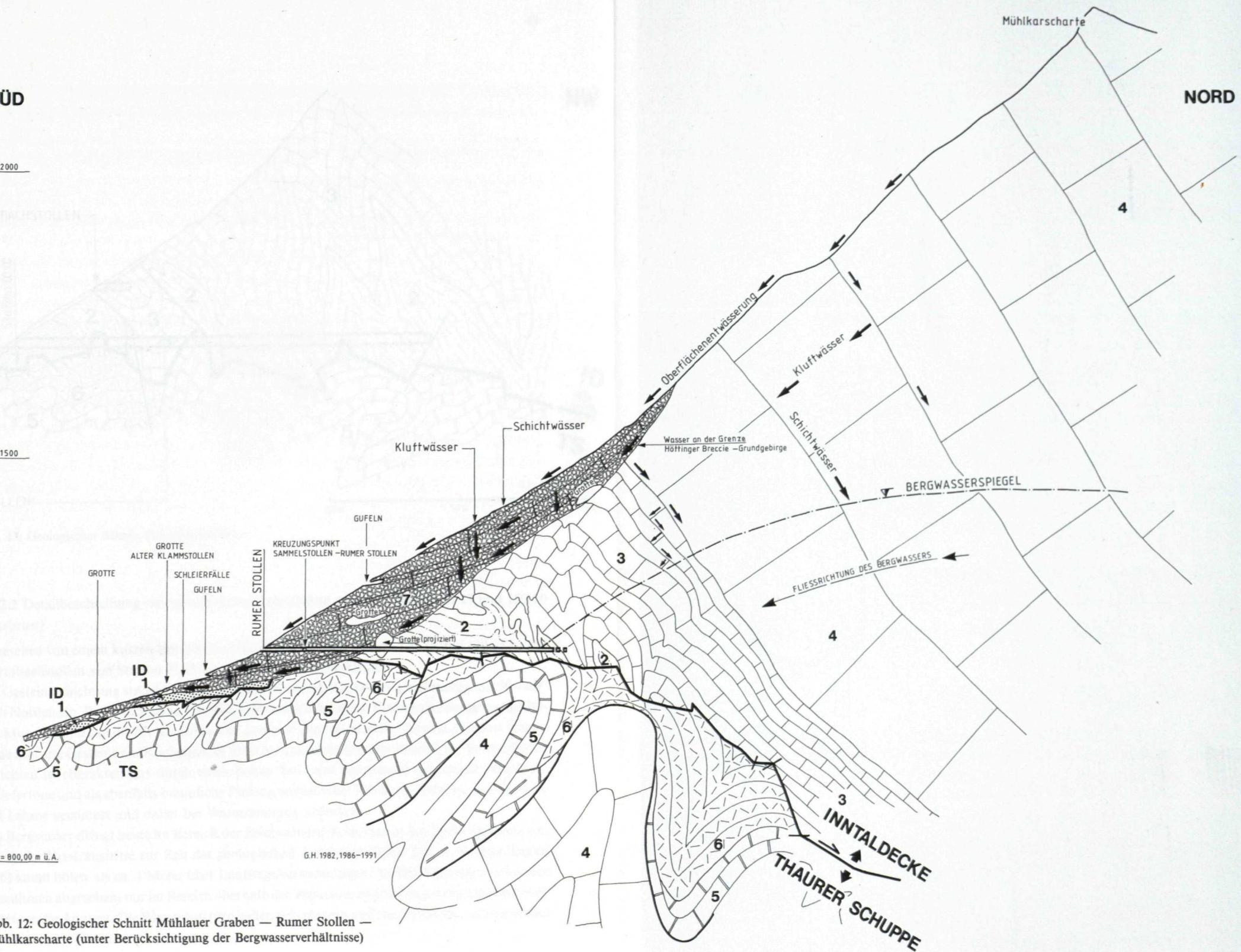


Abb. 12: Geologischer Schnitt Mühlauer Graben — Rumer Stollen — Mühlkarscharte (unter Berücksichtigung der Bergwasserverhältnisse)

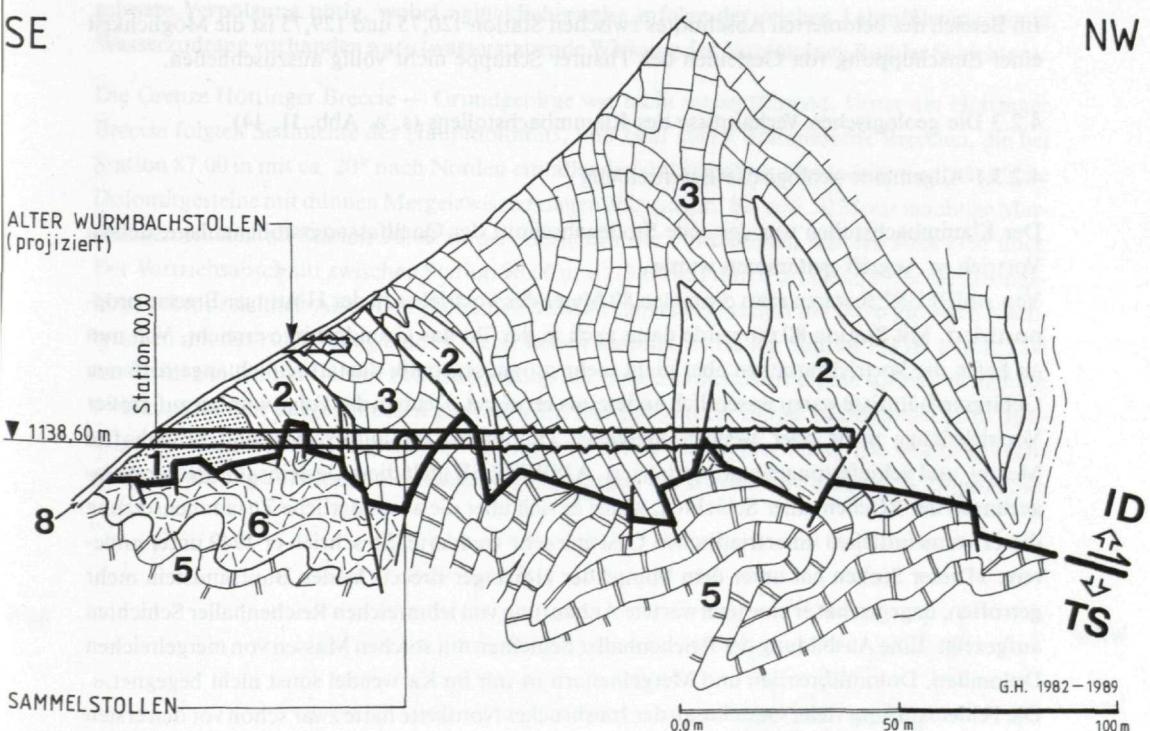


Abb. 13: Geologischer Schnitt Wurmbachstollen

#### 4.2.2.2 Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte zwischen Station 81.13 und 159.50 (Ortsbrust)

Abgesehen von einem kurzen betonierten Abschnitt zwischen Station 120.75 und 129.75 ist der Wurmbachstollen von Station 81.13 bis zur Ortsbrust unverkleidet.

Die Gesteinsschichtung streicht annähernd Ost-West und fällt relativ gleichmäßig mit 50—60° nach Norden ein. Bis etwa Station 120.00 handelt es sich dabei um Flaserkalke des unteren Alpinen Muschelkalks, an die bis zur Ortsbrust, getrennt durch eine steile Südwest-Nordost verlaufende Störung Gesteine der Reichenhaller Schichten anschließen. Der Bereich der Reichenhaller Schichten ist charakterisiert durch einen hohen Ton- und Lehmanteil (als dünne bräunliche Schiefertone und als ebenfalls bräunliche Füllung tektonischer Flächen). Teilweise sind die Tone und Lehme versinternt und daher bei Wasserandrang unlöslich.

Das Bergwasser dringt heute im Bereich der Reichenhaller Schichten in das Stollengebäude ein, wobei die Wasseraustritte zur Zeit der geologischen Aufnahme (Ende Juli — Anfang August 1986) kaum höher als ca. 1 Meter über Laufstegoberkante lagen. Es fällt auf, daß von kleinen Ausnahmen abgesehen, nur im Bereich oberhalb der Wasseraustritte lehmig-tonige Belege beobachtet werden können. Die Wasseraustritte halten sich zumeist an Schichtflächen, untergeordnet an tektonische Flächen.

WM Im Bereich des betonierten Abschnittes zwischen Station 120,75 und 129,75 ist die Möglichkeit einer Einschuppung von Gesteinen der Thaurer Schuppe nicht völlig auszuschließen.

#### 4.2.3 Die geologischen Verhältnisse des Klammbachstollens (s. a. Abb. 11, 14)

##### 4.2.3.1 Allgemeine geologische Beschreibung

Der Klammbachstollen war der erste Stollenabschnitt der Quellfassungsstollenanlage, dessen Vortrieb in Angriff genommen wurde.

Von AMPFERER waren etwa die ersten 80 Meter des Vortriebes in der Höttinger Breccie prognostiziert. Mit Station 80.00 wurde dann auch in der Tat das Grundgebirge erreicht. Von nun an liefen die Vortriebsarbeiten aber nicht mehr prognosegemäß, die tatsächlich angetroffenen Gebirgsverhältnisse waren wesentlich andere, als vermutet. Denn in der Folge wurden auf großer Vortriebslänge mehr oder weniger mergelige Dolomite, Dolomitbreccien und druckhaftes Mergel- und Schiefertonangebilde durchörtert. AMPFERER hielt diese Gesteinsabfolge für Ablagerungen der Reichenhaller Schichten, wobei er sich über die absonderliche Zusammensetzung dieser vermeintlichen untertriadischen Gesteine sehr wunderte. So schrieb er 1949 unter anderem: »Dieser Stollen hat unter dem Mantel der Höttinger Breccie keinen Buntsandstein mehr getroffen, dagegen hat er eine unerwartete Anhäufung von lehmreichen Reichenhaller Schichten aufgezeigt. Eine Ausbildung der Reichenhaller Schichten mit solchen Massen von mergelreichen Dolomiten, Dolomitbreccien und Mergelnestern ist mir im Karwendel sonst nicht begegnet.« Die Fehleinstufung vieler Gesteine an der Innsbrucker Nordkette hatte zwar schon vor den ersten Arbeiten AMPFERERS & HAMMERS (1899) am Karwendel-Südrand begonnen, sie wurden in der Folge leider von ihm selbst, wie am Beispiel der geologischen Vortriebsbetreuung für den Klammbachstollen vorstehend bereits aufgezeigt, immer wieder fortgesetzt und wurden auch in jüngerer Vergangenheit eher vermehrt, als reduziert (z. B. SARNTHEIN 1968, SPÖTL 1987, 1989).

Erst die jüngsten Kartierungsarbeiten durch HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL 1989, 1990) erbrachten mit der Neueinstufung aller dolomitischen Gesteine in das Niveau des Hauptdolomits bzw. aller schiefertonreichen und teilweise sandsteinführenden Abfolgen in das Niveau der Nordalpinen Raibler Schichten zwischen der Kranebitter Klamm (bzw. dem Martinsbühel) im Westen und dem Halltal im Osten den gewünschten Schlüssel zur lückenlosen und widerspruchsfreien Erarbeitung eines geologischen und strukturgeologischen Gebirgsmodells, das sich nicht nur obertägig, sondern auch in den zahlreichen Untertageaufschlüssen der alten Bergbaustollen und — wie sich nunmehr herausstellt — auch der Quellfassungsstollen der Mühlauer Quellen bestätigt.

Wenden wir uns mit unseren Beschreibungen wiederum dem Vortrieb des Klammbachstollens zu. Nachdem also bei Station 80.00 die Höttinger Breccie durchörtert war, mußte (wider Erwarten) eine Schichtenfolge gewältigt werden, die man mit heutigem Wissensstand den Nordalpinen Raibler Schichten und dem Hauptdolomit der Thaurer Schuppe zuordnen muß. AMPFERER beschreibt diesen Vortriebsabschnitt als zunehmend schwierig, da es sich um sehr rasch wechselndes, lehmreiches und druckhaftes Gebirge gehandelt hat. In manchen Abschnitten, vor allem in jenen mit den »großen Mergelmassen und Anhäufungen von lehmreichen Breccien« war

schwere Verpölung nötig, wobei »glücklicherweise infolge der reichen Lehmführung wenig Wasserzudrang vorhanden war« (wasserstauende Wirkung der Nordalpinen Raibler Schichten).

Die Grenze Höttinger Breccie — Grundgebirge war nicht wasserführend. Unter der Höttinger Breccie folgten Sedimente des Hauptdolomits, und zwar zuerst dolomitische Breccien, die bei Station 87.00 in mit ca. 20° nach Norden einfallende feinkristalline, dünnenschichtige bräunliche Dolomitgesteine mit dünnen Mergelzwischenlagen übergingen. Bis zu 0.50 Meter mächtige Mergellagen leiteten ab Station 96.00 zu den Gesteinen der Nordalpinen Raibler Schichten über. Der Vortriebsabschnitt zwischen Station 96.00 und 113.00 war durch druckhaftes Schiefertongebirge gekennzeichnet. An steilen »Schaufelflächen« kam es bei Station 106.00 zu größeren Nachbrüchen mit der Ausbildung eines 4 Meter hohen Kamins. Zwischen Station 113.00 und 127.00 dürfte im Stollen bei flacher Schichtlagerung der Grenzbereich Nordalpine Raibler Schichten — Hauptdolomit aufgeschlossen gewesen sein. Die gelbgrauen Mergel beinhalteten auch dunkelgrüne Mergelstücke (vergleichbar mit jenen nördlich der Walder Alm), die deutliche Hellglimmerführung aufwiesen. Bei Station 125.00 trat aus der Breccie im Firstbereich Tropfwasser

ESE

WNW

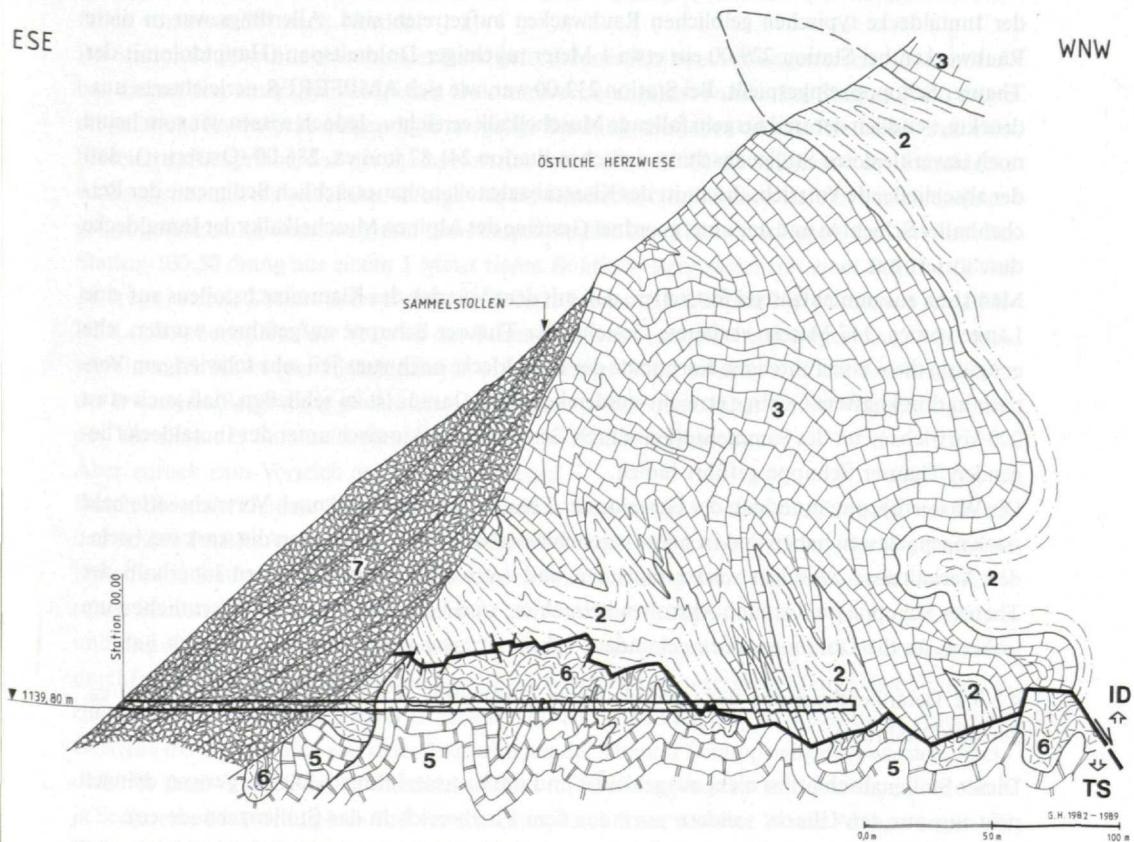


Abb. 14: Geologischer Schnitt Klammbachstollen

aus. Der Vortrieb zwischen Station 127.00 und 135.00 erfolgte in kalkigen brecciösen Sedimenten der Nordalpinen Raibler Schichten. Bei Station 133.00 kam es zum Ausbruch eines 6 Meter hohen Kamins. Insgesamt war die Strecke zwischen Station 135.00 und 143.00 durch druckhaftes Gebirge der Nordalpinen Raibler Schichten gekennzeichnet. Von Station 143.00 bis Station 158.00 wurden Hauptdolomitgesteine durchörtert, die zuerst flache, später zunehmend steiler werdende, ja sogar senkrechte Schichtlagerung aufwiesen. Zwischen Station 158.00 und 185.00 wechselten Hauptdolomitbreccien mit schiefertonreichen Sedimenten der Nordalpinen Raibler Schichten. Zwischen Station 185.00 und 188.00 standen löchrige Kalke der Nordalpinen Raibler Schichten an, die leicht wasserführend waren. Zwischen Station 188.00 und 208.00 wurde der Stollen wiederum in zuerst brecciösen, dann geschichteten Sedimenten des Hauptdolomits aufgefahren. Bei Station 198.00 traten dabei Bergwässer mit ca. 1,5 l/s aus. Zwischen Station 199.00 und 208.00 zeigte der fast mergelfreie Dolomit steiles Südfallen. Zwischen Station 208.00 und 214.00 standen mergelige und kalkige Sedimente der Nordalpinen Raibler Schichten an, die danach bis Station 217.00 von nordfallenden Ablagerungen des Hauptdolomits abgelöst wurden. Daraufhin folgten bis Station 224.00 mergelige Breccien des Hauptdolomits. Den Beschreibungen AMPFERERs ist nun zu entnehmen, daß zwischen Station 224.00 und 232.00 kurz die Gesteine der Thaurer Schuppe verlassen wurden und erstmals die für die Reichenhaller Schichten der Inntaldecke typischen gelblichen Rauhwacken aufgetreten sind. Allerdings war in diese Rauhwacken bei Station 229.00 ein etwa 1 Meter mächtiger Dolomitspan (Hauptdolomit der Thaurer Schuppe) eingespißt. Bei Station 232.00 war, wie sich AMPFERER »erleichtert« ausdrückte, »endlich der steil bergein fallende Muschelkalk erreicht«. Jedoch wissen wir vom heute noch unverkleideten Stollenabschnitt zwischen Station 241.87 und ca. 286.00 (Ortsbrust), daß der abschließende Vortriebsabschnitt des Klammbachstollens hauptsächlich Sedimente der Reichenhaller Schichten und nur untergeordnet Gesteine des Alpinen Muschelkalks der Inntaldecke durchörtert hat.

Man kann zusammenfassend feststellen, daß mit dem Vortrieb des Klammbachstollens auf eine Länge von ca. 147 Metern verfaltete Gesteine der Thaurer Schuppe aufgefahren wurden, ehe endgültig die wasserführenden Karbonate der Inntaldecke nach zum Teil sehr schwierigem Vortrieb in druckhaftem Gebirge erreicht werden konnten. Daraus ist zu schließen, daß auch etwa 200 Vortriebsmeter des Sammelstollens durch Gesteine der tektonisch unter der Inntaldecke liegenden Thaurer Schuppe geführt haben.

