

NEUE DATEN ZUR GEOLOGIE DES KARAWANKEN-STRASSENTUNNELS

Richard Lein, Jürgen Schlaf, Peter J. Müller, Leopold Krystyn & Dirk Jesinger

Mit 6 Abbildungen und 1 Fototafel

Zusammenfassung:

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die beim Bau des Karawanken-Autobahntunnels gewonnenen geologischen Daten mit den Ergebnissen einer neuen Oberflächenkartierung (SCHLAF, 1994) zu verknüpfen, um so zu einem besseren Verständnis des Aufbaus der Südkarawanken zwischen Mittagkogel und Koschuta zu gelangen. Im Tunnel selbst wird über eine Distanz von mehr als 2 km ein tektonisches Fremdelement (= Hahnkogel-Einheit) aufgeschlossen, welches sich hinsichtlich seiner Schichtfolge von der mit tektonischem Kontakt angrenzenden Koschuta-Einheit deutlich unterscheidet. Für den basalen Abschnitt der im Autobahntunnel angeschnittenen Hahnkogel-Einheit wurde ein karnisches Alter nachgewiesen.

Abstract:

This paper combines geological data collected during tunneling of the Karawanken Road Tunnel with a new geological surface map (SCHLAF, 1994). This synthesis gives additional insights of the geological structure of the Karawanken Mountains between Mittagkogel and Koschuta. Over a distance of more than two kilometers the tunnel runs through a tectonically exotic element, called Hahnkogel Unit, which shows a tectonic contact with the adjoining Koschuta Unit. Additionally, the stratigraphy of these two units differs completely. For the basal part of the Hahnkogel Unit within the tunnel a Carnian age is proven.

1. Vorwort

Eines der tektonisch komplexesten Gebiete der Südkarawanken wird ungefähr in nordsüdlicher Richtung von zwei Verkehrsbauten gequert, dem von 1901-1906 errichteten Eisenbahntunnel und dem 1991 fertiggestellten Straßentunnel der Autobahn (Abb. 1). Die beim Vortrieb für diese Verkehrsbauwerke gewonnenen geologischen Detailergebnisse sind deshalb so bedeutsam, da gerade hier eine tektonisch allseitig umgrenzte Lamelle (Hahnkogel-Einheit) durchörtert wurde, die erst jüngst (KRISTYN et al., 1994) auf Grund ihrer eigenständigen Schichtfolge als tektonisches Fremdelement erkannt worden ist. Die vorliegende Arbeit versucht alle zugänglichen geologischen Daten der Stollenaufnahmen zu diesen beiden Verkehrsbauwerken – auch wenn der Stil ihrer Dokumentierung uneinheitlich ist – mit den Ergebnissen einer neuen Oberflächenkartierung (SCHLAF, 1994) zu einem umfassenden Bild zu

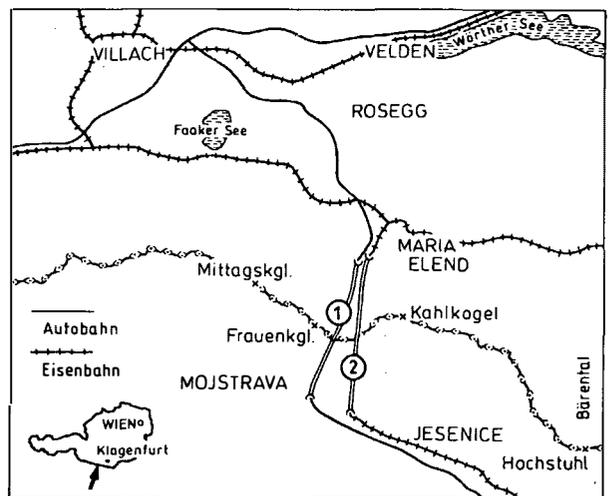


Abb. 1: Lageskizze des Karawanken-Straßentunnels (1) und des Eisenbahntunnels (2).

vereinigen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich allerdings bewußt auf jene tektonisch umgrenzte schmale Lamelle der Hahnkogel-Einheit, welche im Nordteil der beiden Tun-

nelröhren über eine Erstreckung von jeweils mehr als 2 km aufgeföhren wurde.

2. Problemstellung

Wichtige Grundlage für die Planung des ersten Karawankentunnels war die 1891 abgeschlossene geologische Kartierung der Karawanken durch TELLER. Dieser wurde auf Grund seiner hervorragenden regionalgeologischen Kenntnisse für die Trassenplanung des Eisenbahntunnels herangezogen. Trotz dieser günstigen Voraussetzungen wich die beim Vortrieb angetroffene geologische Situation von dem von TELLER prognostizierten Aufbau z.T. erheblich ab (KAHLER, 1954: Abb. 2a). Der Tunnel selbst wurde erst mit 13monatiger Verspätung fertiggestellt – ein Umstand, der KAHLER (1954) Jahrzehnte später zu einer retrospektiven Betrachtung unter dem Titel „Mußte der Bau des Karawankentunnels so schwierig sein?“ veranlaßt hat. Hauptursache für die Prognosefehler war für KAHLER (1954: 201) die zu geringe Kenntnis der Oberflächengeologie – ein Manko, das im wesentlichen auch durch spätere Kartierungen (SEELMEIER, 1942; ANDERLE, 1970; KERN, 1982) nicht behoben werden konnte. Neben dem bautechnisch schwierigen Vortrieb im Oberkarbon, der durch eine andere Trassenwahl hätte vermindert oder verhindert werden können, war es vor allem die im nördlichen Streckenteil gequerte Serie mächtiger obertriadischer Beckensedimente – in dieser Ausbildung nur aus der Umgebung des Mittagkogels bekannt –, die sich einer zutreffenden Prognose entzog. Nähere Kenntnisse über Mächtigkeit und Alter dieser Schichtfolge sind im wesentlichen erst im Rahmen einer am Institut für Geologie der Universität Wien durchgeführten Diplomarbeit (SCHLAF, 1994) erarbeitet worden und haben bei der Planung des Straßentunnels noch vollständig gefehlt (vgl. Längsschnitt mit der Prognose von HERZOG, DROBNE & PREMUR, in VILANEK, 1991: Abb. 32). Ein der Forderung KAHLERS entsprechender befriedigender Kenntnisstand der Oberflächengeologie liegt nun leider

erst zu einem Zeitpunkt vor, da der Bau des Straßentunnels bereits abgeschlossen ist. Trotz dieses Umstandes scheint es sinnvoll, auf der Basis der nun vorliegenden Daten, bestehend aus den Stollenaufnahmen, der Auswertung von beim Tunnelvortrieb angefallenen Proben und den Ergebnissen der neuen Oberflächenkartierung (SCHLAF, 1994), die bisherigen geologischen Deutungen der Tunnelprofile (TELLER, 1910; BÄK & BUDKOVIC, in VILANEK, 1991: Abb. 34) einer Überprüfung bzw. einer allfälligen Revision zu unterziehen.