Die Wasserführung innerhalb der Gesteine der Thaurer Schuppe muß nach Vortriebsende bald stark nachgelassen haben und ist heute vernachlässigbar gering. Wenn man die stark wechselnden Verhältnisse zwischen wasserstauenden und wasserführenden Gesteinen innerhalb der Thaurer Schuppe im Klammbachstollen betrachtet, wird klar, daß es sich im wesentlichen um isolierte, an die Dolomitmulden gebundene lokale Bergwasservorkommen gehandelt hat.

#### 4.2.3.2 Detailbeschreibung des unverkleideten Abschnittes zwischen Station 241.87 und ca. 286.00 (Ortsbrust)

Dieser Stollenabschnitt ist nicht ausgekleidet und stark wasserführend. Die Bergwässer dringen nicht nur aus den Ulmen, sondern auch aus dem Firstbereich in das Stollengebäude ein. Abgesehen von zwei nur gering mächtigen eingefalteten Vorkommen von Flaserkalken des un-

teren Alpinen Muschelkalks wird dieser Stollenabschnitt ausschließlich von Gesteinen der Reichenhaller Schichten gebildet. Die Schichtung streicht annähernd Ost-West und fällt meist mit 50—60° nach Norden ein.

Ein Bündel von (allerdings nur gering versetzenden) Störungen ist auskartierbar. Diese Störungen weisen eine Südwest-Nordost-Streichrichtung auf. Auch ein zweites, untergeordnet auftretendes Störungsbündel mit Südwest-Nordost-Streichen ist erkennbar.

Dieser Stollenabschnitt ist nahezu frei von tonig-lehmigen Belegen innerhalb der Sedimente der Reichenhaller Schichten.

#### 4.2.4 Die geologischen Verhältnisse des Sammelstollens (s. a. Abb 11, 15)

##### 4.2.4.1 Allgemeine geologische Beschreibung

Nach etwa 13 Vortriebsmetern durch die Grundmoräne erreichte der Stollen das Grundgebirge, das sich aus hell- bis tiefroten, teils auch grünen Schiefertonen und Quarzsandsteinen zusammensetzte. Ebenso konnten graue und weiße Einlagerungen festgestellt werden. Auch schwarz-weiß gestreifte Wechsellegerungen werden beschrieben (Gipsführung?). Bei Station 31.00 erreichte der Stollen erneut mit seinem gesamten Querschnitt die Grundmoräne, die erst bei Station 52.00 wiederum von Buntsandsteingesteinen abgelöst wurde. Diese zeigten ein Einfallen von etwa 50° nach Norden.

Bei Station 85.00 wurde ein schmales Band gelbfarbener Rauhwacken angetroffen, das unmittelbar darauf von einer grauweißen Dolomitbreccie abgelöst wurde. Bei Station 96.00 zeigte die gelbliche Rauhwacke ausgeprägte mergelige Bindung, die neben dem Auftreten der Dolomitbreccien dafür spricht, daß der Stollenvortrieb mit Station 85.00 die Sedimente der Inntaldecke verlassen hat und die verfaltete Abfolge von Gesteinen der Nordalpinen Raibler Schichten (mergelige gelbliche Rauhwacken) und des Hauptdolomits der Thaurer Schuppe erreicht hat. Bei Station 100.50 drang aus einem 1 Meter tiefen Bohrloch Bergwasser mit einer Schüttung von 1 l/s, ein zweites, 2 Meter tiefes Bohrloch förderte bereits 10 l/s. Daraufhin wurde, wie AMPFERER (1949) berichtete, der Vortrieb des Sammelstollens vorübergehend eingestellt, da die wasserführenden Kalke (der Inntaldecke) in unmittelbarer Nähe erwartet wurden. Um die Abfuhr der erwarteten Bergwässer gewährleisten zu können, wollte man daher vor der Wiederaufnahme des Vortriebs des Sammelstollens den Wurmbachstollen ausbrechen.

Aber zurück zum Vortrieb des Sammelstollens:

Durch die unverkleidete Stollenstrecke zwischen Station 136.47 und 167.47 wissen wir heute, daß AMPFERERS Vermutung, daß die wasserführenden Gesteine der Inntaldecke nur unweit jenseits von Station 100.50 angetroffen werden sollten, richtig war. Jedenfalls wurden etwa zwischen Station 142.00 und 165.00 die auch im Wurmbachstollen durchhörterten eingemuldeten und eingefalteten, von Gesteinen der Reichenhaller Schichten umrahmten Muschelkalkgesteine durchfahren. Bei Station 200.00 treten heute noch Bergwässer in geringer Menge über Drainagierungen in den Stollen ein. Dieser Umstand läßt den Schluß zu, daß an dieser Stelle erneut die Gesteine der Inntaldecke von den Ablagerungen der Thaurer Schuppe abgelöst wurden, nachdem mit dem Vortrieb des Klammbachstollens im Kreuzungsbereich mit dem Sammelstollens ja Sedimente der Nordalpinen Raibler Schichten durchhörtert wurden. Wo die Ablagerungen der Thaurer Schuppe im Vortrieb des Sammelstollens wieder verlassen wurden, ist nicht eruierbar.

Anzunehmen ist jedoch, daß noch vor Erreichen der Höttinger Breccie etwa bei Station 470.00 die Reichenhaller Schichten der Inntaldecke wieder erreicht wurden. Dies nicht zuletzt deshalb, weil im Rumer Stollen zwischen Station 248.40 und 265.20 die Grenze Höttinger Breccie — Reichenhaller Schichten aufgeschlossen ist.

Mit Station 470.00 wurde jedenfalls die durch einen wenige Meter mächtigen in situ-Verwitterungsschutt gekennzeichnete Felsoberkante erreicht und der Sammelstollen durchörterte bei anfangs starker Bergwasserführung die später mehr und mehr dichte und trockene Höttinger Breccie bis zum Stollenende bei Station 564.37.

Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte zwischen Station 136.47 und 167.47 (s. a. Abb. 15)

Abgesehen von einem kurzen betonierten Zwischenstück (Station 148.17 bis 157.87) ist dieser Stollenabschnitt unverkleidet.

Die angetroffenen Verhältnisse zeigen gute Übereinstimmung mit jenen im Wurmbachstollen. Überwiegend sind Flaserkalke des unteren Alpinen Muschelkalks aufgeschlossen, die randlich von Ablagerungen der Reichenhaller Schichten umgeben sind (Schichtteinmuldung). Die Schichtung fällt — abgesehen von kleinen lokalen Spezialfaltungen — nach Norden mit ca. 50—60° ein. Im Nordteil dieses Stollenabschnittes sind mehrere kleine Störungen erkennbar.

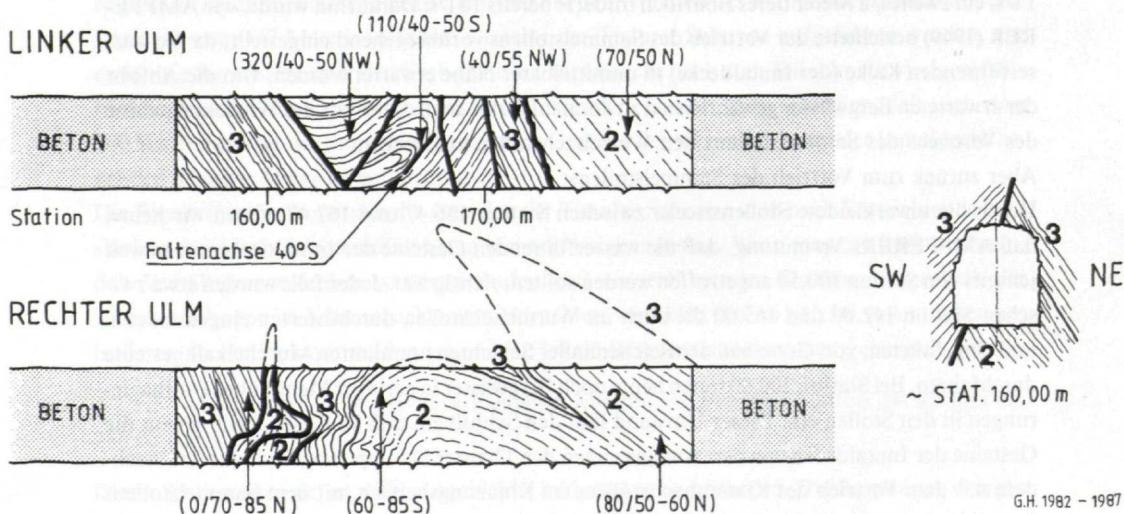


Abb. 15: Geologische Detailverhältnisse im Sammelstollen (2:1 überhöht)

#### 4.2.5 Die geologischen Verhältnisse im Rumer Stollen (s. a. die Abb. 11, 12, 16—18)

##### 4.2.5.1 Allgemeine geologische Beschreibung

Vom Stollenportal bis etwa Station 262.00 wird ausschließlich Höttinger Breccie durchörtert. Ursprünglich war geplant, den Rumer Stollen geradlinig in das Gebirge vorzutreiben. Aber nördlich von Station 200.00 wurde im Übergangsbereich von der Höttinger Breccie zu dem aus Gesteinen der Reichenhaller Schichten bestehenden Grungebirge eine große unterirdische Grotte, die teilweise mit Wasser gefüllt war, angetroffen. Mehrere Nachbrüche vor allem aus der Grottenfirste und die schwer zu beherrschenden Bergwasserverhältnisse in diesem Bereich gaben den Ausschlag für die Entscheidung, den Vortrieb an dieser Stelle aufzugeben, die Grotte wiederum zu verschließen und bei Station 170.00 um ca. 25 Meter in östliche Richtung auszuweichen, um die Grotte und die damit verbundenen Schwierigkeiten zu umfahren. Daher wurde, wie schon erwähnt, das aus Sedimenten der Reichenhaller Schichten bestehende Grundgebirge endgültig erst bei Station 262.00 erreicht. Mit einem *in situ*-Verwitterungsschutt von ca. 50 Zentimeter Mächtigkeit setzen die Reichenhaller Schichten ein. Sie reichen — in sich deutlich verfaltet — bis etwa Station 472.00. Zwischen Station 472.00 und 485.00 folgen muldenförmig eingefaltete Gesteine des unteren Alpinen Muschelkalks, die bis zum Stollenende bei Station 507.80 von Sedimenten der Reichenhaller Schichten, die sattelförmig aufgefaltet sind, abgelöst werden. Leider ist der Rumer Stollen zwischen Station 265,20 und 472,00 durchgehend mit Beton ausgekleidet. Ob in diesem Stollenbereich Gesteine der Thaurer Schuppe durchörtert wurden, läßt sich daher nicht gesichert ausschließen, nicht zuletzt, weil so detaillierte Vortriebsbeschreibungen, wie sie für den Klammbach- und Wurmbachstollen durch AMPFERER (1949) durchgeführt wurden, im Rumer Stollen fehlen. Die geologischen Verhältnisse um Station 265,20 sowie im Bereich der großen Wasserzutritte, der etwas andere Chemismus der Wässer des Rumer Stollens und die Auswertung der vorhandenen Unterlagen geben den Anlaß, die geologischen Verhältnisse zwischen Station 265,20 und 472,00 wie in Abb. 12 dargestellt anzunehmen.

In den Abzweigungen I und II ist die Einmuldung der Muschelkalkgesteine, wie sie im 507.80 Meter langen Hauptstollen durchörtert wurde, bereits ausgekeilt. Während die Abzweigung I nach etwa 73 Metern Vortrieb in Gesteinen der Reichenhaller Schichten und etwa 8 Metern Vortrieb in Gesteinen des Alpinen Muschelkalks bei Station 81.40 endet, wird dieses Vorkommen von Muschelkalkgesteinen in Abzweigung II nach etwa 30 Metern erreicht und bis zum Stollenende bei Station 86.25 etwa im Schichtstreichen verfolgt. Die Abzweigungen III und IV, 19.20 bzw. 19.40 Meter lang, zeigen, daß die Gesteine der Reichenhaller Schichten hier mehrfacher und z. T. steilachsiger Verfaltung im Zuge der gebirgsbildenden Prozesse ausgesetzt waren (s. a. Abb. 11).

##### 4.2.5.2 Detailbeschreibung des unverkleideten Abschnittes zwischen Station 248.00 und 265.20 (s. a. Abb. 16)

Die polymikte Höttinger Breccie (Komponenten aus Wettersteinkalk und Alpinem Muschelkalk mit Durchmessern meist im Zentimeterbereich z. T. bis über 50 Zentimeter groß) lagert mit ca. 20° nach Norden ansteigend auf einem *in situ*-Verwitterungsschutt der Reichenhaller Schichten auf. Der *in situ*-Schutt ist ca. 50 Zentimeter mächtig, darunter lagert der Fels des Grundgebirges, bestehend aus Gesteinen der Reichenhaller Schichten. Die Felsoberkante steigt ebenfalls mit

etwa  $20^{\circ}$  nach Norden an. Die Unterkante der Breccie, gemeint ist der Kontakt der Breccie zum in situ-Verwitterungsschutt, ist deutlich wasserführend. Die vorstehend bereits kurz beschriebene Grotte im heute abgemauerten Stollentrum befindet sich ca. 30 Meter südwestlich von diesem Stollenabschnitt.

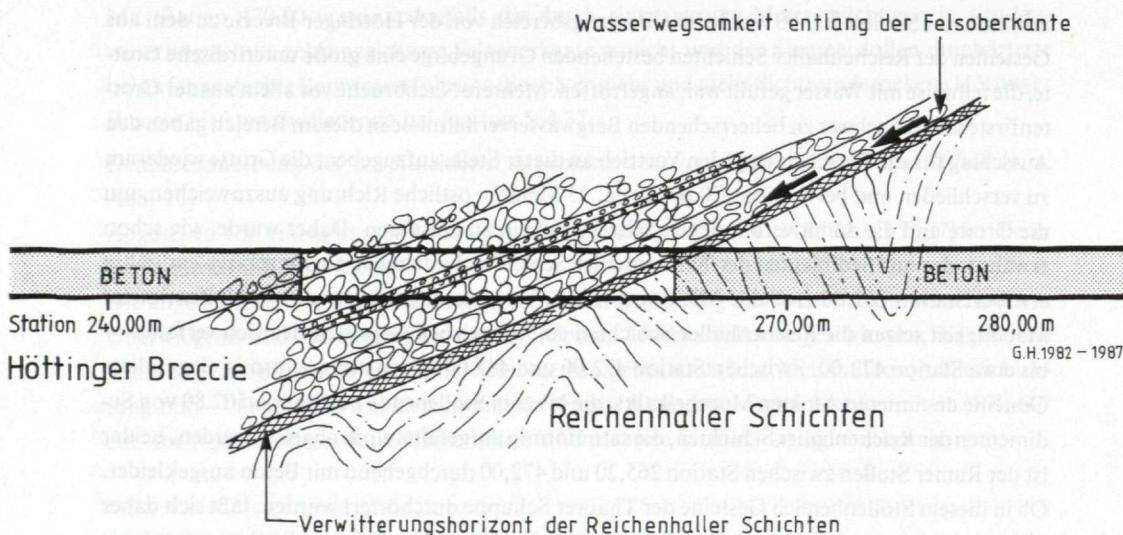


Abb. 16: Geologische Detailverhältnisse im Rumer Stollen um Station 260.00

#### 4.2.5.3 Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte im Bereich der großen Wasserzutritte am Stollenende (s. a. Abb. 11)

Dieser Stollenbereich zeigt deutlich miteinander verfaltete Gesteine der Reichenhaller Schichten und Flaserkalke des Alpinen Muschelkalks. Obwohl die Schichtung meist mit  $40-75^{\circ}$  in nördliche Richtung einfällt, erweist sich im Detail, daß die überwiegend isoklinale südvergente Faltung insgesamt gesehen eine potenzierte multivergente Faltung mit z. t. sogar steilachigen Schichtverbiegungen ist. Nennenswerte Störungen treten in diesem Stollenabschnitt nicht auf. Es fehlen auch die tonig-lettigen Gesteinsbelege fast ausnahmslos.

Die Wasserzutritte halten sich überwiegend an Schichtflächen, untergeordnet auch an tektonische Flächen und dringen nicht nur aus dem Bereich von Sohle und Ulmen, sondern auch aus der Firste in das Stollenbauwerk ein.

### 4.3 Die geologischen Verhältnisse der umliegenden und teilweise noch für Trinkwasserzwecke verwendeten Stollen

#### 4.3.1 Allgemeines

Bei den nachstehend beschriebenen Stollen handelt es sich um unterirdische Quellfassungen, die wesentlich früher, teils bereits im vorigen Jahrhundert vorgetrieben wurden, Teilweise, wie

z. B. im Falle des Alten Wurmbachstollens, sind sie durch den Vortrieb der neuen und ausgedehnten Stollenanlage trockengefallen.

#### 4.3.2 Alter Wurmbachstollen (heute trocken) (s. a. Abb. 13)

Der Stollen liegt in Gesteinen des unteren bis mittleren Alpinen Muschelkalks, und zwar im Wesentlichen nicht in plattig-bankingen Wurstel- und Flaserkalken, sondern in massig wirkenden, stark mit Kleinklüften zerlegten hellen Karbonaten.

#### 4.3.3 Alter Rumer Stollen (heute trocken) (s. a. Abb. 11)

Nach den Aufzeichnungen von SCHMIDEGG liegt der Stollen im wesentlichen in der Höttinger Breccie. Nur die beiden Stollenorte erreichen gerade das aus Gesteinen der Reichenhaller Schichten bestehende Grundgebirge.

#### 4.3.4 Neuer Rumer Stollen

Dieser Stollen liegt z. T. sehr oberflächennahe in Höttinger Breccie, er erreicht das Grundgebirge nicht. Die Breccie ist deutlich von steilen, teils mit oberflächennahem lehmigem Lockermaterial und Wurzelwerk verfüllten Klüften durchzogen.

#### 4.3.5 Alter Klammstollen

Diese Stollenanlage befindet sich an der Grenze der Höttinger Breccie zum Grundgebirge, das hier (wie auch bei der nahebei liegenden Gufelhütte) aus Gesteinen des Alpinen Buntsandsteins besteht. Der Kontakt Grundgebirge-Breccie ist teilweise deutlich grottenartig in die Breccie hinein aufgeweitet. Ein Vgleich mit der im Rumer Stollen angetroffenen Grotte drängt sich auf.

### 4.4 Die geologischen Verhältnisse der restlichen ungefaßten Quellaustritte im Nahbereich der Mühlauer Quellen im Mühlauer Graben (s. a. Abb. 12)

In der Nähe des alten Klammstollens und des Neuen Rumer Stollens entspringen die Wässer einer Quellgruppe, die unter der Bezeichnung »Schleierfälle« und »Am Ursprung« bekannt sind. Diese Wässer treten allesamt aus der Höttinger Breccie aus, wobei die Quellwässer »Am Ursprung« nur unwesentlich oberhalb des aus Gesteinen des Alpinen Buntsandsteins bestehenden Grundgebirges ans Tageslicht kommen. Somit weist die Quellgruppe »Am Ursprung« eine mit den Wässern des Alten Klammstollens vergleichbare geologische und hydrogeologische Position auf.

### 4.5 Diskussion über neue Erkenntnisse der Oberfläche-Geologie und der Stollengeologie

Der optimale Erfolg beim Bau der Stollenanlage zur unterirdischen Fassung der Mühlauer Quellen lag in der optimalen Erschließung der Bergwässer. Dieser Erfolg ist sicherlich den damals tätigen Baugeologen AMPFERER und SCHMIDEGG großteils zuzuschreiben, hatten sie doch gute Prognosen über den Gebirgsbau erstellt.

Trotzdem zeigten jedoch die Vortriebsarbeiten immer wieder auch für die Geologen große und teilweise unangenehme Überraschungen (z. B. Auffahren der Grotte, Verbruch im Rumer Stollen; s. a. Abb 11, 18; Durchörtern des druckhaften schieferetonreichen Gebirges der Nordalpinen Raibler Schichten, etc.).

Grund dafür war, daß das damals erstellte Gebirgsmodell nur teilweise richtig war: Die in den Stollen auftretenden Schichtwiederholungen wurden mit z. T. stark versetzenden Störungen erklärt und traten daher stets völlig überraschend auf. Hinzu kam, daß man sich ein derart häufiges Auftreten von Schichtwiederholungen aufgrund der vermuteten Störungen kaum vorstellen konnte, und daß man daher zur Ansicht gelangte, daß viele Gesteine zwar »aussehen« wie Reichenhaller Schichten, offenbar jedoch den Ablagerungen des Muschelkalks zuordnen wären. Ein Großteil der Wasserwege, so wurde vermutet, wäre an solche angenommene Störungen gebunden.

Die Erkenntnisse der modernen Stratigraphie lassen heute keinen Zweifel über die Gesteinsgrenze Reichenhaller Schichten-Alpiner Muschelkalk offen.

Damit sind die Gesteine heute klar zuordenbar. Dieser Umstand und die genaue Kartierung der Ober- und Untertageaufschlüsse durch den Verfasser untermauern das von ihm neu erstellte Gebirgsmodell.

Demnach sind die ober Tage und unter Tage auskartierbaren, z. T. zahlreichen Schichtwiederholungen von Gesteinen der oberen Reichenhaller Schichten und des unteren Alpinen Muschelkalks nicht auf Störungen, sondern auf eine gemeinsame, intensive und mehrphasige Gesteinsverfaltung zurückzuführen.

Die heute in den Stollen auskartierbaren Störungen zeigen jeweils nur geringe Versetzungsbeträge (vom Bereich weniger Zentimeter bis zu maximal wenigen Metern). Für die Wasserwegigkeit verlieren diese Störungen (abgesehen von der Schusterreisenstörung), gegenüber den alten Ansichten an Bedeutung.

Wie die detaillierte geologische Aufnahme der heute unausgekleideten Stollenabschnitte (auf Abb. 15 am Beispiel des Sammelstollens exemplarisch dargestellt) aufzeigt, sind die geologischen Verhältnisse im kleinen Aufschluß noch wesentlich komplizierter, als sie — maßstabbedingt — auf Übersichtsplänen zur Darstellung gelangen können.

Trotz dieses neuen und einheitlichen Bildes des Gebirgsbaues innerhalb der Inntaldecke zeigen die heute noch unausgekleideten Stollenabschnitte deutliche strukturgeologische Unterschiede: So sind die Gesteine im Wurmbachstollen und im Sammelstollen zwischen Station 136.00 und 168.00 von zahlreichen kleineren Störungen mit geringen Versetzungsbeträgen durchzogen, wie Abb. 15 ausschnittsweise und exemplarisch zeigt: Der Charakter einer im wesentlichen ungestörten intensiven Gesteinsverfaltung, die örtlich auftretende, gering versetzende Störungen (= kleinere Schichtdiskordanzen) beinhaltet, kommt klar zum Ausdruck.

Auf Abb. 13 ist weiters das Wesen der Einfaltung der Muschelkalkmulde im Bereich des Wurmbachstollens erkennbar: bedingt durch das unterschiedliche Verhalten der sich von der Gesteinszusammensetzung her stark unterscheidenden Gesteine der Reichenhaller Schichten einerseits und des Alpinen Muschelkalks andererseits wird klar, daß derart intensive und potenzierte Verfaltungen auch zu kleineren Schichtdiskordanzen führen können.

Auch im Klammbachstollen sind Schichtkordanzen, bedingt durch gering versetzende Störungen zahlreich. Gesteine des Alpinen Muschelkalks sind zweimal in die Ablagerungen der Reichenhaller Schichten eingefaltet.

Während im Wurmbach-, Klammbach- und Sammelstollen das Grundgebirge (innerhalb der Inntaldecke) deutlich gestört ist, zeigen die Aufschlüsse im Rumer Stollen keine nennenswerten

Störungen. Sehr schön sichtbar ist im Rumer Stollen hingegen die isoklinale südvergente und insgesamt potenzierte, multivergente Faltung mit z. T. sogar steilachsigen Schichtverbiegungen, wie sie für die basalen Bereiche der Inntaldecke am Südabhang der Innsbrucker Nordkette typisch ist (s. a. HEISSEL 1978, GSTREIN & HEISSEL 1989.)

Bisher von niemandem erkannt wurde die Tatsache, daß zumindest Wurmbach-, Klammbach- und Sammelstollen nicht nur Gesteine der Inntaldecke sondern auch Hauptdolomit und Nordalpine Raibler Schichten der unterlagernden Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone durchörtert haben. Diese Erkenntnis ist, nachdem alle betreffenden Stollenabschnitte heute ausgekleidet sind, zum einen den detaillierten Aufzeichnungen AMPFERERs (1949) zu verdanken, andererseits wurde eine Uminterpretation der AMPFERERschen Stollenbänder und Brustbilder erst durch die Geländeergebnisse von HEISSEL (in GSTREIN & HEISSEL 1989, 1990) möglich. Obwohl beispielsweise im Bereich der nur unweit östlicher gelgenen Rumer Alm Gesteine der Thaurer Schuppe (Hauptdolomit und Nordalpine Raibler Schichten) noch in 1240 m ü. A. anstehen, hatte AMPFERER während des Stollenvortriebes nie den Schluß gewagt, die schiefer-tonreichen bzw. die dolomitischen Abfolgen in den Stollen nicht zu den Reichenhaller Schichten, sondern den Nordalpinen Raibler Schichten bzw. dem Hauptdolomit zuzuordnen. Dieser Irrtum, der auch die gesamte Oberlagegeologie zwischen Kranebitter Klamm (bzw. Martinsbühel) und dem Halltal durchbruch immer wieder betrifft, zog sich in der Folge über Jahrzehnte durch die Literatur, und wurde, wie schon vorstehend beschrieben, eigentlich von Bearbeiter zu Bearbeiter immer krasser. Erst heute mit dem neuen Gebirgsmodell hat man den Schlüssel für die widerspruchsfreie Lösung der geologischen, struktureogeologischen und hydrogeologischen Verhältnissen in Händen, die sowohl ober- als auch untertägig (in den zahlreichen Stollenaufschlüssen) ein einheitliches und logisches Bild vermitteln.

Daß AMPFERER trotz bewundernswerter Prognosen nur um »Haaresbreite« an der Katastrophen eines Scheiterns des Projektes vorbeiging, ist dem bei allen Angelegenheiten der Geologie nötigen Glück des Tüchtigen zuzuschreiben, denn — darauf wurde schon verwiesen — das Anschlagen der Stollen bereits um beispielsweise 20 Meter tiefer hätte wesentlich längere Streckenvortriebe im druckhaften Schiefertongebirge bedeutet, und damit möglicherweise die Einstellung des Projektes bewirkt.

## 5. Hydrogeologische Verhältnisse:

### 5.1 Wasserwege im Gebirge und wasserleitende Gesteine (s. a. Abb. 9)

Alle Niederschläge, die über dem Karwendelgebirge niedergehen und nicht verdunsten oder in der teilweise vorhandenen Vegetation gebunden oder oberflächlich abgeführt werden, versickern auf geologisch-tektonisch vorgegebenen Wasserwegen in das Gebirge. Das Eindringen der Wässer in die Tiefen des Gebirges, das Weiterwandern im Fels und auch das teilweise Wiederaustritt an der Oberfläche in Form von Quellen erfolgt also nach geologisch-tektonischen Gesetzmäßigkeiten.

Die Triaskarbonatgesteine der Inntaldecke im Karwendel (Wettersteinkalk, Alpiner Muschelkalk), die den größten Teil des Gebirges aufbauen, sind meist gut gebankt und deutlich geschichtet. Außerdem sind diese Gesteine von einer großen Anzahl von Klüften und Störungen unter-

schiedlicher Mächtigkeit und Erstreckung durchzogen. Das Wasser, das die Karbonate anlöst und teilweise auch auflöst, greift das Gestein vor allem entlang der vorgezeichneten Schwächezonen, also entlang alter Riffstrukturen, sowie entlang von Klüften und Störungen an. Die so entstandenen Wasserwege werden teilweise ständig erweitert, teilweise versintern sie auch wieder, sodaß das im Berginneren herrschende Netz der Wasserwege einem langfristigen, aber dauernd wirksamen Wandel unterzogen ist.

Wenngleich die Wasserwege zumeist sehr eng sind und somit eine hohe Verweildauer der Wässer im tiefen Berginneren im allgemeinen gewährleistet ist, können doch durch zunehmende Verkarstungsprozesse die Wasserwege mehr oder weniger deutlich erweitert sein und mitunter im Maximum Öffnungsweiten von mehreren Metern erreichen, wie nachfolgend noch beschrieben werden soll.

Die Karbonatgesteine des Wettersteinkalks und des Alpinen Muschelkalks der Inntaldecke sind also als gut funktionierende Wasserleiter des Gebirges anzusehen. Dies gilt ebenso für den Hauptdolomit im Karwendel, allerdings liegen seine Gesteine, soweit sie die Inntaldecke betreffen, nach unten abgedichtet durch die wasserstauenden Sedimentgesteine der Nordalpinen Raibler Schichten außerhalb des Einzugsgebiets der Mühlauer Quellen.

Neben diesen triadischen Gesteinen ist vor allem die gut geklüftete Höttinger Breccie mit ihren zum Teil stark aufgeweiteten Klüften und Schichtflächen und insbesondere auch mit ihrer stark aufgeweiteten Unterkante, also ihrer Auflagefläche auf dem Triasuntergrund gut wasserwegig, was beispielsweise besonders schön im Rumer Stollen zur Geltung kommt (s. Abb. 16).

Lokal gehört natürlich auch der an der Oberfläche anstehende Hangschutt zu den wasserleitenden Elementen des Gebirges (z. B. Schusterreise).

## 5.2 Wasserstauende Faktoren im Gebirge und wasserstauende Gesteine (s. a. Abb. 9, 12)

Trotzdem ein großer Teil des Gebirges von den wasserwegsamen und wasserleitenden Gesteinen aufgebaut ist, wird der Verlauf des Bergwassers sehr wesentlich von den zahlreich auftretenden wasserstauenden Faktoren beeinflußt.

Häufig stellen tektonische Flächen gute Wasserstauer dar. Störungen, auch wenn sie sich in »reinem« Karbonatgestein befinden, sind vielfach als tonige Mylonite ausgebildet. Auch Klüfte, egal wie klein- oder großflächig sie sind, können tonig verfüllt sein. Vor allem aber die Basis der Inntaldecke, die sogenannte Deckengrenze, ist oft als tonig gut verschmierte tektonische Fläche ausgebildet und besitzt so mitunter hervorragendeabdichtende Wirkung gegen die Tiefe hin. Letztlich stellen auch die in den Karbonatgesteinen zahlreich vorhandenen versinterten, d. h. wieder verheilten Klüfte und Störungen Faktoren mit wasserstauender Wirkung dar.

Neben den tektonischen Gefügeelementen mit guter wasserstauender Wirkung kennzeichnen alle mehr oder weniger deutlich tonigen Gesteine der Trias als wasserstauende Faktoren den Gebirgsbau. Im Einzugsbereich der Mühlauer Quellen kommt vor allem den am Südhang der Innsbrucker Nordkette anstehenden Gesteinen des Alpinen Buntsandsteins und der Reichenhaller Schichten, also den Gesteinsserien an der Basis der Inntaldecke gute wasserstauende Wirkung zu. Die für den oberen Bereich der Schichtenfolge des Alpinen Muschelkalks meist typischen tonigen Pietra Verde-Lagen fehlen gerade im Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen vielfach und sind so als Wasserstauer nur von untergeordneter Bedeutung. So treten sie beispielsweise ober-

flächlich nur im Wildangergebiet in nennenswerter Weise auf. Die Nordalpinen Raibler Schichten sind im Bereich der Inntaldecke mit ihren teils mächtigen Schiefertonhorizonten optimale Wasserstauer und grenzen so nicht nur den darüberliegenden wasserführenden Hauptdolomit der Inntaldecke aus dem Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen aus, sondern dichten als einer der Hauptbauteile der Thaurer Schuppe auch die Inntaldecke nach unten ab!

### 5.3 Der Grad der Verkarstung des Gebirges

Von sehr wesentlicher Bedeutung für die Abgrenzung des Einzugsgebietes der Mühlauer Quellen und damit auch von besonderer Bedeutung für die mit dem Einzugsgebiet insgesamt wohl identen Schutz- und Schongebietsumgrenzungen, wie sie für derart bedeutende Quellen im Zeitalter rasch zunehmender Umweltbelastungen jeglicher Art in naher Zukunft doch umgrenzt werden sollten, ist die Frage nach dem Grad der Verkarstung des Gebirges.

Das Niederschlagswasser, das ja stets auch geringe Mengen an Kohlensäure enthält, greift die Karbonatgesteine nicht nur oberflächlich an, sondern auch während seiner Wanderschaft durch das Berginnere entlang der Wasserwege. Dies ist ein ständig wirkender und fortschreitender Prozeß.

Je weiter aufgeweitet daher die Wasserwege im Gestein sind, desto höher ist die Durchlaufgeschwindigkeit und desto geringer die Speicherkapazität des Gebirges. Damit steigt auch die Gefahr qualitativer und quantitativer Beeinträchtigung.

Man muß also unterscheiden zwischen Oberflächenverkarstung und Tiefenkarst. Weiters muß auf den Grad der Verkarstung im Bereich der Höttinger Breccie gesondert eingegangen werden. Der Grad der Oberflächenverkarstung ist vor allem von der Oberflächenneigung abhängig. An steilen Felswänden rinnt das Niederschlagswasser rasch ab, es bleibt fast kein Schnee liegen, die Verkarstungsmöglichkeit ist daher gering. Hochflächenartige Areale, meist bedingt durch flache Schichtlagerung und/oder als Reste alter Landoberflächen aus dem Jungtertiär, wie z. B. die Arzler Scharte, das Grubach, das Niederbrandjoch und die Pfeis zeigen eine deutlichere Karstmorphologie, weil die Niederschlagswässer nicht so gut abrinnen können und der Schnee länger liegen bleibt. Im Vergleich zu den Karstgebieten Ostösterreichs ist jedoch der Grad der Oberflächenverkarstung im gesamten Karwendel im allgemeinen und im Einzugsbereich der Mühlauer Quellen im besonderen als gering zu bezeichnen.

Der Grad der unterirdischen Verkarstung (Tiefenkarst) läßt sich naturgemäß nur schwerer erkunden. Dies gelingt jedoch vor allem dadurch, daß dem Geologen nicht nur im Bereich der Nordkette, sondern an vielen Stellen im gesamten Karwendel immer wieder Einblick in das Berginnere durch größere und kleinere Stollen-, Tunnel- und Kavernenbauten geboten wird. So können alte Aufzeichnungen von den Tunnelbauten der Mittenwaldbahn herangezogen werden, weiters wurde 1979 ein großes Kavernenlager östlich von Zirl ausgebrochen, bei dem der Verfasser teils gemeinsam mit MOSTLER, großteils jedoch allein die baugeologische Vortriebsbetreuung und damit Erkundung der Gebirgsverhältnisse durchführte (s. a. MOSTLER 1986). Vor allem aber bieten die zahlreichen Bergbaustollen im Karwendel dem Geologen besten Einblick in die Untergrundverhältnisse des Gebirges, was durch den Verfasser gemeinsam mit GSTREIN in großteils mühevoller, jedoch in höchstem Maße faszinierender Arbeit zwischen 1974 und 1990 gelang (HEISSEL 1987, GSTREIN & HEISSEL 1989, 1990). Nicht zuletzt sind Stollenbauten

für Kraftwerke zu erwähnen, die wertvolle Erkenntnisse gebracht haben. Hier ist einerseits das Achenseekraftwerk zu nennen (s. a. AMPFERER 1927), andererseits das Kraftwerk Mühlau, das mit seinem »ausgeklügelten« Stollennetz Direktinformation über die Untergrundverhältnisse im unmittelbaren Nahbereich der Mühlauer Quellen bietet.

Auf den Grad der unterirdischen Verkarstung kann man weiters sehr genau rückschließen, indem man das Verhalten der einzelnen Quellen des Karwendelgebirges beobachtet. So zeigen die Werte der Quellschüttung, Wassertemperatur, Wasserhärte, weiters pH-Wert, Chemismus und Reinheit der Wässer und anderes mehr klar auf, ob es sich um Bergwässer in stark oder schwach verkarstetem Gebirge handelt.

Alle diese Befunde lassen klar erkennen, daß nicht nur im Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen, sondern im gesamten Karwendel das Netz der Wasserwege vielfach ein sehr enges und engmaschiges ist. So können nicht nur gewaltige Mengen von Bergwasser an den zahllosen Störungs- und Schichtflächen, sowie auch in eventuell vorhandenen Porenräumen und alten Riffhohlräumen gespeichert werden, sondern auch die Verweildauer des Wassers im Berg beinhaltet zumindest bei den zahlreichen großen Quellen des Karwendels einen langen Zeitraum, der für einen nicht unbeträchtlichen Anteil der Quellwässer fallweise mehrere Jahre betragen dürfte. Dies gilt vor allem für die Mühlauer Quellen. Trotzdem können vereinzelt, wie sich auch beim Bau des Rumer Stollens gezeigt hat, Wasserwege vor allem im Bereich des Bergwasserspiegels — bis zu mehreren Metern Öffnung aufgeweitet werden und so ein rasches Durchfließen der Bergwässer bedingen (s. Abb. 17, 18).

Die quartäre Höttinger Breccie bildet nicht nur geologisch, sondern auch hydrogeologisch einen Sonderfall. Sie zeigt zwar an der Oberfläche meist keine deutlich sichtbaren Verkarstungsercheinungen, jedoch sind die Wasserwege innerhalb der Breccie, vor allem die Klüfte betreffend, vielfach stark aufgeweitet, was beispielsweise im Quellstollen der Weiherburgquelle oder im Neuen Rumer Stollen sehr gut beobachtbar ist. Häufig ist auch lagenweise das Bindemittel zwischen den einzelnen Breccienkomponenten teilweise oder zur Gänze herausgelöst, was immer wieder, beispielsweise zwischen Schuster- und Mittlerer Reise zu beobachten ist. Vor allem im Rumer Stollen zeigt der unterste Bereich der allochthonen Schuttanlieferung der Breccie über dem dort ca. 50 cm mächtigen *in situ*-Verwitterungsschutt der Reichenhaller Schichten, daß das gesamte Bindemittel bereits herausgelöst ist und die dermaßen »porös« gewordenen Schichten der Höttinger Breccie eine sehr gute Wasserwegigkeit aufweisen (s. a. Abb. 16). Aufgrund dieses insgesamt starken Grades der Verkarstung ist innerhalb der Höttinger Breccie die Gefahr der Beeinträchtigung bzw. Verunreinigung von Quellwässern deutlich gegeben, nicht zuletzt auch, weil die Bergwässer innerhalb der Breccie bereits sehr oberflächennahe fließen. Mit einem selbst-reinigenden Effekt kann so nicht mehr gerechnet werden. Diesem Umstand haben die Erbauer der modernen Quellfassung der Mühlauer Quellen in hervorragender Weise Rechnung getragen, indem sie die bis dahin aus der Breccie entspringenden Quellwässer mit dem Quellstollenbauwerk des Wurmbach-, Klammbach- und Rumer Stollens »hinter« der hydrogeologisch so ungünstigen Breccie im kaum verkarsteten und damit »sicheren« Grundgebirge gefaßt haben.

## 5.4 Die Bergwasserverhältnisse im Bereich der Mühlauer Quellen aus geologischer Sicht

### 5.4.1 Wasserstauende und wasserleitende Gesteine im Bereich der Mühlauer Quellen

Wie bereits beschrieben, sind als Wasserstauer die Gesteine des Alpinen Buntsandsteins, der Nordalpinen Raibler Schichten, und im wesentlichen auch der Reichenhaller Schichten anzusehen. Zu den wasserleitenden Gesteinen zählen einerseits die Ablagerungen des Alpinen Muschelkalks mit Ausnahme der Pietra Verde Lagen, andererseits die der Höttinger Breccie, mit Einschränkungen auch die Hauptdolomitgesteine.