3. Regionalgeologischer Rahmen

Straßen- und Eisenbahntunnel queren die Südkarawanken, welche nach Norden hin durch das Periadriatische Lineament von den faziell andersartigen Nordkarawanken und nach Süden durch die Save-Störung von den tektonisch selbständigen Einheiten der Julischen Alpen (Krn-Decke, Pokljuka-Decke) getrennt sind. Bis vor

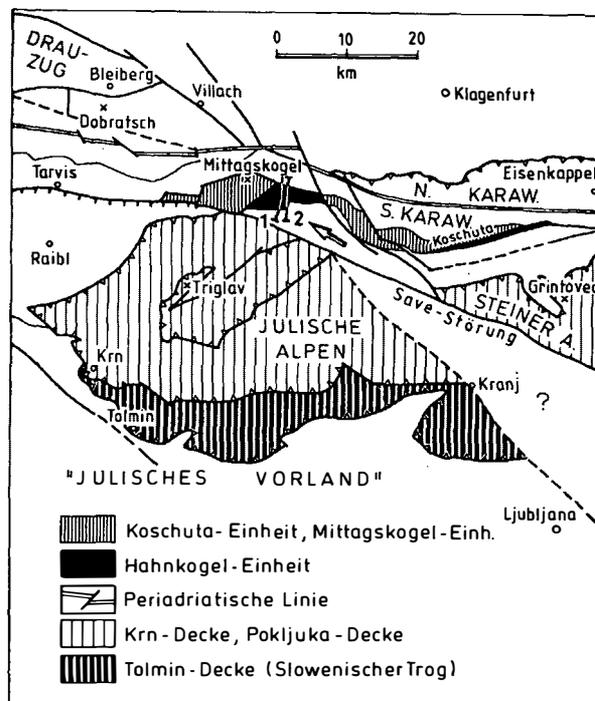


Abb. 2: Tektonische Skizze der Karawanken und ihres südlichen Vorlandes. Beachte Lage des Straßentunnels (1) und des Eisenbahntunnels (2).

kurzem wurden die Triasgesteine der Südkarawanken einer einzigen tektonischen Einheit – der Koschuta-Decke – zugeordnet (WINKLER, 1924: Taf. 4; BUSER & CAJHEN, 1977; JURKOVSEK, 1986), doch erweist sich der Aufbau dieser intern von steilstehenden Störungen mit Lateralversätzen unbekannter Größenordnung durchzogenen Zone schwieriger als bisher angenommen. Zumindest konnte südlich der eigentlichen Koschuta-Decke eine tektonisch abgrenzbare Einheit (Hahnkogel-Einheit; KRYSZYN et al., 1994) mit eigenständiger, sich von der Umgebung klar abhebender Schichtfolge festgestellt werden. Diese Einheit ist vor allem im Gebiet südöstlich des Mittagkogels entwickelt und setzt sich nach Osten, zunächst vom Hochstuhl-Störungssystem versetzt, als schmaler Streifen südlich der Koschuta (vgl. KOLAR-JURKOVSEK, 1994) bis in den Potokgraben fort (Abb. 2).

4. Schichtfolge

Die hier besprochene kurze Charakteristik der verschiedenen lithologischen Abschnitte der Hahnkogel-Einheit wird bei SCHLAF (1994) ausführlicher besprochen, dort finden sich auch genauere Angaben zur Sedimentologie und Mikrofazies. Die Schichtfolge der Hahnkogel-Einheit reicht vom Karn bis in den Lias und ist das Resultat einer norischen, syndimentären Beckeneintiefung (KRYSZYN et al., 1994; SCHLAF, 1994).

4.1. Raibl-Gruppe

Die Raibl-Gruppe umfaßt von Liegend gegen Hangend folgende lithologische Einheiten: Conzendolomit, terrigene Raibler Schichten, Flachmarine Dolomite.

Der Conzendolomit ist ein weißer, massiger bis m-gebankter Dolomit, der mit tektonischem Kontakt an die terrigenen Raibler Schichten im Hangenden angrenzt und diese basal zuschneidet, sodaß diese terrigenreiche Serie gegen Osten hin zunehmend geringmächtiger wird. Das Auf-

treten von Algenlaminiten im Conzendolomit legt ein flachmarines Environment nahe.

Bei den terrigenen Raibler Schichten handelt es sich um eine ca. 450 Meter mächtige, komplexe Wechselfolge von Kalken, Mergeln, Mergelkalken und Schiefertönen. Darin fallen wenige Millimeter mächtige Lumachellenlagen auf, die hauptsächlich aus Bivalven aufgebaut sind und als distale Tempestite interpretiert werden können (HOLZMANN, 1993). Als Sedimentationsraum dieser terrigenreichen Serie kann man einen flachmarinen Schelfbereich unter der Wellenbasis annehmen, in dem die karbonatische Grundsedimentation durch siliziklastischen Eintrag verdünnt wurde.

Bei der dolomitischen Abfolge, welche die terrigenreiche Serie mit scharfem, aber ungestörtem Kontakt überlagert, handelt es sich um ca. 100 Meter mächtige, helle, cm- bis dm-gebankte Dolomite. Auffallend in dieser Serie sind Algenlaminite mit Quarzknollen und Trockenrissen, Messerstichdolomite und Megalodontenschillbänke. Als Ablagerungsraum dieser Dolomitserie kann man sich einen Supra- bis Intertidalbereich in ariden bis semiariden Klimaten vorstellen.

4.2. Carnitza-Formation

Der Begriff Carnitza-Formation wurde von LIEBERMAN (1978) an der Typlokalität Raibl aufgestellt und in die Literatur eingeführt. Es handelt sich bei der Carnitza-Formation um eine ca. 60 Meter mächtige Abfolge von dunklen, cm- bis dm-gebankten Dolomiten, die intensiv bioturbat sind. Meistens handelt es sich dabei um Spuren vom *Thalassinoides*-Typ.

Die stratigraphische Einstufung der Carnitza-Formation ist nicht exakt möglich, aber aufgrund von lithofaziellen Ähnlichkeiten mit der Carnitza-Formation von Raibl kann man sie als ein Äquivalent derselben ansehen. Die Basis der über der Carnitza-Formation folgenden Baca-Formation ist, fossilbelegt, ins Lac 1 zu stellen, weshalb man für die Carnitza-Formation ein obertuvalisches Alter annehmen kann.

Da innerhalb der Carnitza-Formation Hinweise auf einen flachmarinen Ablagerungsraum fehlen, wird als Sedimentationsraum ein Subtidalbereich unter der Wellenbasis mit leicht offen-marinem Einfluß angenommen.

4.3. Baca-Formation

Es handelt sich um eine ca. 170 Meter mächtige Abfolge von gebankten Dolomiten mit Hornsteinlagen und -knollen. Die Bankmächtigkeiten variieren von wenigen Zentimetern bis zu maximal zehn Metern. Bei diesen dickeren Bänken handelt es sich um karbonatische debris flows, die dünneren Bänke sind entweder strukturlos oder zeigen turbiditische Sedimentstrukturen.

Die Baca-Formation zeigt erstmals pelagischen Einfluß. So treten massenhaft Conodonten auf und die Kieselsäure der Hornsteine kann man von Radiolarien oder Kieselschwämmen ableiten.

Der stratigraphische Umfang der Baca-Formation beträgt Lac und Alaun.

Aufgrund der intensiven karbonatklastischen Sedimentation ist für die Baca-Formation ein tiefermariner karbonatischer Hang anzunehmen.

4.4. Frauenkogel-Formation

Unter diesem Terminus werden ca. 340 Meter mächtige, plattige, cm- bis dm-gebankte, graue Hornsteinkalke mit basalen Einschaltungen von Megaturbiditen und Rutschungsstrukturen zusammengefaßt. Die Frauenkogel-Formation beginnt an der Basis mit ca. 40 Meter mächtigen, plattigen Hornsteinkalken, die sehr oft Rutschungsstrukturen zeigen. Darüber folgen drei Megaturbiditbänke mit Mächtigkeiten zwischen 8 und 25 Metern. Zwischen den Megaturbiditen sind plattige Hornsteinkalke eingeschaltet. Über den Megaturbiditen folgt eine ca. 200 Meter mächtige Abfolge plattiger, grauer, cm- bis dm-gebankter Hornsteinkalke, die sehr oft Feinlamination zeigen. Diese feinen Lagen sind feinkörnige Turbidite, die im wesentlichen von Radiolarien aufgebaut werden.