#### 5.4.2 Wasserwege im Gebirge (s. Abb. 9, 12, 16, 18)

##### 5.4.2.1 Allgemeines

Grundsätzlich bilden sich Wasserwege an vorgezeichneten Schwächezonen aus. Diese sind einerseits die sedimentär entstandenen Schichtflächen (Schichtwässer), andererseits die meist tektonisch (im Fall der Höttinger Breccie auch pseudotektonisch) entstandenen Klüfte und tektonischen Störungen (Kluft- und Störungswässer). Eine ausgeprägte Inhomogenitätsfläche und Schwächezone besonderer Art stellt, wie vorstehend bereits mehrfach aufgezeigt, die Grenze der Höttinger Breccie zum Grundgebirge bestehend aus den Triasgesteinen der Inntaldecke und der Thaurer Schuppe dar. Daher handelt es sich hiebei auch um einen bevorzugten Wasserweg, der im Fall des Alten Klammtollens und der Quellen »Am Ursprung« ständig wasserführend ist, der weiters im Fall des höher liegenden Rumer Stollens und Sammelstollens zumindest bei verstärktem Bergwasserandrang wasserführend ist, und im Beispielsfall des Alten Rumer Stollens bis zum Zeitpunkt des Vortriebs der neuen Mühlauer Quellstollen wasserführend war. Es ist also tatsächlich die Gesteinsgrenze Höttinger Breccie-Grundgebirge als einer der bevorzugten Wasserwege im Gebirge anzusehen.

##### 5.4.2.2 Wasserwege im Wurmbachstollen

Die Wasserwege im Bereich der großen Wasserzutritte halten sich zumeist an Schichtflächen, untergeordnet auch an tektonische Flächen. Die Bergwässer wurden während des Stollenvortriebes vorwiegend im Bereich der großen Einmuldung der Muschelkalkgesteine angefahren. Aufgrund der Drainagewirkung des Stollens wurde der Bergwasserspiegel, wie vorstehend bereits erwähnt, so weit abgesenkt, daß die Wässer heute etwa 15 Meter unter der Untergrenze der Gesteine des Alpinen Muschelkalks innerhalb der Sedimente der Reichenhaller Schichten in das Stollengebäude eintreten. Diese Absenkung des Bergwasserspiegels wurde sicherlich durch die stärkere tektonische Beanspruchung der Muschelkalkgesteine begünstigt (s. a. Abb. 13).

##### 5.4.2.3 Wasserwege im Klammbachstollen

Die Wasseraustritte halten sich zumeist an Schichtflächen, teilweise auch an tektonische Flächen. Der Bergwasserspiegel liegt im Bereich der Wasserzutritte bereits oberhalb der Stollenfirste. Die Wasserwegigkeit in den Ablagerungen des Alpinen Muschelkalks und im 15 bis 20 Meter mächtigen Bereich der oberen Reichenhaller Schichten ist begünstigt durch die ausgeprägte isoklinale Verfaltung und die damit einhergehende verstärkte Gesteinsbeanspruchung.

##### 5.4.2.4 Wasserwege im Sammelstollen

Die im Sammelstollen zwischen Station 136.00 und 168.00 austretenden kleineren Wasseraustritte sind an die schon im Wurmbachstollen durchhörterte größere Muschelkalkmulde und deren Rahmen aus Reichenhaller Schichten gebunden (»Dachrinneneffekt«). Kleinere Wasserzutritte

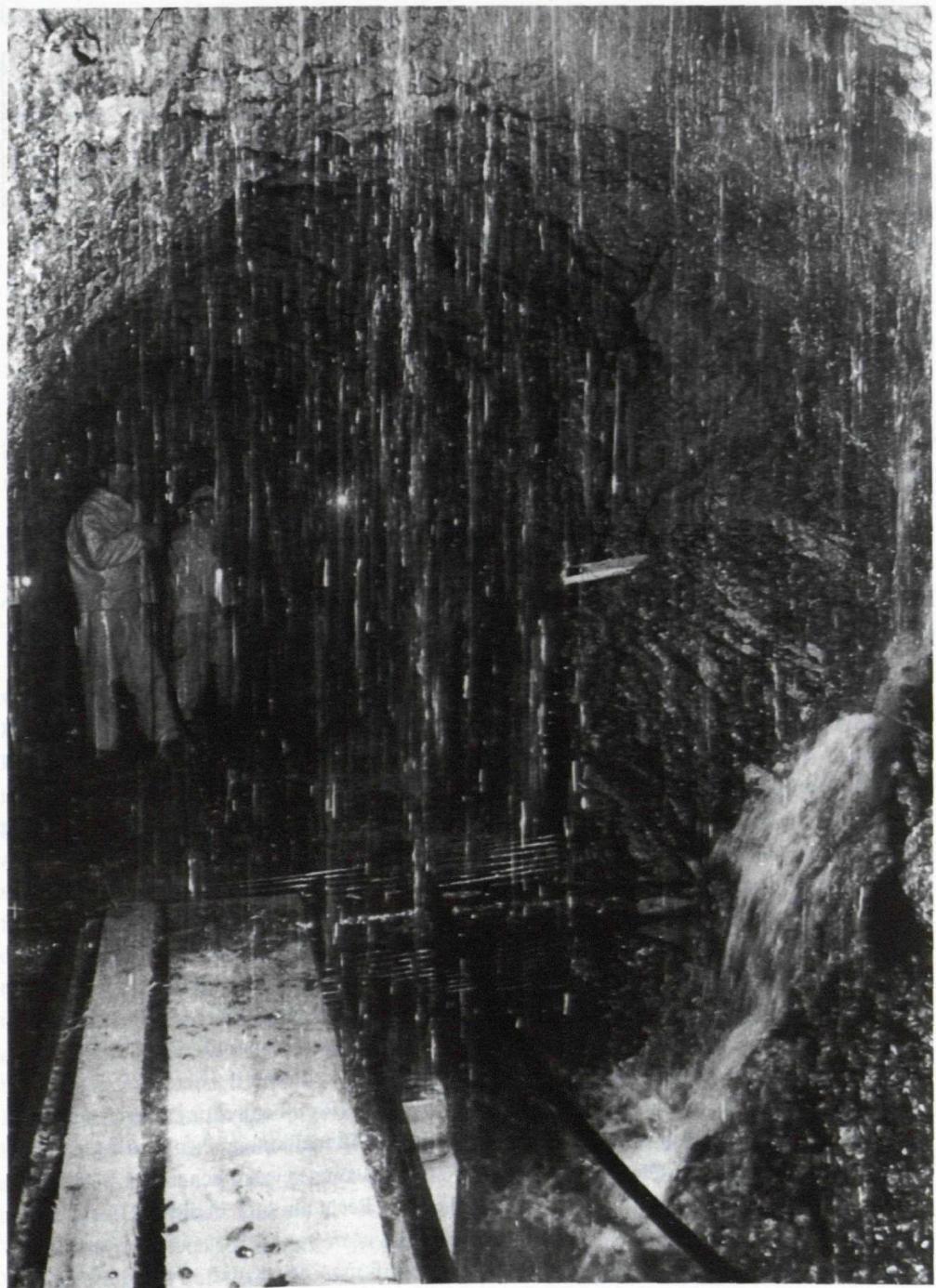
um Station 200.00 weisen auch aus hydrogeologischer Sicht auf die Nähe der wasserstauenden Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten der Thaurer Schuppe hin. Mit dem Verlassen des Grundgebirges und dem Eintritt in die Höttinger Breccie etwa bei Station 470.00 wurde beim Stollenvortrieb so viel Wasser erschrotet, daß die Wässer der Klammbachquelle und des ebenfalls höher gelegenen Alten Rumer Stollens ausblieben, was wohl als deutlicher Hinweis gewertet werden kann, daß die Breccie an ihrer Basis zumeist besonders wasserwegig ist, und daß das Bergwasser entlang diesem Wasserweg besonders rasch und leicht auf Veränderungen bezüglich der Wasserwegigkeit, seien sie nun künstlicher (z. B. Vortrieb eines Stollens) oder natürlicher Ursache (z. B. fortschreitender Prozeß der Verkarstung innerhalb der Breccie) reagiert. Heute jedoch ist dieser Stollenteil zumindest oberhalb des Fließgerinnes meist trocken. Nur bei starkem Bergwasserandrang, wie er z. B. während der Sommermonate 1982 und 1985 zeitweise herrschte, springen die in den Ulmen eingelegten Drainagerohre an und zeigen dann kurzfristige deutliche Wasserführung.

#### 5.4.2.5 Wasserwege im Rumer Stollen

Der Stollenbereich um Station 105.00—125.00, sowie um Station 170.00 befindet sich innerhalb der Höttinger Breccie. Oberhalb des Fließgerinnes sind meist keine Wasserzutritte feststellbar. Nur bei starkem Bergwasserandrang, wie er beispielweise in den Sommermonaten 1982 und 1985 z. T. vorherrschte, springen die Drainagerohre in den Ulmen an und zeigen dann kurzfristig deutliche Wasserführung. Um Station 170.00 muß das Wasser dabei mangels an Drainagerohren den Beton der Stollenverkleidung an feinen Rissen mit z. T. deutlichem Druck durchdringen. Etwa zwischen Station 248.00 und 265.00 (s. a. Abb. 16) ist wiederum die Grenze der Höttinger Breccie zum Grundgebirge (es handelt sich hier um Sedimentgesteine der Reichenhaller Schichten mit einer etwa 50 Zentimeter dicken Verwitterungszone) wasserführend, wobei diese Wassermenge nach freundlicher mündlicher Mitteilung von Herr D. I. Hastaba (Direktor i. R. des Wasserwerks der Stadtwerke Innsbruck) in den ersten Jahren nach Errichtung des Stollens generell deutlich geringer war, als sie heute ist. Eine deutliche Zunahme der Wasserführung in diesem Stollenbereich beispielsweise während der Zeit der Schneeschmelze auf dem Südabhang der Nordkette ist ebenfalls charakteristisch (mündl. Mitt. D. I. Hastaba). Dies weist einerseits auf eine Zunahme der Wasserwegigkeit an der Basis der Breccie innerhalb des geologisch sehr kurzen Zeitraumes von wenigen Jahrzehnten hin, andererseits zeigt sich, daß bei hoher Bergwasserführung im Grundgebirge der Bergwasserspiegel so weit ansteigen kann, daß alte Quellaustritte, die wohl schon in der Zeit vor der Sedimentation der Höttinger Breccie angelegt waren, wiederum anspringen und an der Felsoberkante bzw. entlang der Breccienunterkante entwässern. Die Hauptzufluhr des Bergwassers erreicht der Rumer Stollen nördlich der Station 470.00 und in den Abzweigungen I—IV. Die Wässer treten vorwiegend an den Schichtflächen im Grenzbereich Reichenhaller Schichten-Alpiner Muschelkalk auf. Tektonische Flächen dienen, nachdem sie in diesen Stollenabschnitten kaum vorhanden sind, nur untergeordnet als Wasserwege.

#### 5.4.3 Der Grad der Verkarstung im Bereich der Quellaustritte

Es lohnt sich auf die Frage der Verkarstung im Bereich der Mühlauer Quellen ganz besonders einzugehen, gibt es doch gerade zu diesem Fragenkomplex besonders viele Fehleinschätzungen,



Wasserandrang im Rumer Stollen in den Gesteinen des Alpinen Muschelkalks bei Station 479.00, etwa 26 Meter vor dem großen Verbruch (Foto 3)

die ein Urteil über die Qualität der Quellwässer eher negativ färben, mindert doch eine starke Verkarstung den Wert eines Quellwassers ganz erheblich.

Innerhalb der Triasgesteine ist im Umfeld der Mühlauer Quellen, wie eigentlich generell im Karwendel (darauf wurde schon verwiesen), der Grad der Verkarstung als relativ gering zu bezeichnen. Die Wasserwege, vornehmlich an Schichtflächen, aber auch an Kluft- und Störungsflächen gebunden, zeigen im allgemeinen Aufweitungen vom Milimeterbereich bis in den Bereich weniger Zentimeter. An der Geländeoberfläche treten in den Gesteinen des Alpinen Muschelkalks und der Reichenhaller Schichten so gut wie keine nennenswerten Verkarstungerscheinungen auf. Auch wenn der Verfasser also mit MOSTLER (1986) mehr oder weniger einer Meinung ist, wonach der Grad der Verkarstung im Karwendel gering ist (darauf wurde von HEISSEL schon 1977 und 1978 hingewiesen), soll die von MOSTLER (1986) vertretene Ansicht nicht unwidersprochen bleiben, wonach es sich dann nicht um Karstwässer handeln soll, wenn sie an Kluftflächen austreten. Dies kann sicherlich kein Kriterium sein, zumal auch die Kluftflächen in dem von MOSTLER zitierten Sprengmittellager bei Zirl im Bereich der unterirdischen Wasserzutritte Spuren geringer Verkarstung zeigten. Man weiß heute beispielsweise von modernen Tunnelvortrieben (z. B. Milser Tunnel und Roppener Tunnel der A 12-Inntalautobahn), daß sogar die Gesteine des Hauptdolomits, die im Tunnelvortrieb auf hunderten von Metern als »absolut« dicht angesehen werden konnten, an anderen Stellen sogar kleinere (heute inzwischen trockengefallene) Karstschlüche aufweisen können (vgl. HEISSEL, KÖHLER & LEIMSER 1989). Auch die in Fachkreisen bekannte Excentriquehöhle bei Imst, im Hauptdolomit im Nahbereich zu Gesteinen der Nordalpinen Raibler Schichten angesiedelt, ist als Karsterscheinung zu werten.

Nun aber wieder zurück zu den Mühlauer Quellen: Den Aufzeichnungen von SCHMIDEGG und MAASS (s. a. Abb. 17) ist zu entnehmen, daß es beim Vortrieb des Rumer Stollens nördlich von Station 470.00 zu einem Verbruch kam, verbunden mit einem Wasserzutritt in das Stollenbauwerk von bis zu über 1200 l/s.

Die geologische Dokumentation und Interpretation SCHMIDEGGs ergab, daß karstartig erweiterte Wasserwege im Bereich tektonisch zerrütteter Gesteine der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalks durch den Stollenverbruch weiter ausgeweitet wurden. SCHMIDEGG untersuchte u. a. das ausgeschwemmte Gesteinsmaterial und glaubte, neben Komponenten der Reichenhaller Schichten und des untersten Alpinen Muschelkalks (Wurstel- und Flaserkalke) auch solche des mittleren und/oder höheren Sedimentationsabschnittes des Alpinen Muschelkalks zu erkennen. Daraus leitete er — zusätzlich gestützt auf eine teilweise erkennbare Abrundung der Gesteinsbruchstücke — größere Transportweiten des Materials innerhalb der Karströhren und Karstrinnen ab, wobei er ein Haldenfundstück, das für ihn dem Wettersteinkalk zuordenbar war, mit Recht als sehr fragwürdig bezeichnete (Randbemerkung: wer das ständig vorhandene Bedürfnis der »eingefleischten« Stollen- und Tunnelmineure kennt, die Geologen mit Desinformationen aufs Glatteis zu führen und so zu »Geolügen« zu machen, der weiß solche »Funde« richtig einzuschätzen — SCHMIDEGG galt zu Recht als auch in dieser Hinsicht sehr erfahrener Geologe).

Aufgrund moderner stratigraphischer Erkenntnisse weiß man heute, daß in den unteren und mittleren Sedimentationsabschnitten des Alpinen Muschelkalks und im Wettersteinkalk sehr ähnliche, massig wirkende helle Kalke vorkommen können (z. B. im Alten Wurmbachstollen,

## LEGENDE:

- 
- 
- 
- 

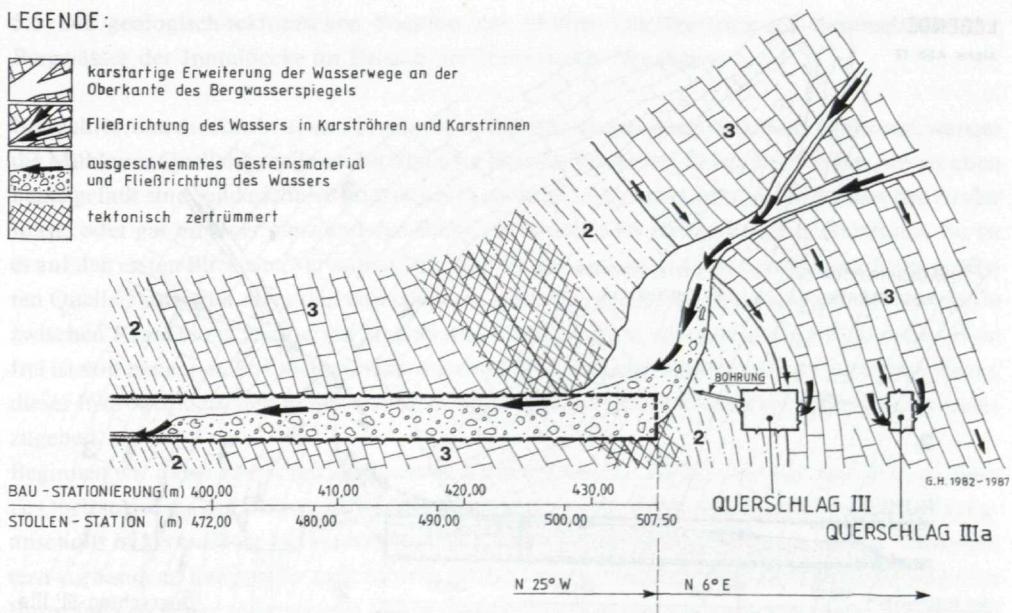


Abb. 17: Geologischer Schnitt Verbruch Rumer Stollen, Station 505.00 (nach SCHMIDEGG)

weiters im alten Luftschutzstollensystem am Hohen Weg in Innsbruck; vgl. auch GSTREIN & HEISSEL, 1990), sodaß heute als sicher gelten kann, daß das ausgeschwemmte Gesteinsmaterial keinen großen Transportweg zurückgelegt hat und lediglich den oberen Reichenhaller Schichten und dem Alpinen Muschelkalk entstammen dürfte. Die teils vorhandene Abrundung der Komponenten ist auf die Strömung des fließenden Bergwassers zurückzuführen.

Als Ursache für die Ausbildung derart deutlich aufgeweiteter Wasserwege kommt aus geologischer Sicht die im Niveau dieser unterirdischen Verkarstungerscheinung anzunehmende Oberfläche des Bergwasserspiegels, in dessen Bereich eine größere Strömungsintensität herrscht, als darunter, in Frage. Dies vor allem deshalb, weil ja die Verkarstungsprozesse an der Oberfläche fließender Bergwässer ausgeprägter sind, als unter dem Bergwasserspiegel. Diese Aussage bestätigt sich unter anderem durch die Beobachtung, daß das Trias-Grundgebirge im gesamten übrigen Stollen nirgends derart deutliche Verkarstungerscheinungen zeigt. Sogar in den unmittelbar benachbarten Abzweigungen I—IV sind die Wasserwege stets eng und höchstens bis in den Bereich weniger Zentimeter aufgeweitet. Trotzdem ist es jedoch — nicht zuletzt mittels gezielter Entlastungs- bzw. Entwässerungsbohrungen — noch in der Bau- und Verbruchsanierungsphase gelungen, etwa neun Zehntel des Wassers aus der Verbruchszone des Karstschlauches abzuleiten und den Stollenabschnitten der Abzweigungen I—IV zuzuleiten (s. a. Abb. 18).

Wie bereits mehrfach aufgezeigt, weist die Höttlinger Breccie großteils einen wesentlich höheren Verkarstungsgrad auf, als das Trias-Grundgebirge: Neben deutlich aufgeweiteten Klüften und Schichtflächen kann es innerhalb der Breccie zur Hohlräumbildung in großem Stil kommen. An der Oberfläche nennt man diese Erscheinungen im Volksmund »Gufeln«, im Berginneren

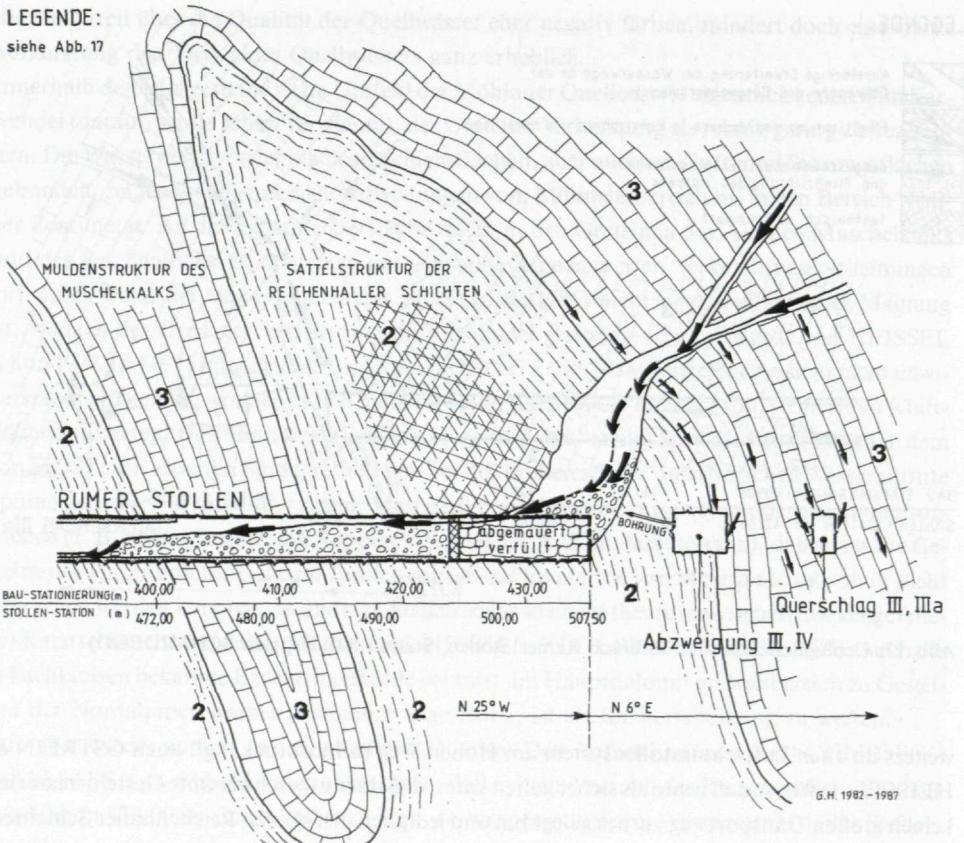


Abb. 18: Geologischer Schnitt Verbruch Rumer Stollen, Station 505.00 (Interpretation augrund der neuen Erkenntnisse unter Mitdarstellung der hydrogeologischen Verhältnisse)

handelt es sich demgegenüber um »Grotten« oder Höhlen. Mit derartiger Grottenbildung ist in der Höttinger Breccie immer wieder zu rechnen, wenn man bedenkt, daß beim Bau des Rumer Stollens die große — schon mehrfach beschriebene — Grotte, sowie eine weitere mit dem alten Klammbachstollen angetroffen wurde (s. a. Abb. 12).

Zusammenfassend zur Gufel- und Grottenbildung innerhalb der Breccie läßt sich sagen, daß diese u. a. in Abhängigkeit von der Wasserführung innerhalb der Breccie an deren Basis im Kontakt zum Triasfels oder in einem anderen Niveau innerhalb der Breccie erfolgen kann. Jedenfalls scheint vor allem die Grenze der Höttinger Breccie zum Grundgebirge besonders häufig und ausgeprägt verkarstet zu sein und begünstigt so die Wasserwegigkeit deutlich. Daher stellt diese Gesteinsgrenze einen stark wirksamen hydrogeologischen Faktor dar. Dieser Tatsache kommt umso mehr Bedeutung zu, als daß gerade die Aufschlüsse im Rumer Stollen zwischen Station 248.00 und 265.00 eine Zunahme der Wasserwegigkeit der Höttinger Breccie im Zeitraum von lediglich vier Jahrzehnten zeigen (s. a. Abb. 16).

## 5.5 Die geologisch-tektonischen Position der Mühler Quellaustritte als Sammelstelle der Bergwässer der Inntaldecke im Bereich der Innsbrucker Nordkette:

Betrachtet man die Innsbrucker Nordkette, so drängt sich einem sehr rasch die Frage auf, warum die Mühlauer Quellen gerade an der Stelle im Bereich der Arzler Reise entspringen, wo sie eben heute gefäßt sind, und nicht wo anders, sei es nun irgendwo höher oder tiefer entlang der Arzler Reise, oder gar an einer ganz anderen Stelle am Südabhang der Innsbrucker Nordkette. So ist es auf den ersten Blick eher verwunderlich, daß beispielsweise im Höttlinger Graben keine größeren Quellen auftreten, bzw. daß eigentlich der gesamte Bereich des Südabhangs der Nordkette zwischen Kranebitter Klamm im Westen und etwa der Linie Rum-Wildanger Spitze im Osten frei ist von bedeutenden Quellen, sieht man von den Mühlauer Quellen ab. Es lohnt sich daher, dieser hydrogeologischen Fragestellung aus geologischer und strukturgeologischer Sicht nachzugehen.

Beginnen wir daher zuerst mit allgemeinen Betrachtungen, so stellen wir fest, daß es u. a. dann zu Quellaustritten des Bergwassers kommen kann, wenn ein durch die Erosion bedingter Hanganschnitt in Verbindung mit wasserstauenden Faktoren des Gebirgsbaues das in den Wasserleitern vorhandene Bergwasser zum Austritt an die Erdoberfläche zwingt. Dies kann als isolierter Einzelfall geschehen, oder es reiht sich in verschiedenen Niveaus eine Quelle an die andere, und zwar je nach Lage der flächig angeordneten Wasserstauer, bei denen es sich beispielsweise um die Deckengrenze, um Gesteine des Alpinen Buntsandsteins, um Moränenmaterial oder um die durch Lockersedimentüberlagerung oder Hangbreccien verdeckte Felsoberkante handeln kann, wobei man in diesem Fall von »Quellhorizonten« spricht.

Obwohl an der Basis der Inntaldecke zwischen Kranebitter Klamm und Törl zahlreiche, meist allerdings kleine bis sehr kleine Quellen in der selben geologisch-tektonischen Position wie die Mühlauer Quellen entlang einem Quellhorizont angeordnet sind, sind die Mühlauer Quellen als Einzelfall anzusehen, dominieren sie doch hinsichtlich ihrer Schüttung den Bereich des Südabhangs der Innsbrucker Nordkette. Wie kommt es also zu einem derart gebündelten Austritt von Bergwässern im Gebiet zwischen Schusterreise und Arzler Reise? Das Zusammentreffen folgender Faktoren kommt hiefür zum Tragen:

\*) Aufgrund ihres geologisch tektonischen Baues stellt die Inntaldecke eine große geologische Einheit mit zwei bedeutenden hydrogeologischen Stockwerken dar. Die Wässer des höheren hydrogeologischen Stockwerks entwässern großteils in die mit verfaltetem Hauptdolomit verfüllte Depression der Seefelder Quereinmuldung und speisen damit in der Folge teilweise die Grundwässer des Inttales. Das tiefere hydrogeologische Stockwerk, aus dem die Mühlauer Quellen ihre Wässer beziehen, ist als besonders mächtig anzusehen, wobei die Bergwässer nur an wenigen Stellen die Erdoberfläche erreichen. Ein Großteil dieser Bergwässer rinnt ebenfalls in Richtung Seefelder Senke.

\*) Im Bereich der Nordkette verhindern die basalen wasserstauenden Gesteine der Inntaldecke und die nach Norden einfallende wasserstauende Deckengrenze (s. a. Abb 9, 12) staumauerartig ein großflächiges Abfließen des Bergwassers des tieferen hydrogeologischen Stockwerks nach Süden ins Inntal. Auch den wasserstauenden Gesteinen des tektonischen Untergrundes der Inntaldecke (Nordalpine Raibler Schichten der Thaurer Schuppe, weiter im Norden unter der In-

taldecke vermutlich vor allem auch tonige Juragesteine) kommt bei der Basisabdichtung der Inntaldecke besondere Bedeutung zu, wodurch der »Staumauereffekt« voll wirksam werden kann. Den Abbildungen der vorliegenden Arbeit ist zu entnehmen, daß die »Krone der Staumauer« nördlich der Mühlauer Quellen anzunehmen ist, wofür die Höhe der Aufschlüsse der Thaurer Schuppe am Südabhang der Innsbrucker Nordkette spricht (im Gebiet der Zunterköpfe bis über 1900 Meter ü. A., im Gebiet der Rumer Alm in 1240 m ü. A., nördlich des Höttinger Bildes und im Höttinger Graben (Lehner Stollen) in 1180 bis 1300 m. ü. A.). Damit liegt diese »Krone« beispielsweise knapp nördlich unterhalb des Brandjochs, bzw. etwa unterhalb der Seegrube, bzw. etwa knapp südlich unterhalb der Arzler Scharte. Dafür sprechen nicht zuletzt auch die Aufschlüsse der basalnen Gesteine der Inntaldecke, im Kern der Solstein-Aufwölbung, die intensiv miteinander verfaltet sind und deren multivergentes Erscheinungsbild nicht zuletzt ihre Ursache auch in dem Strukturbild des tektonischen Untergrundes hat.

\*) Der Bereich der Arzler Reise und der Schusterreise bildet eine nach Norden deutlich eingetiefte Erosionsrinne. Dadurch reicht die wasserstauende Deckengrenze der Inntaldecke in relativ geringer Höhe sehr nahe, z. T. sogar unmittelbar an die wasserführenden Gesteine des Alpinen Muschelkalks des tieferen hydrogeologischen Stockwerks der Inntaldecke heran.

\*) Die etwa Ost-West streichende Schichtung der Gesteine der Inntaldecke leitet in Verbindung mit den Klüften und Störungen die Bergwässer vor allem aus dem Osten, aber auch aus dem Norden und sogar aus westlicher Richtung über große Distanzen zu der nach Norden deutlich eingetieften Erosionsrinne der Arzler Reise und der Schusterreise und damit zu den Quellaustrittstellen. Über das Kluft- und Störungsnetz können vor allem aus den weit im Norden, aber auch im Westen liegenden Bereichen des Einzugsgebietes die Bergwässer zu den Quellaustrittstellen herangeführt werden. Sowohl im Luftbild, als auch im Gelände sind Störungen, wie beispielsweise die Schusterreisenstörung, in ihrem Verlauf klar erkennbar. Sie zielen genau auf die nach Norden eingetiefte Erosionsrinne der Schusterreise und der Arzler Reise hin und führen so Bergwässer, die ansonsten nicht mehr den Austrittstellen zufließen könnten, den Mühlauer Quellen in bedeutender Menge direkt und mehr oder weniger gebündelt zu. Eine bedeutende Störung von den Mühlauer Quellen über die Arzler Scharte nach Norden läßt sich jedoch nicht auskartieren.

Man sieht also, daß das Zusammenspiel von morphologischen Faktoren mit struktureogeologischen Faktoren des tektonischen Untergrundes der Inntaldecke einerseits, mit struktureogeologischen Faktoren der Inntaldecke selbst andererseits, sowie schließlich auch mit lithologischen Faktoren (Gesteinsbeschaffenheit) zu dem an der Innsbrucker Nordkette einzigartigen Umstand führt, daß ein mächtiger und ausgedehnter Bergwasserkörper mit einem großen Einzugsgebiet im Wesentlichen gebündelt an einer einzigen Stelle über mächtige Quellaustritte entwässert.

## 5.6. Die Einzugsgebiete der einzelnen Quellwässer aus geologischer Sicht

### 5.6.1 Allgemeines

Die detaillierte geologische Bearbeitung des Gebietes der Mühlauer Quellen sowohl unter Tage als auch ober Tage erlaubt genaue Aussagen über die Einzugsgebiete der Quellwässer aus geologischer Sicht. Die Richtigkeit dieser Aussagen — und somit auch die Richtigkeit des geologi-

schen Gebirgsmodells — konnte zudem durch den im Herbst 1986 vom Institut für Geothermie und Hydrogeologie/Forschungsgesellschaft Joanneum in Zusammenarbeit mit dem zum damaligen Zeitpunkt bei der Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr/Innsbruck als Geologe beschäftigten Verfasser durchgeführten Markierungsversuch nachgewiesen werden (HEISSEL, RAMSPACHER & RIEPLER, 1987).

Damit konnte in den letzten Jahren das von HEISSEL entwickelte tektonische Gebirgsmodell in zweifacher Hinsicht seine Bestätigung finden. Einerseits zeigt der alte Bergbau an der Innsbrucker Nordkette und im übrigen Karwendel in der Art und Weise seiner Anordnung das Wesen des Gebirgsbaues klar auf (GSTREIN & HEISSEL, 1989, 1990), andererseits bestätigen gerade Färbeversuche nicht nur die Vorstellungen von den hydrogeologischen sondern vor allem auch von den damit in engem Konnex stehenden strukturenlogischen Gebirgsverhältnissen. Nun aber zu den Einzugsgebieten der Quellwässer im Einzelnen:

#### 5.6.2 Die Einzugsgebiete der Wässer des Wurmbachstollens, Klammbachstollens und des Sammelstollen im Bereich von Station 136.00—168.00

Die Wässer dieser drei Stollenabschnitte beziehen ihre Wässer großteils aus dem Gebiet der Herzwiese. Zusätzlich sind auch Tiefenwässer aus dem Gebirge an den Quellen beteiligt. Der Anteil von Bergwässern aus Gesteinen der Thaurer Schuppe ist vernachlässigbar gering. Auch diese Wässer sind jedoch als Tiefenwässer zu bezeichnen.

#### 5.6.3 Die Einzugsgebiete der Wässer im Sammelstollen zwischen Station 470.00 und 500.00, sowie im Rumer Stollen im Abschnitt zwischen dem Kreuzungspunkt mit dem Sammelstollen und Station 265.00

Diese Stollenabschnitte liegen in der Höttinger Breccie, z. T. nahe, z. T. direkt an der Grenze zum Grundgebirge. Wässer treten — sichtbar oberhalb des Gerinnes — nur sporadisch auf, sieht man vom Rumer Stollen zwischen Station 248.00 und 265.00 ab, wo sie ständig fließen. Daher läßt sich ableiten, daß die Wässer zum Teil der oberflächennahen, mit ihren teils stark aufgeweiteten Wasserwegen und Grottenbildungen als zum Teil stark verkarstet zu bezeichnenden Höttinger Breccie entstammen, teils auch aus dem Grundgebirge (Überlauf bei besonders hohem Bergwasserandrang).

#### 5.6.4 Das Einzugsgebiet der Wässer im hinteren Rumer Stollen und in dessen Abzweigungen I—IV

Dieser Stollenabschnitt liefert den Hauptanteil des Innsbrucker Trinkwassers. Aus geologischer Sicht sind ausschließlich Tiefenwässer des Gebirges vorstellbar, ein kurzzeitiger Andrang oberflächennaher Wässer aus dem Gebiet des Nordkettensüdabhangs ist nicht denkbar. Daß die Tiefenwässer eine hohe Verweildauer im Gebirge besitzen und teilweise aus weit entfernten Gebirgsabschnitten stammen, liegt auf der Hand und wurde vorstehend bereits erläutert.

#### 5.6.5 Das Einzugsgebiet der Wässer im Neuen Rumer Stollen und der Quellgruppe der »Schleierfälle« und »Am Ursprung«

Diese Wässer entstammen zum größten Teil der oberflächennahen, immer wieder stark verkarsteten Höttinger Breccie (stark aufgeweiteten Wasserwege, Grottenbildung).

### 5.6.6 Die Einzugsgebiete der Wässer im Alten Klammstollen

Auch diese Wässer entstammen zu einem großen Teil der oberflächennahen, zum Teil stark verkarsteten Höttinger Breccie, die ja gerade auch im Alten Klammstollen selbst stark aufgeweitete Wasserwege und Grottenbildung zeigt. Ein Teil der Wässer dürfte aus dem Bereich der Herzwiese kommen, wobei der größte Teil davon seit dem Bau des Wurmbachstollens dem Alten Klammstollen, aber auch den Schleierfällen nicht mehr zufließen kann.

### 5.7 Das oberflächliche und unterirdische Gesamteinzugsgebiet der Mühlauer Quellen einschließlich der Wässer des Neuen Rumer Stollens, des Alten Klammstollens und der ungefaßten Quellaustritte im Nahbereich der Mühlauer Quellen im Mühlauer Graben, und die Verweildauer der Wässer im Gebirge (s. a. Abb. 1—3, 9)

Wie schon vorstehend detailliert beschrieben wurde, muß das oberflächliche und das unterirdische Einzugsgebiet der Quellwässer der Mühlauer Quellen nach morphologischen, vor allem jedoch nach geologisch-tektonischen Gesichtspunkten erfaßt und eingegrenzt werden. Hinzu kommen wichtige hydrologische Daten wie Quellschüttungen, Wassertemperatur, pH-Wert und Wasserhärte, wie sie für die Mühlauer Quellen und die anderen Quellen der Stadt Innsbruck durch das Wasserwerk seit vielen Jahren, und für die meisten Quellen des Karwendels durch eigene Messungen zwischen 1974 und 1982 zur Verfügung stehen. Dabei zeigt sich, daß im Unterschied zu den Karstgebieten Ostösterreichs in den kalkalpinen Tiroler Gebirgen mit komplizierter Decken- und Schuppentekonik von den durch den geologisch-tektonischen Gebirgsbau bedingten Verhältnissen auf die oberflächlichen und unterirdischen Einzugsgebiete geschlossen werden muß. Ein abschließender Vergleich mit den aufgrund der Niederschlagswerte geschätzten Flächenangaben der Einzugsgebiete zeigt die Richtigkeit dieser Methode auf.

Nun zu den Einzugsgebieten der Mühlauer Quellen: Die Mühlauer Quellen und alle weiteren Quellen in ihrem nahen Umfeld entspringen im Südflügel der Angerhüttl-Stempeljoch Mulde direkt an der Deckengrenze der Inntaldecke. Während die Faltenachse der Angerhüttl-Stempeljoch Mulde vom Stempeljoch bis ins Mandltal nur langsam nach Westen eintaucht, verstärkt sich dieses Abtauchen im Raum Angerhüttl-Kristental deutlich. Ab hier, also unweit westlich der Jagdhütte Runboden liegen im Muldenkern die sich gegen Westen rasch verbreiternden Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten. Die so muldenförmig deformierten und als Wasserräuber geltenden Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten funktionieren wie eine Dachrinne, in deren Einflußbereich vom Mandltal (ab dem Angerhüttl) gegen Westen mehr und mehr alle Niederschlagswässer in Richtung der Seefelder Quereinmuldung abgeleitet, d. h. von den Mühlauer Quellen weggeleitet werden.

Auch im Südflügel der Stempeljoch-Angerhüttl Mulde, also im Bereich der Nordkette weisen alle Strukturen mehr und mehr nach Westen, wodurch spätestens etwa westlich der Linie Seegrubenspitze-Grubreisentürme die Wässer im Gebirge in westliche Richtung abfließen müssen (s. Abb. 1, 2).