Stratigraphisch umfaßt die Frauenkogel-Formation Sevat und Rhät.

Der Ablagerungsraum der Frauenkogel-Formation ist als tiefermariner Hang bzw. als tiefermarines Becken zu interpretieren.

4.5. Hahnkogel-Formation

Die Hahnkogel-Formation beginnt an der Basis mit einer 15 Meter mächtigen, dm-gebankten Abfolge von braunen, strukturlosen Mergeln, deren Grenze zur unterlagernden Frauenkogel-Formation scharf ist, ohne daß jedoch Anzeichen submariner Erosion oder eines Sedimentationsstillstandes zu erkennen sind. Über dieser Mergelsequenz folgt eine ca. 200 Meter mächtige Serie von grauen, strukturlosen, cm- bis dm-gebankten mudstones. Sehr selten ist Bioturbation zu erkennen.

Da die Hahnkogel-Formation die sevatisch bis rhätische Frauenkogel-Formation konkordant überlagert, kann für die Hahnkogel-Formation ein liassisches Alter angenommen werden.

Es handelt sich dabei um pelagische Kalke, die in einem Becken unbekannter Ausdehnung und Tiefe abgelagert worden sind.

5. Detailbeschreibung (Hahnkogel-Einheit)

Von besonderer Bedeutung für die Prognose der geologischen Verhältnisse im Straßentunnel war die Frage, ob die untersuchte Region als ein bloß von Störungen (mit allerdings z.T. beträchtlichem Lateralversatz) durchzogener einheitlicher Block anzusehen wäre oder ein von jüngeren Vertikalstörungen kaschierter Deckenbau vorliegt. Laut POLINSKI (1991: 87, 97) sind jedoch die in konträre Richtungen weisenden Einzelbeobachtungen einem einzigen Deformationsereignis zuordenbar. Demnach wären die Karawanken in einem späten Deformationsprozeß (D4 = zeitgleich mit der Karawankennordrand-Überschiebung) von einer engständigen Schar WNW-ESE-streichender dextraler Blattverschie-

bungen zerlegt worden, zwischen denen es gleichzeitig zu NW-vergenger Verschuppung und Überschiebung gekommen wäre. Die NW-gerichtete Aufschiebung des Schlerndolomites auf die Hahnkogelserie im Bereich des Rosenbachsattels und mehr noch die Existenz jener schmalen, aus Hornsteinplattenkalken der Hahnkogelserie bestehenden Schuppe zwischen dem Conzendolomit an der Stirn der Hahnkogel-Einheit und den Dachsteinkalken der Mittagsgogel-Einheit im Liegenden (s. Abb. 3) könnte zwanglos in diesem Sinn gedeutet werden. Unterschiedliche Vorstellungen bestehen bezüglich der Frage, inwieweit derartige Störungen den unmittelbaren Bereich beider Tunnelröhren berühren und damit eine direkte Korrelierung der geologischen Verhältnisse zwischen diesen beiden Trassen verhindern. Während BUDKOVIC (1993) zwischen den beiden Tunnelröhren einen beträchtlichen Versatz vermutet, kommen wir in einem ungefähr ähnlich verlaufenden Profilschnitt (Abb. 5a) zum Ergebnis, daß ein solcher durch den an einer Störung lokal hochgeschleppten Span von Conzendolomit nur vorgetäuscht wird, ansonsten aber großräumig weitgehend ungestörte Lagerungsverhältnisse vorherrschen.

5.1. Straßentunnel

Die folgende Detailbeschreibung beschränkt sich bewußt auf den im Straßentunnel ab der Station 2128 (Nord) bis über die Staatsgrenze hinaus angeschnittenen Teil der Hahnkogel-Einheit. Im wesentlichen ist auf diesem Streckenteil die Serie der terrigenen Raibler Schichten aufgeschlossen. Unterlagert werden diese von Conzendolomit, dessen generelles Vorhandensein knapp unterhalb des Trassenniveaus durch gelegentlichen sohlseitigen Wasserzudrang (s. Kap. 6) erhärtet wird. Im Gegensatz zu den Verhältnissen im Bereich der östlichen Fortsetzung der Hahnkogel-Einheit im Potok-Graben (E Koschuta), wo der sedimentäre Kontakt zwischen Conzendolomit und den terrigenen Raibler Schichten gut belegt ist, liegen derart ungestörte Verhältnisse im Gebiet zwischen Bärengraben und Mittagsgogel nicht vor.

Dort ist der Kontakt dieser beiden Schichtglieder stets tektonisch überprägt. Der basale Teil der terrigenen Raibler Schichten fehlt meist.

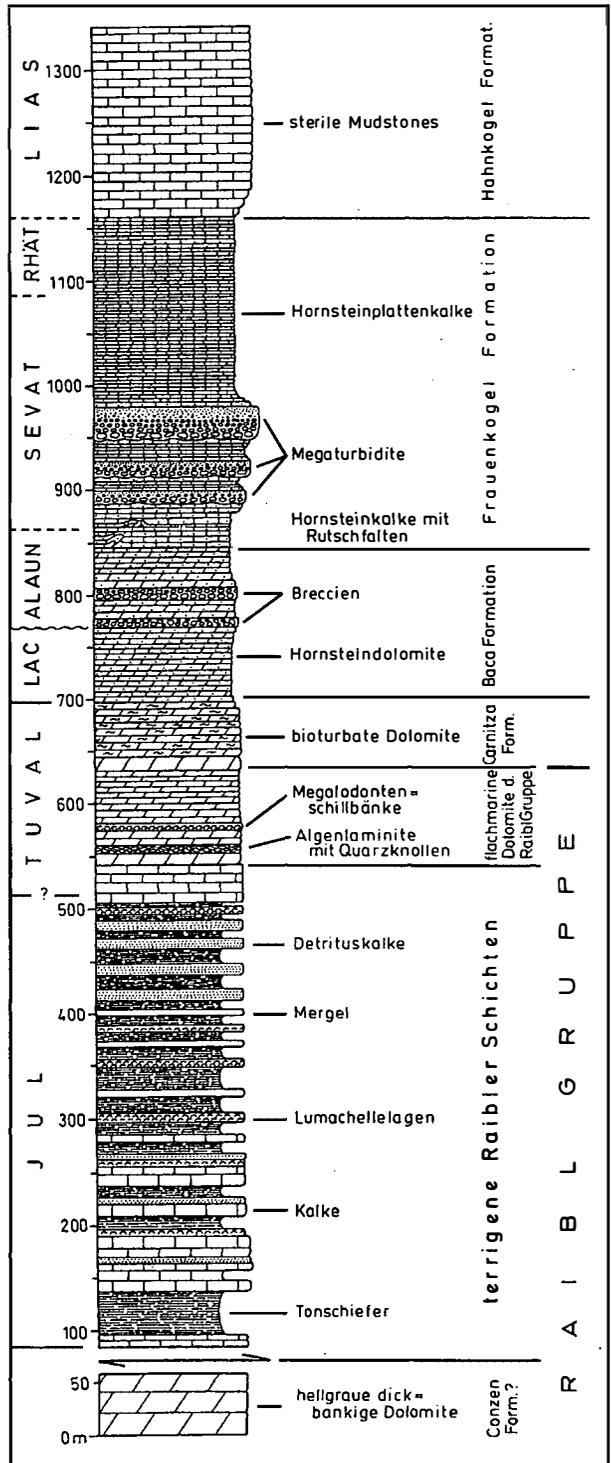


Abb. 3: Schichtfolge der Hahnkogel-Einheit.

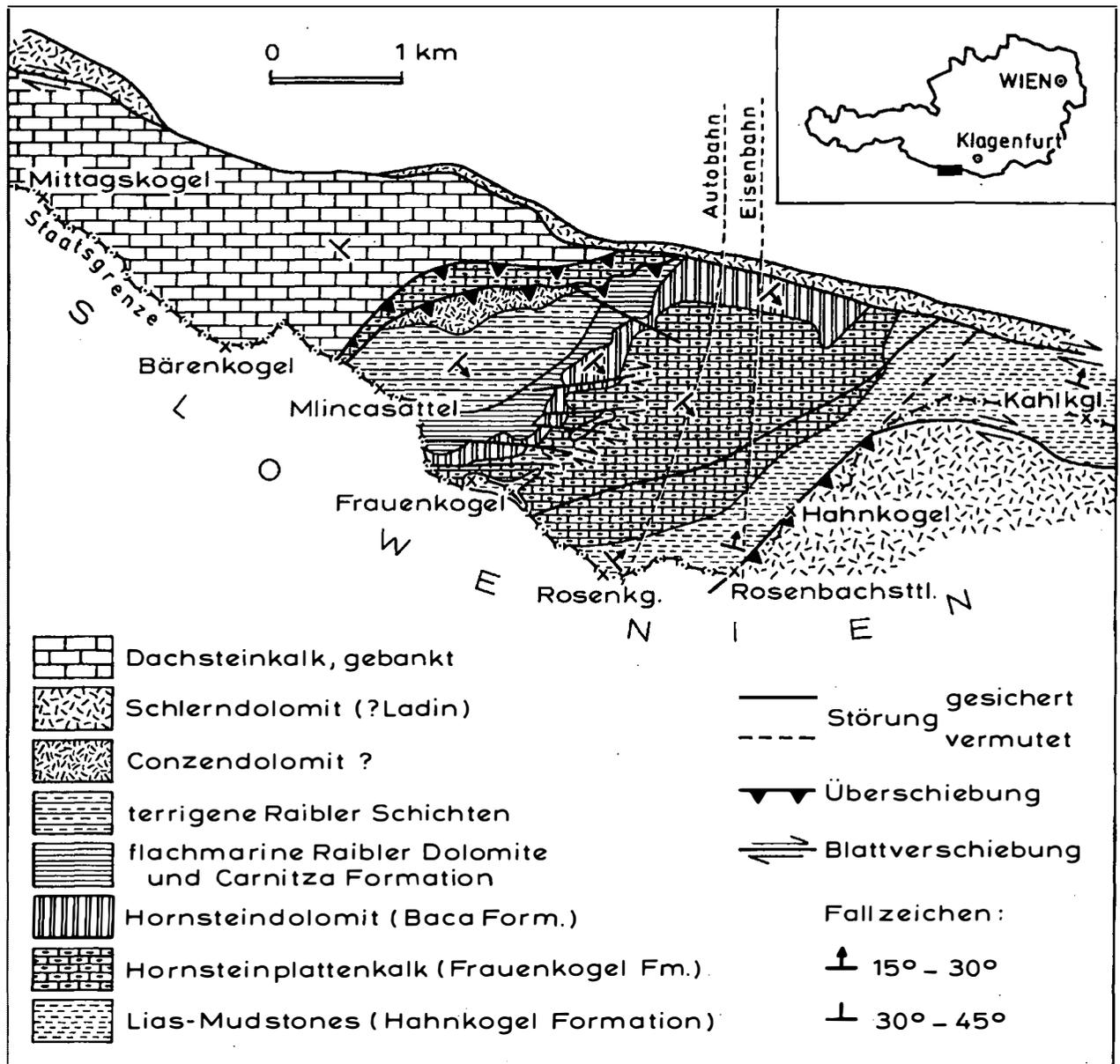


Abb. 4: Geologische Karte der Südkarawanken zwischen Mittagkogel und Kahlkogel (Aufnahme: SCHLAF, 1994).

Conzendolomit

In dem zwischen den Stationen 2680 und 3275 gelegenen Abschnitt wurden mehrfach (Abb. 5b) störungsbegrenzte Pakete von Conzendolomit angefahren. Es darf vermutet werden, daß diese Körper von einem System paralleler, ungefähr E-W-verlaufender Blattverschiebungen hochgeschuppt wurden.

Proben liegen von den Stationen 2688, 2747, 2777, 2905, 3060 und 3230 vor. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um völlig rekristallisierte

Seichtwasserkarbonate. Nur bedingt ist erkennbar, daß gut ausgewaschene grain- bis rudstones vorgelegen haben müssen. Vereinzelt auftretende Röhren könnten mit Vorbehalt als Dasycladaceen interpretiert werden.

Terrigene Raibler Schichten

Im Straßentunnel ist vor allem der tiefere bis mittlere Abschnitt dieser Serie aufgeschlossen. Bezüglich ihrer lithologischen Charakteristik wird

auf die Angaben im folgenden Kapitel (6) verwiesen.

In **mikrofazieller** Hinsicht besteht die Abfolge zum überwiegenden Teil aus wacke- bis packstones, die bisweilen noch einen feintrhythmischen Lagenbau aufweisen. Zumeist aber hat intensive Bioturbation das Sediment vollständig homogenisiert oder Lagen mit Flaserschichtung entstehen lassen. Vereinzelt sind mm- bis cm-starke grainstone- bis rudstone-Lagen zwischengeschaltet, welche als distale Tempestite gedeutet werden. Die darin massenhaft auftretenden black pebbles sind Hauptkennzeichen dieser Lagen und bezeugen ein regressives Ablagemilieu.

Stellenweise erhöhte Gehalte von organischem Kohlenstoff können als Ursache der Methanaustritte angesehen werden, die sowohl im Eisenbahn- als auch im Straßentunnel beobachtet wurden (s. Abb. 5b, 5c). Die feinkörnigen wacke- bis packstones sind generell dicht von authigen gesproßten Pyritkristallen durchsetzt.

Eine auffallende Erscheinung in dieser Serie ist die Verfüllung von (teilweise spätdiagenetisch erweiterten) Resthohlräumen durch **Anhydrit**. Die Schwefelisotopenuntersuchung einer daraus stammenden Anhydritprobe (Station 3520; det. E. Pak, Univ. Wien) erbrachte den unerwartet hohen Wert von +26,5, der deutlich von Ergebnissen zeitgleicher karnischer Meerwassersulfate abweicht, die zumeist zwischen +13 und +17 liegen (LETOLLE & ODIN, 1984). Unter Umständen erweist sich der den Restporenraum verfüllende Anhydrit als ein Remobilisat älterer (? permischer) Herkunft, wie das HOLSER (1992: 163) in anderen ähnlich gelagerten Fällen vermutet.

Fauna: In den mud- bis wackestones finden sich vereinzelt nicht näher bestimmbare dünn-schalige Bivalven, die von TELLER (1910: Taf. 2) ohne näheren diagnostischen Befund als „*Posidonomya wengensis*“ bezeichnet wurden. In den dazwischengeschalteten Schillbänken dominieren dagegen dickschalige Lamellibranchiaten; vereinzelt treten auch pachydonte Bivalven auf (Station 3520; Taf. 1/Fig. 2).