Nördlich der Gleirsch-Hallalkette, als nördlich von Hohem Gleirsch, Großem Lafatscher und der Speckkarspitze ziehen aus dem Vomper Loch über das Überschalljoch, den Haller Anger und das Gebiet Lafatscher Hochleger-Hinterödalm muldenartig eingefaltete Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten in das Hinterautal und weiter gegen Westen in den Nordrand der See-

felder Quereinmuldung bei Scharnitz. Auch diese dachrinnenartig gebogenen Raibler Schichten tauchen beständig in westliche Richtung ein, freilich langsamer und gleichmäßiger als die südlicher gelegene »Dachrinne« der Stempeljoch-Angerhütte Mulde. Die nördlichere Dachrinne leitet also ihre Wässer ebenfalls weg von den Mühlauer Quellen in Richtung Seefelder Quereinmuldung (s. Abb. 2). Auch im Bereich Hochkanzel-Reps bildet sich eine weitere Muldenstruktur heraus, die mit dem Jagdgraben nahe der Kastenalm wiederum wasserstauende Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten in ihrem Faltenkern aufweist. Der Tiefgang dieser »Dachrinnen« im Gebirge ist beträchtlich (s. Abb. 9) und so wird klar, daß aus dem Bereich der nächstnördlicheren Karwendelkette, der sogenannte Hinterautalkette keine Wässer die Mühlauer Quellen mehr erreichen können. Also kann man sagen, daß der südliche Rand der aus dem Vomper Loch in Richtung Scharnitz ziehenden »Dachrinne«, das ist also im wesentlichen der nördliche Wandfuß der Gleirsch-Halltalkette, vielleicht sogar nur deren Grat das Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen gegen Norden begrenzt.

Die Nordkette und die Gleirsch-Hallalkette werden im Bereich der Pfeiser Spitze und der Hinteren Bachofenspitze durch einen in Nord-Süd-Richtung gewundenen Gebirgsgrat verbunden, dessen markanteste Gipfel die Stempeljochspitze und der Roßkopf sind. Dieser Verbindungsgrat trennt die Pfeis vom Issanger bzw. Isstal und Halltal ab. Auch geologisch ist das Gebiet Issanger-Isstal-Karteller Jöchl-Halltal vom Gebiet der Pfeis abzutrennen. Während der Grat der Wildanger Spitze als Teil der Nordkette, der Verbindungsgrat zwischen Pfeiser Spitze und Hinterer Bachofenspitze, sowie der gesamte Grat der Gleirsch-Hallalkette bis in das Gebiet der Walder Alm zur Inntaldecke zu rechnen ist, wird der Gebirgsstock des Haller und Thaurer Zunterkopfs sowie das Karteller Jöchl von Gesteinen der Thaurer Schuppe aufgebaut. Lediglich im Bereich des Thaurer Zunterkopfs und am Karteller Jöchl liegen auf diesen Gesteinen kleine Deckschollenreste der Inntaldecke auf. Tektonisch am tiefsten sind demnach die Gesteine des Haller Salz- und Haselgebirgsstocks, die auch Gesteine des Alpinen Buntsandsteins und der Reichenhaller Schichten führen (s. a. GSTREIN & HEISSEL, 1989). Hydrogeologisch ist gerade der Salz- und Haselgebirgsstock, der nach Westen mit seinen Ausläufern zumindest bis unter das Stempeljoch die Gesteine der Inntaldecke unterlagert (Schürflinge der Reichenhaller Schichten innerhalb des Wettersteinkalks knapp östlich des Stempeljochs), mit seinen wasserstauenden Gesteinen ebenfalls von den wasserleitenden Gesteinen der Inntaldecke (im wesentlichen Wettersteinkalk) abzutrennen. Damit läßt sich auch gegen Osten etwa mit dem Verbindungsgrat Pfeiser Spitze-Hinterer Bachofenspitze oder knapp östlich davon das Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen begrenzen. Auch die Südgrenze ist klar zu definieren: Nachdem die Mühlauer Quellen ihr Wasser, abgesehen von vernachlässigbaren kleinen Mengen aus Gesteinen der Thaurer Schuppe ausschließlich aus dem hydrogeologischen Stockwerk der Inntaldecke beziehen, müssen alle Gebiete unterhalb der nach Norden einfallenden Deckenbasis aus dem Einzugsbereich der Mühlauer Quellen ausgeklammert bleiben (dies betrifft also das Gebiet der Thaurer Schuppe). Somit bildet die basale Überschiebungsstörung der Inntaldecke, in gewundener Linienführung vom Törl im Osten über die Thaurer Alm und Vintlalm gegen Westen bis zur Umbrückler Alm ziehend, im Wesentlichen die Südgrenze. Gerade das etwa kammparallele Schichtstreichen läßt mit Sicherheit zu, daß aus dem über 4 Kilometer entfernten Wildangerstock noch Wässer den Quellen im Mühlauer Graben zugeführt werden. Es ist weiters davon auszugehen, daß die Südgrenze etwa im Bereich der

Arzler Alm das Niveau der Deckengrenze verläßt, und in der Folge den Hang gegen Westen ansteigend knapp nördlich der Seegrube in Richtung Seegrubenspitze zieht, wo sie sich mit der Westgrenze (Seegrubenspitze-Grubreisentürme-Hinterödkopf/Jägerkarlspitze) vereinigt. Dieses Ansteigen der Südgrenze des Einzugsgebietes von der Arzler Alm zur Seegrubenspitze liegt darin begründet, daß — wie vorstehend bereits beschrieben — im Wesentlichen alle Strukturen (Schichtstrecken, Faltenachsen) ein Abfließen der Bergwässer bereits unweit westlich der Mühlauer Quellen in Richtung Seefelder Quereinmuldung bewirken. Nur Nordwest-Südost-Störungen, wie beispielsweise die Schusterreisenstörung vermögen bedeutende Bergwassermengen aus Gebieten westlich des Mühlauer Grabens den Mühlauer Quellen zuzuführen.

Das unterirdische Einzugsgebiet ist weitgehend mit dem oberirdischen ident. Sollten die unterirdischen geologisch-tektonischen Verhältnisse an der Basis der Inntaldecke in den zentralen Bereich der Inntaldecke, also nördlich der Nordkette ähnlich sein, wie sie überall im Karwendel ober Tage aufgeschlossen sind, so kann man davon ausgehen, daß die Deckenbasis auch in großer Tiefe nicht nur eine tektonische, sondern auch eine hydrogeologische Trennlinie im Gebirge darstellt. Der Fall, daß also irgendwo im Bereich des zentralen Karwendels, beispielsweise tief unter der Pfeis oder unter dem Hinterautal die hydrogeologischen Stockwerke der Inntaldecke mit tieferen hydrogeologischen Stockwerken des tektonischen Untergrundes in nennenswertem Ausmaß korrespondieren, ist demnach unwahrscheinlich. Es ist also davon auszugehen, daß das unterirdische Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen keinesfalls größer ist, als das oberirdische. Hingegen ist sogar zu erwarten, daß das Einzugsgebiet gegen die Tiefe hin — sollen die tieferen Bergwässer in der Lage sein, den Quellen zuzufließen — gegenüber dem oberflächlichen Einzugsgebiet mehr und mehr kleinere flächenmäßige Ausdehnung erlangt (s. a. Abb 9). Ein dermaßen abgegrenztes Oberflächeneinzugsgebiet besitzt eine Ausdehnung von ca. 25 km<sup>2</sup>, was mit den Niederschlagswerten im Karwendel sehr gut übereinstimmt. Man kann zusammenfassend sagen, daß die Bergwässer zur Hauptsache den alten ehemaligen, im Jungtertiär entstandenen Landoberflächen der Pfeis und des Grubachs entstammen und entgegen der nach Westen abtauchenden Achse der Angerhüttl-Stempeljoch Mulde durch steil stehende Störungen mit Nordwest-Südost-Verlauf (die Haupstörung dieses Störungssystems ist die vom oberen Mandltal über das Gleirschjöchl und die Schusterreise zu den Mühlauer Quellen verlaufende Schusterreisenstörung) zurück nach Südosten zu den Quellenaustritten im Mühlauer Graben geleitet werden.

Die entferntesten Bergwässer, die den Mühlauer Quellen zufließen, stammen demnach aus dem Gebiet der Gleirsch-Hallalkette, also etwa aus dem ca. 5 km (Luftlinie) entfernten Areal zwischen Jägerkarlspitze und Bachofenspitze. Ähnlich verhält es sich mit den Wässern aus dem Areal Lattenspitze-Wildangerspitze. Diese, bereits mehrfach als »tiefe Bergwässer« bezeichneten Wasservorkommen fließen tief im Berginneren vor allem dem Rumer Stollen (im Bereich von Station 507.80 — Stollenende — und den Abzweigungen I bis IV) zu, was auch schon aus den vorstehenden Erläuterungen mehrfach hervorgeht. Somit ist der größte Teil der Wässer der Mühlauer Quellen als tiefes Bergwasser zu bezeichnen.

Für die sogenannten tiefen Bergwässer ist demnach eine sehr hohe, vermutlich bis zu mehreren Jahren messende Verweildauer im Gebirge anzunehmen. Das Schüttungsverhalten der Quellen, nämlich Minimum Februar, März, April und Maximum Juli, August, September als Verzöge-

rungsfaktor zwischen Niederschlag und Quellenaustritt hat daher nur insoferne mit der Verweildauer der Wässer im Gebirge zu tun, als daß dadurch die Zeitdauer angegeben wird, die durch die Schneeschmelze und die frühsommerlichen Starkniederschläge benötigt wird, den gewaltigen Bergwasserpolster vor sich herzuschieben und die Durchflußmenge- und geschwindigkeit drastisch zu erhöhen. Das mit einem vollgesaugten Schwamm vergleichbare Gebirge entwässert dadurch mit mehrmonatiger Verzögerung einmal mehr, einmal weniger stark.

Somit zeigt sich eindeutig, daß der Hauptanteil an den Wässern der Mühlauer Quellen, nämlich die tiefen Bergwässer ein wohl hervorragendes und für eine Großstadt wie Innsbruck einzigartiges Quellwasser mit hoher Verweildauer im Gebirge und absolut gewährleisteter hygienischer Sicherheit darstellt!

Zur Größe des Einzugsgebietes der Mühlauer Quellen ist weiters festzustellen, daß man früher immer wieder von der Annahme ausging, daß dieses Einzugsgebiet — wie nachstehend aufgezeigt werden soll — wesentlich ausgedehnter sein müßte; man glaubte an eine Einzugsgebietsgröße von bis zu etwa 50 km<sup>2</sup>. Nicht zuletzt resultierte daraus das für den Haller Salzbergbau in der Folge so verhängnisvolle Fehlurteil über die angeblichen hydrogeologischen Zusammenhänge zwischen den Mühlauer Quellwässern und den Wässern im Zunterkopfgebiet, aufgrund dessen der Vortrieb des Karl-Buresch-Stollens eingestellt werden mußte, nachdem man aufgrund bedeutender Wasserzutritte in diesem Stollen bei Station 730.00—740.00 der Ansicht war, es könne sich um Wässer handeln, die bisher den Mühlauer Quellen zugeflossen wären (s. a. GSTREIN & HEISSEL, 1989). Mit dem heutigen Wissen über den Gebirgsbau kann man hingegen sehr exakt sagen, daß die Quellwässer des Karl-Buresch-Stollens bei Thaur ein in der Thaurer Schuppe liegendes tieferes hydrogeologisches Stockwerk entwässern, als die Mühlauer Quellen, die ihr Einzugsgebiet im unteren hydrogeologischen Stockwerk der Inntaldecke haben (vgl. HEISSEL in: GSTREIN & HEISSEL 1989). Dabei sei nochmals darauf verwiesen, daß als unteres hydrogeologisches Stockwerk der Inntaldecke jenes zu verstehen ist, das zwischen den Ablagerungen des Alpinen Buntsandsteins und der Nordalpinen Raibler Schichten liegt, wohingegen das obere hydrogeologische Stockwerk die Bergwässer im Hauptdolomit, also oberhalb der wasserstauenden Schieferthonhorizonte der Nordalpinen Raibler Schichten betrifft.

Daß das Einzugsgebiet der Mühlauer Quellen bei weitem nicht so groß sein kann, wie früher angenommen, geht unter anderem auch aus der bedeutenden Anzahl weiterer Großquellen hervor, die zusätzlich zu den Mühlauer Quellen im Karwendel entspringen. Teilweise sind diese Großquellen schüttungsmäßig kleiner als die Mühlauer Quellen, teils aber weisen sie ähnlich große Schüttungen auf.

Nachfolgend soll eine übersichtliche Auflistung der wichtigsten Großquellen des Karwendels den Reichtum an hervorragenden Bergwässern dieses Gebirges veranschaulichen. Diese Auflistung beinhaltet jedoch nicht Quellen im Bereich der Seefelder Senke und läßt auch Quellen im Ostkarwendel und aus der Gnadenwaldterrasse unberücksichtigt. Alle aufgelisteten Quellen wurden vom Verfasser seit 1974 zum Teil mehrere Jahre lang hydrogeologisch beobachtet und durch detaillierte geologische und strukturgeologische Bearbeitung in Bezug auf Gebirgsbau, Einzugsgebiet u. a. m. eingeordnet. Schüttungsmäßig soll in nachstehender Auflistung nur Unterschiede werden zwischen Durchschnittswerten über 500 l/s und solchen unter 500 l/s. Die

Angaben über das Einzugsgebiet beziehen sich auf das oberflächliche Einzugsgebiet, das jedoch in allen Fällen auch mit dem unterirdischen Einzugsgebiet im wesentlichen übereinstimmt.

- 1) Quellen im Bereich der Mühlauer Quellen einschließlich der Mühlauer Quellen selbst: größer 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke, sowie zu einem vernachlässigbar geringem Anteil auch Wässer aus der Thaurer Schuppe; entspringen an der Basis der Inntaldecke.
- 2) Sprengmittelstollenquelle: kleiner 500 l/s; entwässert das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringt nahe der Deckenbasis; aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Martinswand — Hechenberg.
- 3) Meilbrunnenquellen: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringen nahe der Deckenbasis, aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Martinswand — Hechenberg.
- 4) Quellen im Höttinger Graben: kleiner 500 l/s; entwässern unterhalb der Inntaldecke liegende hydrogeologische Einheiten der Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone; oberirdisches Einzugsgebiet Südabhang der Nordkette unterhalb der Basis der Inntaldecke.
- 5) Quellen unterhalb der Hungerburg: kleiner 500 l/s; entwässern unterhalb der Inntaldecke liegende hydrogeologische Einheiten der Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone, weiters teilweise auch die Höttinger Breccie; oberirdischer Einzugsbereich Südabhang der Nordkette unterhalb der Basis der Inntaldecke.
- 6) Quellen im Raum Thaur einschließlich der Quellaustritte im Karl-Buresch-Stollen: kleiner 500 l/s; entwässern unterhalb der Inntaldecke liegende hydrogeologische Einheiten der Thaurer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone; oberirdisches Einzugsgebiet Gebirgsstock der Zunterköpfe.
- 7) Quellen aus den Stollen des Haller Salzbergbaues: kleiner 500 l/s; entwässern möglicherweise zum Teil das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke, vor allem jedoch unter der Inntaldecke liegende hydrogeologische Einheiten der Thauerer Schuppe der Karwendel-Schuppenzone; oberirdisches Einzugsgebiet Zunterköpfe, Karteller Jöchl, eventuell auch Wildangergebiet.
- 8) Quellen am Issbach: kleiner 500 l/s; entwässern ein hydrogeologisches Stockwerk der Thaurer Schuppe; oberirdisches Einzugsgebiet Karteller Jöchl.
- 9) Quellen im Bereich Bettelwurfeck: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringen an der Deckenbasis der Inntaldecke, aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdischer Einzugsbereich Gebirgsstock Lafatscher — Bettelwurfgebiet.
- 10) Amtssägequellen: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Gebirgsstock des Hohen Gleirsch.
- 11) Quellen am Ausgang des Kleinen Kristentales: kleiner 500 l/s; entwässern das höhere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Widdersberg — Kleines Kristental.

- 12) Quellen im Hinterautal zwischen Hinterkarbach und Ödkarbach: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Vomper Kette (Südhänge zwischen Larchetkarspitze und Marxenkarspitze).
- 13) Quellen im Hinterautal zwischen Ödkarbach und Birkkarbach einschließlich der Isarquellen: etwa 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Vomper Kette, teils auch Schwarzenwandgebiet.
- 14) Quellwässer aus dem Bergaugebiet von Lafatsch: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Reps-Hochkanzel.
- 15) Quelle Lafatscher Hochleger: kleiner 500 l/s; entwässert das höhere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Gschnierköpfe — Raum Lafatscher Hochleger.
- 16) Zwerchlochquelle: kleiner 500 l/s; entwässert das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Lamsenspitze — Huderbank/Hochglück — nördliche Abschnitte von Ödkarl, Spritzkar, Grubenkar, eventuell nördliche Abschnitte des Roßlochs.
- 17) Bollenbachquelle: kleiner 500 l/s; entwässert das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringt an ihrer Deckenbasis; aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Gebirgsstock des Hochnissl und der Mittagsspitze.
- 18) Stubbachquellen: kleiner 500 l/s; entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringen an ihrer Deckenbasis; aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Hirschkopf — Fiechter Spizte.
- 19) Stallenbodenquellen: kleiner 500 l/s; entwässern verschiedene hydrogeologische Einheiten mehrerer Schuppen der Karwendel-Schuppenzone, oberirdisches Einzugsgebiet Rauher Knöll — Brentenkopf, weiters Gebirgsstock nördlich der Mittagsspitze unterhalb der Basis der Inntaldecke.
- 20) Quelle »Die Spritz«: kleiner 500 l/s; entwässert das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke; entspringt an ihrer Deckenbasis; aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Nordabhang der Vomper Kette zwischen Pleisenspitze und Breitgrieskarspitze.
- 21) Angeralmquelle: kleiner 500 l/s; entwässert eine hydrogeologische Einheit der Karwendel-Schuppenzone unweit oberhalb der nächsttieferen hydrogeologischen Einheit der Lechtaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Bäralkopf — Vogelkarspitze.
- 22) Quellen im Karners Loch: etwa 500 l/s, entwässern das tiefere hydrogeologische Stockwerk der Inntaldecke, entspringen an ihrer Deckenbasis; aufgrund ihrer strukturgeologischen und hydrogeologischen Position vergleichbar mit den Mühlauer Quellen; oberirdisches Einzugsgebiet Nordabhang der Vomper Kette zwischen Breitgrieskarspitze und Birkarspitze.
- 23) Quellen zwischen der Falkenreisen und dem Kleinen Ahornboden: größer 500 l/s; entwässern verschiedenen hydrogeologischen Einheiten mehrerer Schuppen der Karwendel-Schuppenzone; oberirdisches Einzugsgebiet Grabenkarspitze — Kuhkopf — Talelespitze, weiters im westlichen Gebirgsstock zwischen Spieljoch und Risser Falk, weiters Gebiet nördlich der Vomper Kette unterhalb der Inntaldecke zwischen Hochalmsattel und Spieljoch.

24) Quellen am Großen Ahornboden: etwa 500 l/s; entwässern verschiedene hydrogeologische Einheiten mehrerer Schuppen der Karwendel-Schuppenzone; entspringen unweit oberhalb der nächsttieferen hydrogeologischen Einheit der Lechtaldecke; oberirdisches Einzugsgebiet Gebirgsstock des Gamsjochs und der Ruederkarspitze, weiters der Gumpenspitze, weiters Gebiet nördlich der Vomper Kette unterhalb der Inntaldecke, eventuell auch Teile des Gebirges östlich des Engtales.