Conodonten:

In den Stationen 2270, 3339 und 3520 treten Conodontenassoziationen auf, die in dieser Form bislang nur aus karnischen Abfolgen des ungarischen Mittelgebirges bekanntgeworden sind (vgl. KOZUR & MOCK, 1991; KRISTAN-TOLLMANN et al., 1991). Es handelt sich dabei um eine *Misikella* sp., die ident ist mit der von CARTER et al. (1989: Taf. 1/Fig. 2) beschriebenen *Cornudina* sp., sowie um eine Form, die dem von KOVACS (in KRISTAN-TOLLMANN et al., 1991: Abb. 4) abgebildeten *Neospathodus* nov. spec. gleicht. Weiters treten neben „*Neohindeodella*“ sp. chirodeloide Astelemente auf.

Ostracoden:

Station 3520, det. Dr. E. Kristan-Tollmann:

Kerocythere (Kerocythere) raibliana raibliana (GÜMBEL)

Leviella rudis KRISTAN-TOLLMANN

Diese beiden Arten sind charakteristische Faunenelemente der Raibler Schichten.

Weitere Proben mit nicht näher bestimmbar Ostracoden stammen von den Stationen 2310 und 3339.

Foraminiferen:

Station 2996:

Aulotortus sinuosus WEYNSCHENK

Triadodiscus sp.

Station 3520:

?*Aulotortus sinuosus* WEYNSCHENK

Endothyra sp.

Endothyranella sp.

Triadodiscus eomesozoicus (OBERHAUSER)

Weitere nicht näher bestimmbare Foraminiferen in Steinkernerhaltung (pyritisiert) fanden sich auf Station 2374.

Insgesamt wird durch die oben angeführten Faunenelemente ein karnisches Alter dieses Schichtgliedes hinlänglich belegt.

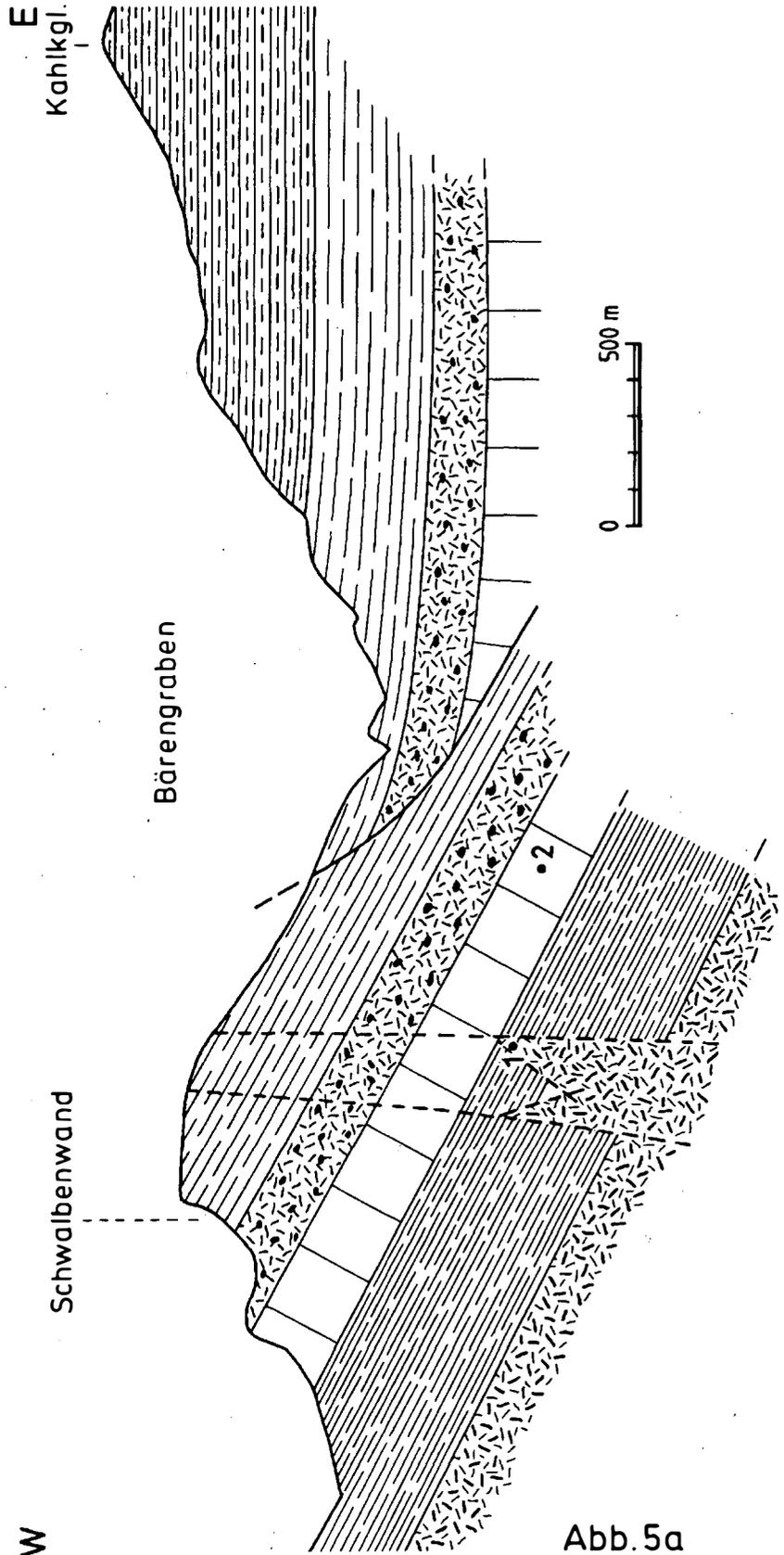
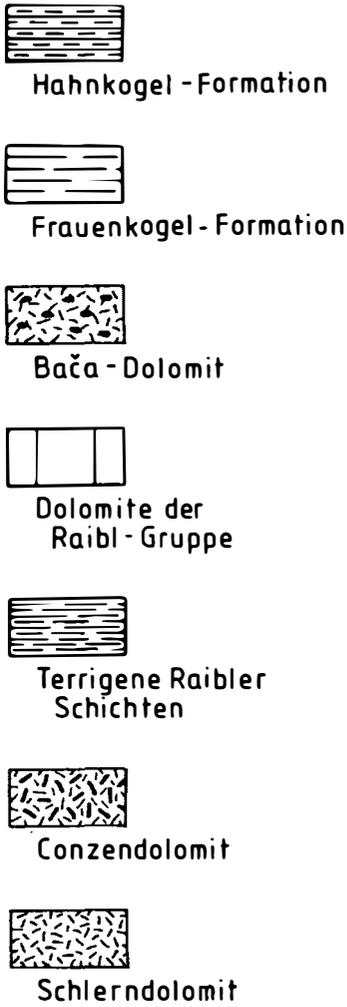


Abb. 5: Geologische Schnitte durch die Südkrawanken zwischen Mittagskogel und Kahlkogel. Beachte Lage des Straßentunnels (1) und des Eisenbahntunnels (2).

5a: W-E-Schnitt

5b: Ausschnitt aus dem Nordteil des Eisenbahntunnels (unter Benutzung der Angaben von TELLER, 1910).

5c: Ausschnitt aus dem Nordteil des Straßentunnels. Beachte Lage der Probenpunkte sowie Lokationen der Methanaustritte im Niveau der terrigenen Raibler Schichten.