Die vorstehend gezeigte Auflistung der wichtigsten Großquellen im Karwendel ist in zweifacher Weise wertvoll:

Zum einen wird offensichtlich, daß das im Wasserrechtsbescheid ZL. IIIal-32/42-1957 vom 7. März 1957 (Wasserrechtsbehörde, Amt der Tiroler Landesregierung) ausgewiesene Gebiet für mögliche unterirdische Zuflüsse zu den Mühlauer Quellen um ein Vielfaches zu groß angenommen wurde. Nach den Ansichten des damaligen geologischen Sachverständigen (KLEBELSBERG), der noch von ganz anderen Vorstellungen den Gebirgsbau betreffend ausgegangen ist, verläuft die Westbegrenzung des Einzugsgebietes vom Höttinger Graben über die Frau Hitt zur Amtssäge und von dort geradlinig weiter in Richtung Schönbergspitze bis zum Karwendelbach. Die Nordgrenze zieht sich entlang dem Karwendelbach bis zur Hochalm, weiters geradlinig zum Spielißjoch und zum Hohljoch. Die Ostgrenze verläuft demnach ebenfalls geradlinig vom Hohljoch nach Süden bis zum Weißenbach in Richtung Hall. Die vorstehende Quellaufstellung zeigt jedoch klar, daß die überwiegende Anzahl der insgesamt 24 Großquellen bzw. Quellgruppen in dem Gebiet entspringen, das im Bescheid von 1957 für die Mühlauer Quellen allein in Anspruch genommen wird. Es sind dies folgende Quellen und Quellgruppen: die Quellen im Höttinger Graben (zumindest teilweise), die Quellen unterhalb der Hungerburg (zumindest teilweise), die Quellen im Raum Thaur einschließlich der Quellaustritte im Karl-Buresch-Stollen, die Quellen aus den Stollen des Haller Salzbergbaues, die Quellen am Issbach, die Quellen im Bereich des Bettelwurfecks (zumindest teilweise), die Amtssägequellen, die Quellen am Ausgang des Kleinen Kristentales, die Quellen im Hinterautal zwischen Hinterkarbach und Ödkarbach, die Quellen im Hinterautal zwischen Ödkarbach und Birkkarbach einschließlich der Isarquellen, die Quellwässer aus dem Bergaugebiet von Lafatsch, die Quelle Lafatscher Hochleger, die Quelle »Die Spritz«, die Quellen Karners Loch sowie teilweise die Quellen zwischen der Falkenreisen und dem Kleinen Ahornboden.

Andererseits wird klar aufgezeigt, daß die Mühlauer Quellen im Karwendel nicht einzigartig sind, wenngleich sie zu den größten Quellaustritten gehören und durch ihre hervorragende Art der Quellfassung besonders hervorzuheben sind. Als die größten Quellaustritte insgesamt sind wohl die Quellen zwischen der Falkenreisen im Johannestal und dem Kleinen Ahornboden anzusehen.

Wenn man die Niederschlagsmessungen richtig wertet, ist auch aus dieser Sicht die durch die geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen bemessene Gesamtgröße des Einzugsgebietes von nicht mehr als etwa 25 km<sup>2</sup> Größe zu bestätigen. Die Niederschlagswerte, gemessen am Hafelekar, betragen nach FLIRI (1965) im 15jährigen Mittel 1322 mm. Nachdem die Mühlauer Quellen ca. 50 Mio m<sup>3</sup>/a aufweisen, kommt man unter Berücksichtigung von Verdunstung, oberflächlichem Abfluß und der Tatsache, daß die Niederschlagswerte gegen Norden,

also nördlich des Hafelekars rasch und bedeutend zunehmen (weniger Föhn, Nordstau, mehr Niederschlag durch Anstau am Berggrat Pfeiser Spitze — Stempeljochspitze — Bachofenspitze bei Westwetterlage) ebenfalls auf ein gerechnetes Einzugsgebiet von etwa 25 km<sup>2</sup>. AMPFERER (1949) vermutete eine Einzugsgebietsgröße von ca. 30 km<sup>2</sup>, was bereits sehr gut mit den heutigen Kenntnissen übereinstimmt.

Um den Wasserreichtum des Karwendelgebirges jedoch in seinem vollen Ausmaß zu erfassen, muß man sich noch die zahlreichen mehr oder weniger kleinen Quellaustritte, die in vorstehender Auflistung natürlich keine Berücksichtigung finden konnten, vor Augen führen. Damit wird noch deutlicher, daß der Grad der unterirdischen Verkarstung im Karwendel sehr gering, und damit durch das hervorragende Speichervermögen des Gebirges und die lange Verweildauer der Bergwässer im Gebirge eine hohe und gleichbleibende, also weitgehend krisensichere Qualität der Berg- und Quellwässer garantiert ist. Die hygienischen Untersuchungen der Mühlauer Quellen bestätigen die hohe Qualität der Bergwässer eindeutig. So ist das Wasser aus den Stollen keimfrei (SCHINZEL, 1953). An den einwandfreien Befunden hat sich — sieht man von großen Trübungsereignissen (siehe die abschließenden Erläuterungen der vorliegenden Arbeit) ab — bis zum heutigen Tag nichts geändert.

#### Trübungen des Trinkwassers im Bereich der Mühlauer Quellen

Seit 1982 wurden während der Zeit der hohen Quellschüttungen in den Sommermonaten immer wieder Trübungen der Quellwässer beobachtet (s. a. WEGER, 1982; HERBERT, 1990). Es ergibt sich dadurch zwangsläufig die Frage, ob die in vorstehendem Kapitel so hoch gepriesene Qualität des Innsbrucker Trinkwassers aus dem Karwendel tatsächlich nach wie vor so zu bewerten ist, oder ob zumindest eine gewisse Beeinträchtigung gegeben ist. Weiters stellt sich die Frage nach der Ursache dieser Trübungen und damit Hand in Hand die Frage, ob diese Trübungen nicht auch schon vor 1982 aufgetreten sind, und ob ihnen, weil sie vielleicht nicht so intensiv waren, vielleicht nur keine Beachtung geschenkt wurde.

Zur Abklärung dieser Fragestellungen wurde der Verfasser von den Stadtwerken Innsbruck 1982, sowie in den Jahren 1986—1988 als Mitarbeiter der Innsbrucker Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr (ILF) beauftragt. Zur Bestätigung der dabei gewonnenen Erkenntnisse führte das Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum/Graz (FGJ) im Auftrag der Stadtwerke Innsbruck 1986 Markierungsversuche durch.

Folgendes konnte dabei festgestellt werden:

Die Ergebnisse der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen durch HEISSEL zeigten völlige Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Markierungsversuche (FGJ) (s. a. HEISSEL, RAMSPACHER & RIEPLER, 1987).

Die Trübungseinbrüche ereigneten sich im Beobachtungszeitraum zwischen 1982 und 1988 unter verschiedenen Voraussetzungen:

Während 1982 ein hoher Bergwasserspiegel mit Quellschüttungen von etwa 2000 l/s mit kurzfristig starken Gewitterregen im Gebiet Herzwiese-Schusterreise-Arzler Reise zusammenfiel, führte beispielsweise im Jahre 1985 ein stark wetterwirksames Tiefdruckgebiet mit »sintflut-

artigen« lang anhaltenden Regenfällen trotz deutlich niedrigem Bergwasserspiegel zu Trübungsseinbrüchen.

Die geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen durch HEISSEL, untermauert durch die Ergebnisse des Markierungsversuches (FGJ), zeigen klar auf, daß das Wasser, das aus der Tiefe des Gebirges kommt, also der weitaus größte Teil der Quellwässer, das sind jene Wässer, die im hinteren Teil des Rumer Stollens entspringen, von erstklassiger Qualität ist und hier auch kein Zusammenhang mit der Oberfläche im Bereich des Südabfalls der Nordkette, im speziellen der Schusterreise und der Mittleren Reise, besteht.

Hingegen finden die zwar nur kurzfristig auftretenden, jedoch mitunter deutlich sichtbaren Trübungsseinbrüche, teilweise verbunden mit der Gefahr bakteriologischer Belastung allesamt in den seicht liegenden Stollenabschnitten im Bereich der von oberflächennahen Wässern durchzogenen Höttinger Breccie statt.

Auch im Wurm- und Klammbachstollen wirken sich noch Oberflächenereignisse in gewisser Weise aus. Allerdings ist hier die Gefahr bakteriologischer Verunreinigung aufgrund der hervorragenden Filterwirkung der Gesteine nicht gegeben.

Aus geologischer und hydrogeologischer Sicht stellt sich die Grenze des Grundgebirges (Triasgesteine) zur Höttinger Breccie (verfestigter Hangschutt quartären Alters) bzw. die stark verkarstete Breccie selbst als die entscheidende Schwachstelle im hydrogeologischen Gebirgsbau dar:

Die »Naht« zwischen den (weitgehend) wasserundurchlässigen Triasgesteinen und der sehr wasserdurchlässigen Quartärbreccie ist durch eine sehr ausgeprägte Wasserwegigkeit gekennzeichnet.

Daher können Niederschlagswässer von der Oberfläche über die weiten und gut ausgebildeten Wasserwege der Breccie schon nach kurzer Zeit entlang dieser Schwachstelle in das Stollengebäude eindringen. Dies gilt auch für den Alten Klammtollen.

Die geologischen Untersuchungen haben mehrere Ursachen für die Wassertrübungen, die von unterschiedlicher Bedeutung für das Trinkwasser sind, herausarbeiten können:

- a) Ausschwemmen von Feinanteilen aus sedimentären und tektonischen Flächen bei kurzfristig besonders starkem Wasserandrang
- b) Ausschwemmen von Feinanteilen aus sedimentären und tektonischen Flächen von langzeiteriger Wirkung
- c) Ausschwemmen von Feinanteilen aus der Höttinger Breccie bzw. im weiteren Sinn aus den überlagernden Schuttreisen
- d) Ausschwemmen von Feinteilen aus der Grundmoräne nahe der Oberfläche (unweit hinter dem Wasserschloß).

Somit muß als nächstes die Frage beantwortet werden, ob es nicht auch bereits vor 1982 zu Trübungen des Quellwassers kam:

Bei kritischer Durchsicht der Literatur aus der Bauzeit der Stollen bzw. aus der ersten Zeit nach der Eröffnung des Werkes fällt beispielsweise auf, daß SCHINZEL (1953) einerseits von der Behebung der Sandführung der Wurmbach- und Klammbachquellen spricht, andererseits betont, daß im Bereich des Rumer Stollens, wo der Hauptanteil des Quellwassers unter zum Teil erheblichem Druck in den Stollen eindringt, man »an eine gewisse Einschwemmung von Sand

weiterdenken wird müssen. Um die Abfuhr in das Rohrnetz zu verhindern, sind zwei wirksame Sicherungen eingebaut, nämlich das zweiteilige Wasserschloß am oberen Ende der Druckrohrleitung und der zweiteilige neue Behälter in Mühlau».

Tatsächlich zeigte sich bei Inspektionen des Stollengebäudes auch in den Jahren vor 1982 stets, daß feinklastisches Material, das aus dem Triasgestein (lehmig-tonige Schichtflächen und Füllungen tektonischer Flächen der Reichenhaller Schichten) stammt, vor allem in Strömungsschattenbereichen der abrinnenden Quellwässer an der Stollensohle abgelagert wird. Auch das zweiteilige Wasserschloß mußte immer wieder bei Revisionsarbeiten von feinklastischem ockrigbraunem Material, das sich am Beckenrand abgesetzt hat, gereinigt werden.

Man kann also feststellen, daß das vorstehend unter b) beschriebene Ausschwemmen von Feinanteilen aus sedimentären und tektonischen Flächen dauernd und mit wechselnder, aber stets geringer Intensität vor sich geht, und von Anfang an stattfand. Mit den inzwischen installierten Trübungsmeßgeräten lassen sich heute feinste Trübungen wechselnder Intensität registrieren, die optisch überhaupt nicht bemerkt werden können und daher früher auch nicht bemerkt wurden. Diese Art der Trübungen ist also als völlig harmlos zu bezeichnen und überdies nicht nur auf die Mühlauer Quellen beschränkt, sondern wird bei zahlreichen Quellen in Tirol (nicht nur beschränkt auf den kalkalpinen Bereich) mehr und mehr bekannt (z. B. Moosquelle und Forstquelle bei Achenkirch).

Auch das vorstehend unter a) geschilderte Ausschwemmen von Feinanteilen aus sedimentären und tektonischen Flächen des Triasgesteins bei kurzfristig besonders starkem Wasserandrang ist als völlig harmlos zu bezeichnen, wenngleich es dabei zu plötzlichen, auch optisch wahrnehmbaren Trübungen infolge des kurzfristig stark anschwellenden Bergwasserspiegels und der damit verbundenen Erhöhung der Durchflußgeschwindigkeit des Bergwassers kommt. Mittels Trübungsmeßgerät sind jedoch auch diese Trübungen heute so in den Griff zu bekommen, daß sie die Wasserqualität nicht beeinträchtigen können.

Bleiben die Trübungen, die vorstehend unter c) beschrieben wurden. Sie sind auf ähnliche Ursache zurückzuführen, wie die unter b) beschriebenen Trübungen, nämlich auf einen kurzfristig rasch steigenden Andrang von oberflächennahen und tiefen Bergwässern (wie vorstehend beschrieben). Sie sind schon allein wegen der geringen Durchflußzeit der Wässer durch die Breccie und die damit verbundene Gefahr der bakteriellen Belastung nicht so harmlos, betreffen aber nur einen sehr kleinen Teil der Stollenwässer. Durch einfache technische Maßnahmen, nicht zuletzt auch, weil sie nur ganz bestimmte, durch die geologischen Erhebungen klar definierbare Stollenabschnitte betreffen, konnten und können auch in Zukunft, diese Trübungen rasch schadlos gemacht werden. Dies gilt auch für die unter d) erwähnten Trübungen, die insgesamt bedeutungslos sind.

Es darf ergänzend noch hinzugefügt werden, daß im Gegensatz zu den Vermutungen HEISSELS (1982) und WEGERs (1991), wonach Hohlräume in der Nordkette für die Trübungen verantwortlich gemacht werden könnten, man heute sagen kann, daß dies als Ursache auszuschließen ist. Dies kann damit begründet werden, daß (wie vorstehend erläutert wurde) der Grad der Verkarstung im Grundgebirge so gering ist, daß mit nennenswerter Hohlraumbildung nicht zu rechnen ist. Allerdings gilt dies nur mit Einschränkungen für die Höttlinger Breccie mit ihren Gufeln

und Höhlen, sodaß ein negativer Einfluß der Grotte, die beim Vortrieb des Rumer Stollens angetroffen wurde, nicht vollkommen auszuschließen, wenngleich kaum wahrscheinlich ist. Somit kann abschließend festgestellt werden, daß das Wasser der Mühlauer Quellen tatsächlich auch weiterhin so hervorragend sein wird, wie man es bisher immer gewohnt war. Quellwässer aus Gebirgen vom Typ des Karwendels sind als besonders geeignet für eine krisensichere Versorgung der Bevölkerung mit erstklassigem Trinkwasser anzusehen.

## 6. Danksagung

Besonders sei Herrn Dir. Dipl.-Ing. Herwig Herbert vom Wasserwerk der Stadtwerke Innsbruck für seine stets vorhandene Bereitschaft zur Unterstützung der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen, die letztlich zur vorliegenden Arbeit geführt haben, gedankt. Herzuheben ist weiters, daß die in dieser Arbeit publizierten Fotos von den Stadtwerken Innsbruck für diesen Zweck zur Verfügung gestellt wurden, wofür Herrn Direktor Dipl.-Ing. Herbert, aber auch den Herren Dipl.-Ing. Kwinger, Dipl.-Ing. Ploner, Ing. Sorgo, Ing. Zorn und Ing. Zung herzlichst gedankt werden soll. Herrn Dir. i. R. Dipl.-Ing. Gerhard Hastaba gilt mein Dank für die vielen wertvollen und informativen Gespräche und seine stets hilfreiche Unterstützung. Frau Josefine Patscheider hat in hervorragender Weise die zeichnerische Darstellung der Abbildungen bewerkstelligt. Mein aufrichtiger Dank gilt aber auch meinen Fachkollegen Dr. Peter Gstrein (Inst. f. Mineralogie, Universität Innsbruck), Dr. Manfred Köhler und Dr. Wilfried Leimser (Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr, Innsbruck), sowie Frau Dr. Ilse Jenewein (Institut für Hygiene, Universität Innsbruck) und Frau Dr. Helga Lorenz (ehem. Inst. f. Hygiene, Uni IBK) für die zahlreichen fruchtbringenden Fachgespräche.

## 7. Literatur

- AMPFERER, O. & W. HAMMER (1899): Geologische Beschreibung des südlichen Theiles des Karwendelgebirges. — Jb. Geol. R.-A., 48, (1898), 289—374, 33 Abb., Taf. 8—9, Wien.
- AMPFERER, O. (1921): Über die Bohrung von Rum bei Hall in Tirol und die quartäre Verbiegung der Alpentäler. — Jb. Geol. B.-A., 71, 71—84, Wien.
- AMPFERER, O. & K. PINTER (1927): Über geologische und tektonische Erfahrungen beim Bau des Achenseewerkes in Tirol. — Jb. Geol. B.-A., 77, 279—332, Wien.
- AMPFERER, O. (1949): Geologische Ergebnisse der Quellenaufschließungen in der obersten Mühlauer Klamm bei Innsbruck, — Mitt. Geol. Ges. in Wien, 36—38 (1943—1945), 1—28, 12 Abb., Wien.
- AMPFERER, O.: Aufzeichnungen aus der Bauzeit der Mühlauer Stollen. — liegen im Archiv des Wasserwerks der Stadtwerke Innsbruck auf.
- ARIC, K. & P. STEINHAUSER (1976): Geophysikalische Untersuchung des Inntaluntergrundes bei Thaur, östlich von Innsbruck. — Z. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 12 (1).
- BACHMANN, G. H. & M. MÜLLER (1981): Geologie der Tiefbohrung Vorderriß 1 (Kalkalpen, Bayern). — Geologica Bavaria, 81, 17—53, 4 Abb., 2 Tab., 1 Taf., 2 Beil., München.
- BECHSTÄDT, Th. & H. MOSTLER (1974): Mikrofazies und Mikrofauna mitteltriadischer

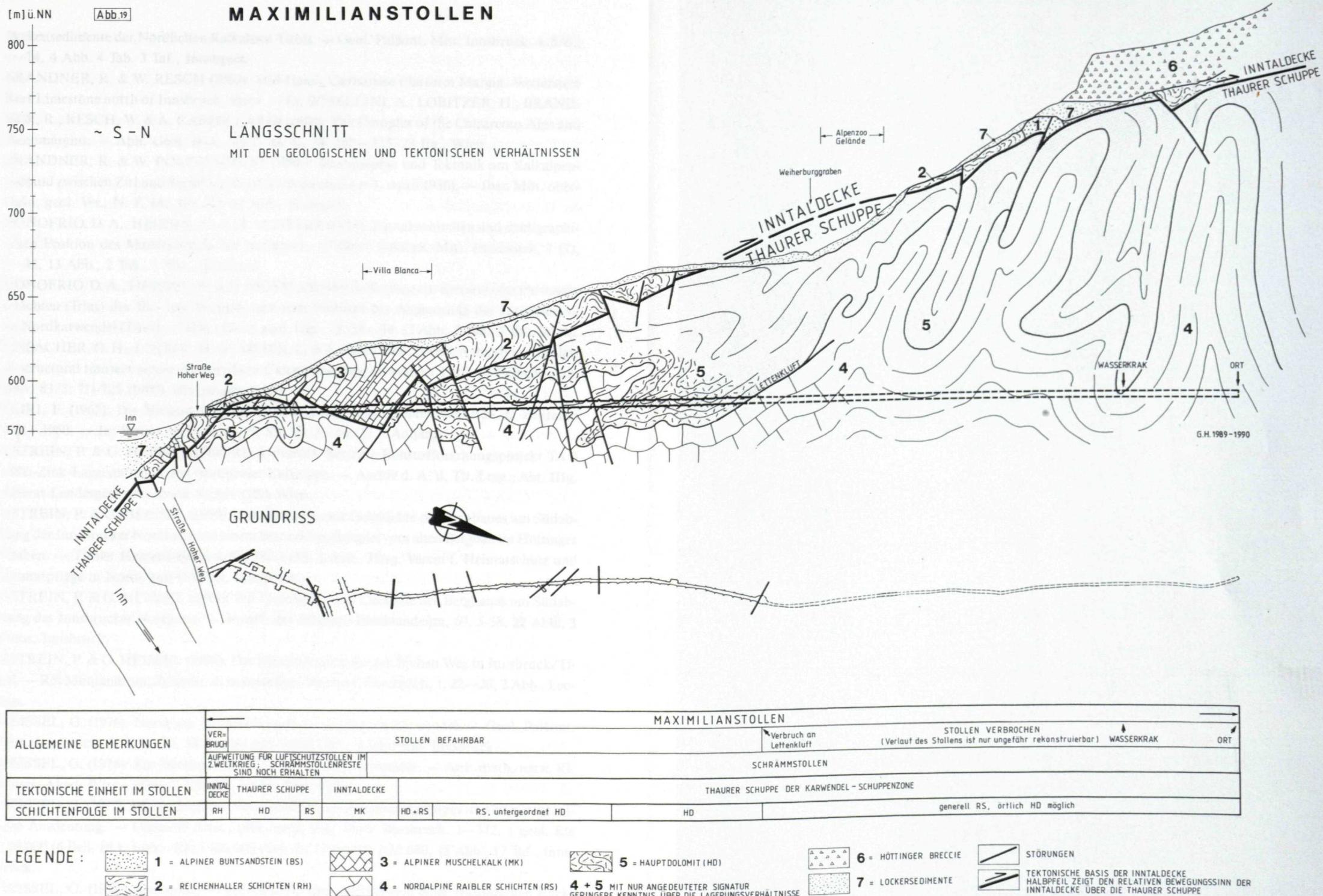


Abb. 19: Geologie des Maximilianstollens am Hohen Weg in Innsbruck als Vergleich zu den geologischen Verhältnissen im Wurmbach-, Klammbach- und Rumer Stollen (vgl. Abb. 9; s. a. GSTREIN & HEISSEL 1990).