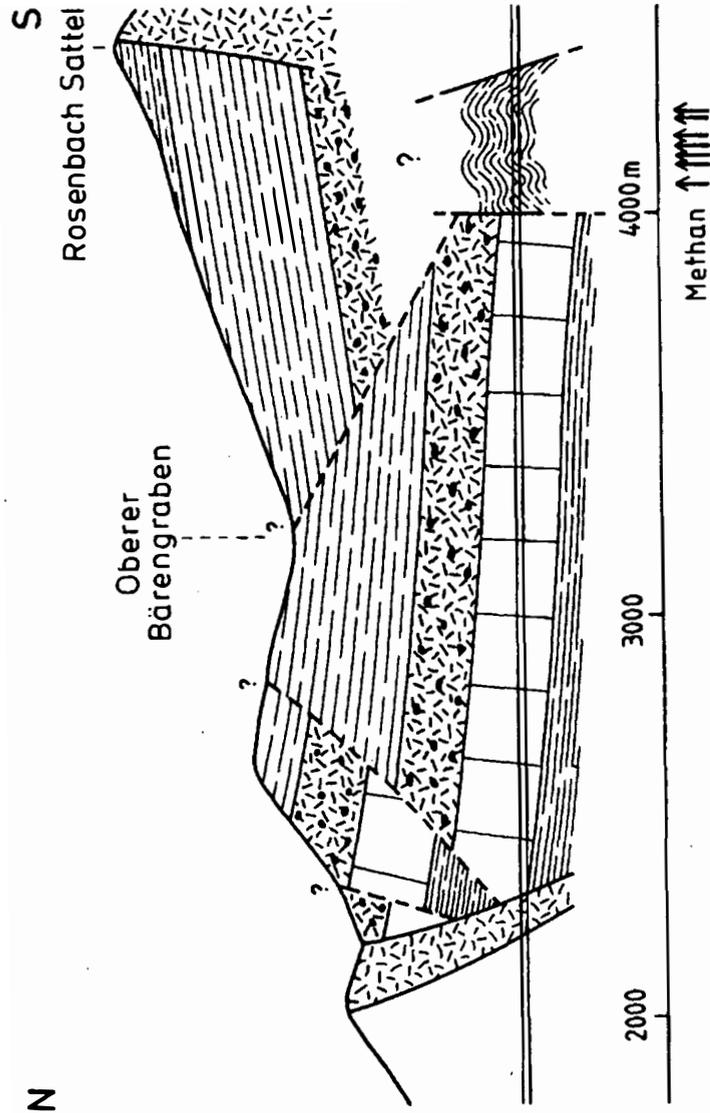


Abb. 5 b

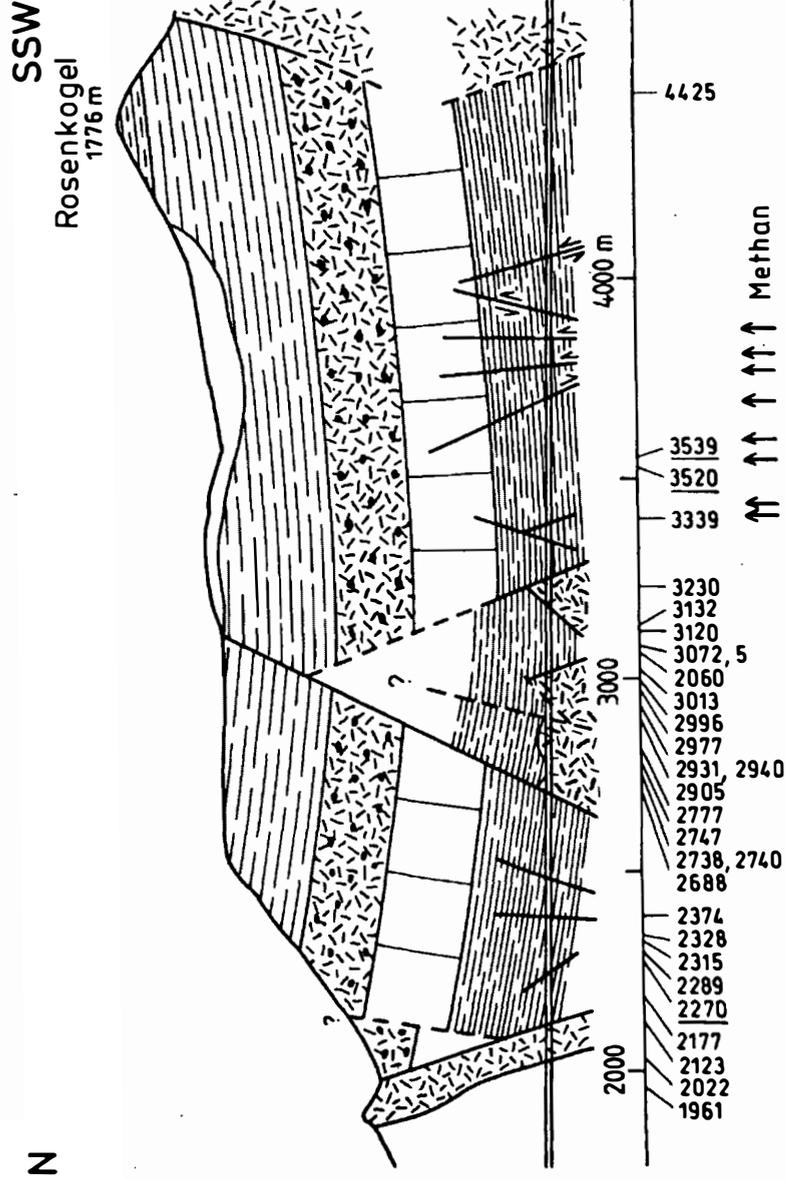


Abb. 5 c

5.2. Eisenbahntunnel

Bezüglich der näheren geologischen Situation im Eisenbahntunnel können trotz der sehr genauen Dokumentation TELLERS (1910) nur Vermutungen angestellt werden. Schon KAHLER (1954: 203) hat zu Recht darauf hingewiesen, daß manche der Deutungen des Gebirgsbaues, welche TELLER nach Fertigstellung des Tunnels gegeben hat, nicht richtig sein können. Auch lassen sich seine scheinbar detaillierten Angaben zur Lithologie des Tunnelprofils nur schwer in die von uns vorgeschlagene Seriengliederung umsetzen.

Hauptschwierigkeit bereitet vor allem jene mächtige Serie obertriassischer bis tiefjurassischer Plattenkalke und -dolomite, die von TELLER zusammengefaßt bzw. in nur zwei Serien aufgegliedert wurde, wodurch die wichtige Möglichkeit, interne Verstellungen innerhalb dieses Schichtpaketes erfassen zu können, verwirkt wurde. Für den von uns näher behandelten, im wesentlichen auf die Hahnkogel-Einheit beschränkten Abschnitt des Tunnelprofils können daher von TELLER nur die Raumdaten (Fallwerte) und die Hauptstörungen als **gesicherte** Fixpunkte übernommen werden.

Dagegen ist aus der Oberflächenkartierung die Lage der Hangend- und Liegendgrenze der Hornsteinplattenkalke (Frauenkogel-Formation), sowie deren nordöstliches, ungefähr hangparalleles Einfallen bekannt.

Wenn wir die Angaben TELLERS (1910: Taf. 2) richtig interpretieren, dann sollte der Tunnel (Nordseite) von Meter 2320 bis 4022 in Seichtwasser-Dolomiten des Hangendabschnittes der Raibl-Gruppe verlaufen. Die nach einer markanten Störung von Meter 4022 bis 4260 (Nordseite) anschließende Serie, von TELLER als „schwarze Plattenkalke und Kalkschiefer mit „*Posidonomya wengensis*“ bezeichnet, wäre der Abfolge der terrigenen Raibler Schichten gleichzusetzen.

Aus diesen beschriebenen Fixpunkten und der Kenntnis der Mächtigkeiten der beteiligten Serien folgt zwingend, daß der Profilschnitt der Tunneltrasse mehrere z.T. einen beträchtlicher Versatz (Aufschiebungen) bewirkende Störungen queren muß, deren genaue Lage aber unbekannt ist.

6. Baugeologische Verhältnisse im Karawantunnel-Nord

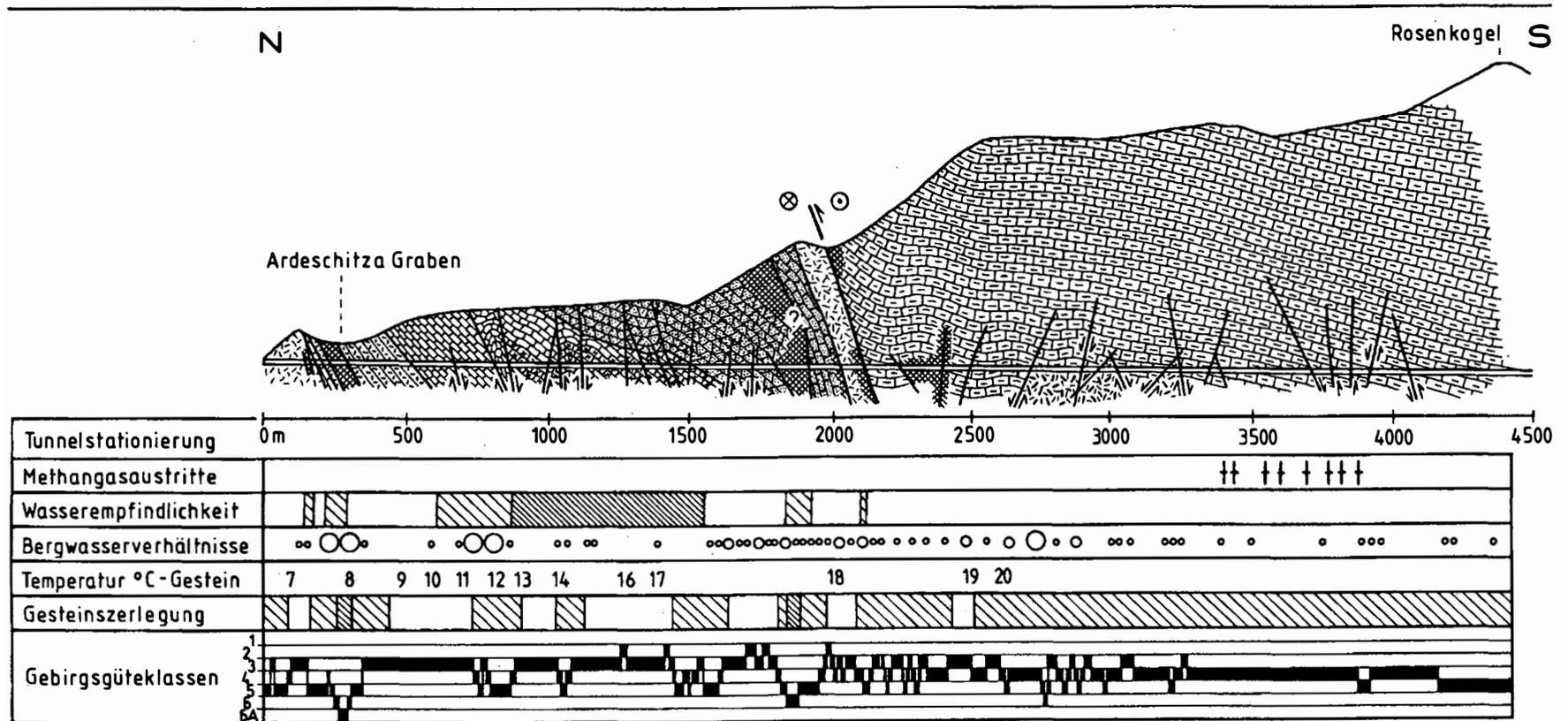
Über Beauftragung durch die Tauernautobahn AG wurde für den Autobahntunnel eine baugeologisch-geotechnische Dokumentation im Zuge der Vortriebsarten vom Büro Intergeo durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeiten wurden die folgenden, von den Autoren JESINGER und MÜLLER in gebotener Kürze dargestellten Beobachtungen gemacht.

Ab dem W-Portal (Stat. 0–195) wurde massig ausgebildeter, tektonisch beanspruchter Schlerndolomit aufgefahren. Ab Stat. 150 zeigte das Gebirge erhöhten Beanspruchungsgrad und kündigte bereits das Herannahen der Hauptstörungszone, welche zwischen Stat. 195 und 300 aufgefahren wurde, an. Es handelte sich um eine Schuppenzone von Werfener Schichten, Grödner Schichten, Schlerndolomit und Zellendolomit. Ab Stat. 250 trat starkes Bergwasser im Vortrieb auf und behinderte die Vortriebsarten derart, daß Sondermaßnahmen zum Einsatz kommen mußten. Aufgrund der Bergwassersättigung des total grusig zerrütteten Gebirges kam es zu Suffusionsvorgängen und in weiterer Folge zu rolligem Gebirgsverhalten. Es gelangte ein Firststollen (Stat. 264–295,5) zur Ausführung, mit vorausseilenden Injektions- und Entwässerungsmaßnahmen, nachdem mehrere Wassereintritte (bis zu 1501 l/sec) im Verein mit Materialeintritten (max. 200 Kubikmeter) stattgefunden haben.

Mittels Färbeversuchen konnte direkter Wasserzufluß aus dem darüberliegenden Ardeschitzgraben ausgeschlossen werden. In einzelnen Myloniten konnte die Präsenz von quellfähigen Tonmineralen nachgewiesen werden.

In weiterer Folge wurden bis Stat. 730 Karbonate der Bellerophon-Schichten und Werfener Schichten ausgebrochen. Das Gebirge zeigte aufgrund steilen S-Fallens, guter Bankigkeit und guter Verspannung des Gebirgsverbandes durchwegs günstiges Ausbruchverhalten. Lokal traten

Abb. 6: Geologischer Längsschnitt durch den Nordteil des Straßentunnels mit baugeologisch-geotechnischer Dokumentation.



 Fleckenkalke (= Hahnkogel-Fm., Lias), Hornsteinplattenkalk (= Frauenkogel-Fm., O. Nor), Hornsteindolomit (= Bača-Form., U.-M. Nor), Raibler Schichten (Karn)
 Conzendolomit (Karn)
 Schlerndolomit (Ladin)
 Graue Bankkalke (M.-O. Anis)
 Graue Bankdolomite (U.-M. Anis)
 Mylonit

 Werfener Schichten (Skyth), Ton- u. Siltsteine + Gips- u. Anhydritlagen
 Bellerophon-Dolomit (O. Perm)

Wasserempfindlichkeit:
 unverändert
  leicht löslich
  quellend

Gesteinszerlegung:
 schwach
  stark
  völlig

immer wieder Verfaltungen im Meterbereich um E–W-streichende Faltenachsen auf.

Bis Stat. 1545 wurden Werfener Schichten, in Form von Kalken, Mergeln, Silt- und Tonsteinen, durchörtert. Generell wurden Gips- und Anhydritgehalte festgestellt, was aus mineralogischen Gründen (mögliches Schwelldruckverhalten) auch in günstigeren Gebirgsgüteklassen lokal zum Einbau eines Sohlgewölbes führte.