- Beckensedimente der Nördlichen Kalkalpen Tirols. — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 4 (5/6), 1—74, 4 Abb. 4 Tab. 3 Taf., Innsbruck.
- BRANDNER, R. & W. RESCH (1980): Mid-Tiassic Carbonate Platform Margin. Wetterstein Reef Limestone north of Innsbruck, Tyrol. — In: BOSELLINI, A., LOBITZER, H., BRANDNER, R., RESCH, W. & A. CASTELLARIN (1980): The Complex of the Calcareous Alps and Paleomargins. — Abh. Geol. B.-A., 26 C. G. I., 34, 287—325, 23 fig., Wien.
- BRANDNER; R. & W. POLESCHINSKI (1986): Stratigraphie und Tektonik am Kalkalpensüdrand zwischen Zirl und Seefeld in Tirol (Exkursion D am 3. April 1986). — Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 68., 67—92, 12 Abb., Stuttgart.
- DONOFRIO, D. A., HEISSEL, G. & H. MOSTLER (1979): Zur tektonischen und stratigraphischen Position des Martinsbühels bei Innsbruck. — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 7 (7), 1—43, 13 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Innsbruck
- DONOFRIO, D. A., HEISSEL, G. & H. MOSTLER (1980): Beiträge zur Kenntnis der Partnachschichten (Trias) des Tor- und Rontales und zum Problem der Abgrenzung der Lechtaldecke im Nordkarwendel (Tirol). — Mitt. österr. geol. Ges., 73, 55—94, 12 Abb., 2 Tab., 5 Taf., Wien.
- EISBACHER, G. H., LINZER, H. G., MEIER, L. & R. POLINSKI (1990): A depth-extrapolated structural transect across the Northern Calcareous Alps of western Tirol. — Eclogae geol. Helv. 83/3: 711-725 (1990), Birkhäuser, Basel.
- FLIRI, F. (1965): Die Niederschläge in Tirol und den angrenzenden Gebieten im Zeitraum 1931—1960. — In: Wetter und Leben, 17, Sh. 10, 3—16, 27 S Anhang.
- GSTREIN, P. & G. HEISSEL (1981/82): Unveröff. Berichte Rohstoffforschungsprojekt TA 8 »Blei-Zink-Lagerstätten in den Nordtiroler Kalkalpen. — Archiv d. A. d. Tir. Lreg., Abt. IIIg, Referat Landesgeologie; sowie Archiv GBA-Wien.
- GSTREIN, P. & G. HEISSEL (1989): Zur Geologie und Geschichte des Bergbaues am Südabhang der Innsbrucker Nordkette mit einem besonderen Beispiel vom alten Bergbau im Höttinger Graben. — Tiroler Heimatblätter, 4/89, 180—185, § Abb., Hrsg. Verein f. Heimatschutz und Heimatpflege in Nord- und Osttirol, Innsbruck.
- GSTREIN, P. & G. HEISSEL (1989): Zur Geschichte und Geologie des Bergbaues am Südabhang der Innsbrucker Nordkette. — Veröff. des Museum Ferdinandeum, 69, 5-58, 22 Abb., 3 Fotos, Innsbruck.
- GSTREIN, P. & G. HEISSEL (1990): Der Maximilianstollen am Hohen Weg in Innsbruck/Tirol. — Res Montanarum; Zeitschr. d. montanhist. Vereins f. Österreich, 1, 22—28, 2 Abb., Leoben.
- HEISSEL, G. (1976): Neues zur Deckentektonik im nördlichen Karwendel. — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 5, 5, 1—35, 18 Profile auf 7 Beil. Taf., 1 tekt. Kte, Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1976): Zur Deckentektonik im nördlichen Karwendel. — Anz. math.-natw. Kl. Österr. Akad. Wiss., 1976, 7, 75—82, 1 tekt. Kte., Wien.
- HEISSEL, G. (1977): Die geologische Neuaufnahme des Karwendelgebirges und seine tektonische Ausdeutung. — Unveröff. Diss., phil./natw. Fak. Univ. Innsbruck, 1—372, 1 geol. Kte 1:20.000 (6 Beil. Bl.), 1 tekt. Kte 1:100.000 (Taf. 3), 17 Profile 1:25.000, 18 Abb., 17 Taf., Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1978): Karwendel — geologischer Bau und Versuch einer tektonischen Rück-

- formung. — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 8, Festschr. W. HEISSEL, 227—288, 27 Abb., Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1982): Mühlauer Quellen — geologische Situation. — Unveröff. Gutachten Stadtwerke Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1987): Mühlauer Quellen — geologische und hydrogeologische Untersuchung der Trübungseinbrüche vom 28. und 29. Juli 1987. — Unveröff. Gutachten Stadtwerke Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1988): Mühlauer Quellen — Geologische und hydrogeologische Untersuchung der Trübungseinbrüche vom 3. 9. 1988 und vom 23. 10. 1988. — Unveröff. Gutachten Stadtwerke Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1991): Bericht 1990 über geologische Aufnahmen auf Blatt 118 — Innsbruck. — Jb. geol. B.-A., Wien, in Druck.
- HEISSEL, G., KÖHLER, M. & W. LEIMSER (1989): Erfahrungen mit dem Infrarot-Temperaturmeßgerät IRS 3 beim Vortrieb des Roppener Tunnels. — Felsbau 7 (1989), 4, 198—201, 1 Abb., Essen.
- HEISSEL, G., RAMSPACHER; P. & F. RIEPLER (1987): Mühlauer Quellen — geologische und hydrogeologische Untersuchungen der Trübungseinbrüche. — Unveröff. Gutachten Stadtwerke Innsbruck.
- HERBERT, H. (1990): 100 Jahre Stadtwerke Innsbruck — Wasserwerk, Elektrizitätswerk: Quellwasser — Fundament der Innsbrucker Trinkwasserversorgung, Grundwasser aus der Höttlinger Au zur Absicherung der Versorgung. — Beilage der Innsbrucker Stadt Nachrichten, offiz. Mitteilungsbl. der Landeshauptstadt, 20. Juni 1990/Nr. 6, Innsbruck.
- KLEBELSBERG, R. v. (1953): Die geologischen Verhältnisse. — In: Festschrift »Das neue Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau der Landeshauptstadt Innsbruck«, 41—45, 2 Abb., 1 Foto, Stadtwerke Innsbruck, Innsbruck.
- MAASS, E. (1953): Das Trinkwasserwerk. — In: Festschrift »Das neue Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau der Landeshauptstadt Innsbruck«, 13—30, 6 Abb., 8 Fotos, Stadtwerke Innsbruck, Innsbruck.
- MÜHLHOFER; L. (1953): Die Baudurchführung. — In: Festschrift »Das neue Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau der Landeshauptstadt Innsbruck«, 53—62, 4 Fotos, Stadtwerke Innsbruck, Innsbruck.
- MOSTLER, H. (1986): Zur Mitteltrias von Innsbruck (Exkursion A am 1. April 1986). — Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 68, 15—27, 9 Abb., Stuttgart.
- MOSTLER, H. (1986): Zur Geologie des Wipptales (Innsbrucker Quarzphyllit, unterostalpines Mesozoikum, Matreier Schuppenzone, Altkristallin, Steinacher Decke, Silltalstörung) (Exkursion B am 3. April 1986). — Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 68, 29—42, 8 Abb., Stuttgart.
- SARNTHEIN, M. (1968): Bericht 1967 über geologisch-sedimentologische Aufnahmen am Karwendel-Südrand (Blatt Innsbruck-Umgebung). — Verh. geol. B.-A, 1968, 3, A51—A53, Wien.
- SCHINZEL, A. (1953): Die Mühlauer Hochquellen der Stadt Innsbruck in hygienischer Sicht. — In: Festschrift »Das neue Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau der Landeshauptstadt Innsbruck«, 47—51, 3 Fotos, Stadtwerke Innsbruck, Innsbruck.

- SCHMIDEGG, O. (1951): Die Stellung der Haller Salzlagerstätte im Bau des Karwendelgebirges. — Jb. geol. B.-A., 94 (1949—1951), 159—205, 9 Abb., Taf. 19—20, Wien.
- SCHMIDEGG, O.: Aufzeichnungen aus der Bauzeit der Mühlauer Stollen. — liegen im Archiv des Wasserwerks der Stadtwerke Innsbruck auf.
- SPÖTL, C. (1987): Sedimentologisch-fazielle und geochemische Untersuchungen am permokarbonatischen Salinar der Nördlichen Kalkalpen. — Unveröff. Dipl. Arb. natw. Fak. Univ. Innsbruck, 130 S., 38 Abb., 16 Tab., 17 Taf., 14 Beil., Innsbruck.
- SPÖTL, C. (1989): Die Salzlagerstätte von Hall in Tirol — ein Überblick über den Stand der geologischen Erforschung des 700jährigen Bergbaubetriebes. — Veröff. des Museum Ferdinandeum, 69, 137—167, 8 Abb., Innsbruck.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Teil 2.—710 S., Deuticke, Wien.
- TOLLMANN, A. (1986): Geologie von Österreich, Teil 3.—718 S., Deuticke, Wien.
- WEBER, F. (1990): Geoseismik Tirol — vorläufige Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Quartär des Inntales/Tirol. — Tagungsbericht Bund/Bundesländer-Kooperation auf dem Gebiet der Rohstoff- und Energieforschung, 13. Jahrestagung am 4. u. 5. 10. 1990 in Innsbruck, Hrsg. A. d. Tir. LReg., Abt. Id, 29—33, Innsbruck.
- WEBER, F., SCHMID, Ch., AIGNER, H., NIESNER, E., FRANK J., POLTNIG, W., SUTTERLÜTTI, R., VINZENZ, M. & M. BERNHARD (1990): Projekt TA 19j/1989 — Tiefenwässer im unteren Inntal, unveröff. Endbericht, Joanneum Research, Leoben; Archiv. A. Tir. LReg., Abt. IIIg, Ref. Landesgeologie; sowie Archiv GBA-Wien.
- WEGER, W. (1982): Auch weiterhin höchste Wassergüte. — Innsbrucker Stadt Nachrichten, Offiz. Mitteilungsbl. der Landeshauptstadt, S. 8—9, 19. Aug. 1982/Nr. 8, Innsbruck.
- WEGER, W. (1991): Innsbrucks zweites »Standbein« der Trinkwasserversorgung bald Realität. — Innsbrucker Stadt Nachrichten, Offiz. Mitteilungsbl. der Landeshauptstadt, S. 3, 15. Mai 1991/Nr. 5, Innsbruck.

#### Anmerkung:

Bei den Abbildungen 1, 2 und 3 der vorliegenden Arbeit handelt es sich um Ausschnitte der geologischen Manuskript-Aufnahmskarte 1:25.000 von G. HEISSEL für die ÖK 118 — Innsbruck, 1:50.000 für die Geologische Bundesanstalt in Wien.

#### Anschrift des Verfassers:

Dr. Gunther Heißel  
Amt der Tiroler Landesregierung  
Abt. IIIg, Referat Landesgeologie  
Herrengasse 1  
A-6020 Innsbruck

#### Inhaltstübersicht

1. Kurzfassung
2. Einleitung
3. Regionale geologische und strukturgeologische Verhältnisse
- 3.1 Der Gebirgsbau

- 3.1.1 Allgemeines
- 3.1.2 Die Inntaldecke
- 3.1.3 Die Karwendel-Schuppenzone
- 3.2 Strukтурgeologische und fazielle Anmerkungen zur Decken- und Schuppentekonik im Karwendel, sowie Gedanken zum Südrand der Nordtiroler Kalkalpen und zu großen ostalpinen Störungen in Tirol
- 3.3 Die Schichtenfolge
- 3.3.1 Alpiner Buntsandstein
- 3.3.2 Reichenhaller Schichten
- 3.3.3 Alpiner Muschelkalk
- 3.3.4 Partnachschichten
- 3.3.5 Wettersteinkalk
- 3.3.6 Nordalpine Raibler Schichten
- 3.3.7 Hauptdolomit
- 3.3.8 Höttinger Breccie
- 3.3.9 Lockersedimente
- 4. Detaillierte Beschreibung der geologischen Verhältnisse im Gebiet der Mühlauer Quellen
- 4.1 Die Ergebnisse der Oberflächenkartierung im Bereich der Stollenbauwerke
- 4.2 Die geologischen Verhältnisse der Stollenbauwerke
- 4.2.1 Allgemeines
- 4.2.2 Die geologischen Verhältnisse des Wurmbachstollens
- 4.2.2.1 Allgemeine geologische Beschreibung
- 4.2.2.2 Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte zwischen Station 81.13 und 159.50 (Ortsbrust)
- 4.2.3 Die geologischen Verhältnisse des Klammbachstollens
- 4.2.3.1 Allgemeine geologische Beschreibung
- 4.2.3.2 Detailbeschreibung des unverkleideten Abschnittes zwischen Station 241.87 und ca. 286.00 (Ortsbrust)
- 4.2.4 Die geologischen Verhältnisse im Sammelstollen
- 4.2.4.1 Allgemeine geologische Beschreibung
- 4.2.4.2 Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte zwischen Station 136.47 und 167.47
- 4.2.5 Die geologischen Verhältnisse im Rumer Stollen
- 4.2.5.1 Allgemeine geologische Beschreibung
- 4.2.5.2 Detailbeschreibung des unverkleideten Abschnittes zwischen Station 248.40 und 265.20
- 4.2.5.3 Detailbeschreibung der unverkleideten Abschnitte im Bereich der großen Wasserzutritte am Stollenende
- 4.3 Die geologischen Verhältnisse der umliegenden und teilweise noch für Trinkwasserzwecke verwendeten Stollen
- 4.3.1 Allgemeines
- 4.3.2 Alter Wurmbachstollen (heute trocken)
- 4.3.3 Alter Rumer Stollen (heute trocken)
- 4.3.4 Neuer Rumer Stollen
- 4.3.5 Alter Klammtollen
- 4.4 die geologischen Verhältnisse der restlichen ungefäßten Quellaustritte im Nahbereich der Mühlauer Quellen im Mühlauer Graben
- 4.5 Diskussion über neue Erkenntnisse der Obertage-Geologie und der Stollengeologie
- 5. Hydrogeologische Verhältnisse
- 5.1 Wasserwege im Gebirge und wasserleitende Gesteine
- 5.2 Wasserstauende Faktoren im Gebirge und wasserstauende Gesteine
- 5.3 Der Grad der Verkarstung des Gebirges
- 5.4 Die Bergwasserverhältnisse im Bereich der Mühlauer Quellen aus geologischer Sicht
- 5.4.1 Wasserstauende und wasserleitende Gesteine im Bereich der Mühlauer Quellen
- 5.4.2 Wasserwege im Gebirge
- 5.4.2.1 Allgemeines
- 5.4.2.2 Wasserwege im Wurmbachstollen

- 5.4.2.3 Wasserwege im Klammbachstollen  
 5.4.2.4 Wasserwege im Sammelstollen  
 5.4.2.5 Wasserwege im Rumer Stollen  
 5.4.3 Der Grad der Verkarstung im Bereich der Quellaustritte  
 5.5 Die geologisch-tektonische Position der Mühlauer Quellaustritte als Sammelstelle der Bergwässer der Inntaldecke im Bereich der Innsbrucker Nordkette  
 5.6 Die Einzugsgebiete der einzelnen Quellwasser aus geologischer Sicht  
 5.6.1 Allgemeines  
 5.6.2 Die Einzugsgebiete der Wässer des Wurmbachstollens, Klammbachstollens und des Sammelstollens im Bereich der Station 136.00—168.00  
 5.6.3 Die Einzugsgebiete der Wässer im Sammelstollen zwischen Station 470.00 und 500.00, sowie im Rumer Stollen im Abschnitt zwischen dem Kreuzungspunkt mit dem Sammelstollen und Station 265.00  
 5.6.4 Das Einzugsgebiet der Wässer im hinteren Rumer Stollen und in dessen Abzweigungen I—IV  
 5.6.5 Das Einzugsgebiet der Wässer im Neuen Rumer Stollen und in der Quellgruppe der »Schleierfälle« und »Am Ursprung«  
 5.7 Das oberflächliche und das unterirdische Gesamteinzugsgebiet der Mühlauer Quellen einschließlich der Wässer des Neuen Rumer Stollens, des Alten Klammbachstollens und der ungefaßten Quellaustritte im Nahbereich der Mühlauer Quellen im Mühlauer Graben, und die Verweildauer der Wässer im Gebirge  
 5.8 Trübungen des Trinkwassers im Bereich der Mühlauer Quellen  
 6. Danksagung  
 7. Literatur

In den unterschiedlichen Oberflächen- und Karsttypen durchgeförderte hydrologische bzw. geomorphologische Beobachtungen liefern u. a. die benötigte Erkenntnis, daß zur Beurteilung von Wasserhaushalt und Fließrichtungen präzise quantitative Beobachtungen ohne Korrelation verschiedener aufgetretener Schädigungen bei Böden und den Systemen des Bauwerksbaus gesetzen ist. Im Gegensatz dazu zeigen viele kleinräumige in industriefreien Alpenländern entstandene Vorkommen der Viskoit, während die möglicherweise Fließrichtungsdaten noch keine zuverlässigen Schlüsse erlauben (TURK & WITTMANN 1984, WITTMANN & TURK 1985).

Ziel der vorliegenden Arbeit war die praktische Anwendung der hydrologischen Fließrichtungsdaten nach dem Weißenseer-Karstmodell-Schema im Bereich der Schadwirkungen durch überfließende Karstquellen. Dazu sollte vor allem festgestellt werden, wie weit ein Einfluß auf zumindest lokale Fließrichtungen aufsetzen würde basierend auf den oben aufgestellten Hypothesen und Ergebnissen.

#### 4. Methodik

Eine grobe Orientierung über die hydrologische Verwertbarkeit von Wasser führt nach HABERL (1988, Übersicht). Auf der unterste Stufe wird bei den hydrologischen Beobachtungen geachtet, um etwa direkte Verbindungen der Verhältnisse des Aufnahmestraumes zu untersuchen, obwohl es sich dabei nicht um eine exakte hydrologische Methode handelt. Eine weitere Orientierung kann durch die Anwendung eines einfachen und wissenschaftlichen Verfahrens der Hydrologie erfolgen, nämlich auf der Fließrichtungsdaten- und Fließrichtungstechnik. Welche technischen Voraussetzungen sind nun für die Anwendung eines solchen Verfahrens erforderlich? Eine Fließrichtungsdatenmethode erfordert eine möglichst homogene, aber nicht zu starke, Grundwasserströmung, die nicht durch Porenwände oder Felsenkreide gestoppt werden darf. Sie mußte vom Kontakt der Fließrichtungsdatenmethode mit dem Material, z. B. Rohrleitung, abgrenzen können, um eine zuverlässige