Das Gebirge wies gegen Süden versteilende Lagerungsverhältnisse auf und zeigte lokal durch bruchhaft verformende Querverwerfer mit Versatzhöhen bis 10 m intensiv zerrüttete Breccienbereiche, welche das Gebirgsverhalten nachhaltig negativ beeinflussten.

Um Stat. 755 austretendes Bergwasser (ca. 501 l/sec) bedingte im Verein mit Gipsvorkommen die Anwendung sulfatbeständigen Zementes; dies wurde auf den gesamten Abschnitt der Werfener Schichten ausgedehnt.

Die abschnittsweise relativ flache, gegen Süden einfallende Lagerung trug, bedingt durch die ansteigende Überlagerung die Möglichkeit in sich, daß es im Zuge des Ausbruches durch Spontanentspannung zur „Sargdeckelbildung“ kommen könnte. Dem wurde durch den raschen Einbau einer sofort wirksam werdenden Swellexankerung vorgebeugt.

Das Gebirgsverhalten in diesem geologisch-lithologischen Homogenbereich war großteils gebräch bis lokal leicht drückend.

Im folgenden Vortriebsabschnitt (Stat. 1545–1957) wurden graue, dickbankige, massige Dolomite („Anisdolomit“) mit flachem Einfallen gegen Süden aufgeföhren. Das Trennflächengefüge und die „rauhwackenähnliche“ Umsetzung verursachten teilweise kräftige Gebirgszerlegung. Ab Stat. 1630 wies der Dolomit massigen Charakter auf; dieser Homogenbereich setzte sich bis Stat. 1725 fort.

Ab Tunnelstation 1790 traten infolge verstärkter chemischer Umsetzung Zellendolomite und rauhwackoide Gesteinsbereiche in Erscheinung. Dies führte ebenfalls zu erhöhtem Bergwasserandrang und zu Stabilitätsproblemen der Ortsbrust (Stat. 1830–1880). Es mußte ein Brustkeil belassen werden und das umgebende Gebirge

wurde mittels Injektionsrohrankern konsistent. Der Übergang zur nächsten geologischen Einheit bis Stat. 1957 war tektonisch überprägt.

Zwischen Stat. 1957 und 2043 waren anisische Plattenkalke zu durchörteren. Dieser beidseitig tektonisch begrenzte Komplex wies insgesamt plattigen Gebirgscharakter auf und war kräftig verfaltet. Bei guter Gesteinsqualität führte die Verfaltung zu guter Verzahnung und Verspannung des Gebirgsverbandes und damit zu erhöhter Standfestigkeit. Gestörte Gebirgsbereiche wiesen wiederum verstärkten Bergwasserandrang, graphitische Tonzwischenlagen und damit verminderte Gebirgsstabilität auf. Von Stat. 2040 bis Stat. 2128 folgte, beiderseits von steilstehenden Störungen begrenzt, ein Span von Schlerndolomit. Der meist hellgraue Dolomit wies, trotz erheblicher tektonischer Beanspruchung, ausreichende Verbandsfestigkeit durch intensive Verzahnung der einzelnen Kluftkörper auf, sodaß vorwiegend gebräches Gebirgsverhalten charakteristisch war. Durchwegs leicht rinnende Bergwasserzutritte führten lokal zu Materialnachfall. Gegen Süden fortschreitend machte sich im Zuge der Vortriebsarbeiten zunehmende tektonische Beanspruchung bemerkbar. Von einigen Unterbrechungen abgesehen verläuft der Tunnel von Stat. 2128 bis Stat. 4414 in Gesteinen der Raibler Schichtengruppe, bestehend aus dunkelgrauen Dolomiten mit wechselnden Bankmächtigkeiten und geringmächtigen Tonschieferzwischenlagen, sowie aus dunkelgrauen, dickbankigen bis plattig-schiefrigen Mergeln. Am Übergang Schlerndolomit/Karn war erhöhter Bergwasserzutritt zu verzeichnen. Mit zunehmender Entfernung vom Schlerndolomitkomplex ging auch abnehmender Bergwasserandrang einher.

Geringmächtige Tonschieferlagen begünstigten immer wieder Ablösungen an den Schichtflächen, brustparallele Mylonitbahnen wiesen auf intensive tektonische Blockbewegungen hin. Diese Zonen waren durch geringe freie Standweite charakterisiert. Im Bereich um Stat. 2250 erzwang eine Vielzahl von Harnischflächen und kataklastischen Breccien erhöhten Ausbauwiderstand. Eine mineralogische Besonderheit war das

Auftreten von Asbest („Bergfeder“) in Form von filzigen Klufbelägen; dies wurde auch bereits beim Vortrieb des Eisenbahntunnels beobachtet. In weiterer Folge wechseln Zonen geringerer und stärkerer tektonischer Beanspruchung ab, was sich auch direkt im Wechsel der Gebirgsgüteklassen widerspiegelt.

Ab Stat. 2400 folgte eine vorwiegend dolomitische Abfolge mit flacher bis söhliger Lagerung. Bitumenführung und lokale Methangasemanationen geringer Konzentration waren die Besonderheiten.

Ab Stat. 2500 stellte sich achsparalleles Streichen mit flachem bis mittelsteilem Ostfallen ein. Auf Zerrüttungsstreifen stellten sich immer wieder stärkere Bergwasserzutritte ein. Ab Stat. 2680 wurde eine Wechselfolge von dunkelgrauen Mergeln, Tonmergeln mit hellem Dolomit durchörtert, wobei der Dolomit (= Conzendolomit) das Liegende der terrigenen Raibler Schichten darstellt. Um Stat. 2735 stand der Vortrieb vollends in der karnischen Mergelfolge mit Tonmergelzwischenlagen. Um Stat. 2745 wurde neuerlich in der Ausbruchsohle Conzendolomit angefahren. Unter Druck hochwallende Bergwässer indizierten gespannten Bergwasserzustand am Kontakt Conzendolomit/terrigenen Raibler Schichten. Generell waren diese Kontakte durch Scherbewegungen stark beansprucht, steile Auffaltungen, Einschuppungen und Schleppungen von Gesteinspaketen waren die Regel.

Heftiger Bergwasserandrang im Bereich der Kontaktzonen führte zu laufenden Stabilitätsproblemen. Aus hydrogeologischer Sicht auffallend waren die erhöhten Wassertemperaturen bis 19°C und starke H₂S-Geruchsentwicklung.

Zwischen Stat. 2761 und 2800 stand das gesamte Ausbruchsprofil vollends im massigen Conzendolomit, und zwischen Stat. 2800 und 2850 wurden wiederum SE-einfallende Tonmergel im Kontakt mit Conzendolomit angetroffen. In diesem Bereich war aufgrund von Festigkeits- und Spannungsanisotropien die Erhöhung des Ausbauwiderstandes erforderlich. Es trat gespanntes Bergwasser in den Hohlraum, wobei ein Gesamtzufluß von 210 und 240 l/sec zwischen Stat. 2600 und 2930 gemessen wurde.

Von Stat. 2845 bis 2870 trat wieder kurzfristig Conzendolomit in das Gesamtprofil, abermals gefolgt von einem tektonischen Kontaktbereich zwischen Tonmergeln im Hangenden und Conzendolomit im Liegenden. Am Kontakt trat wieder erhöhter Bergwasserandrang in Erscheinung, mit starkem Schwefelwasserstoffgeruch (Sulfatgehalt 69 mg/l) und geringen Methangasexhalationen.

Bei einer Auffahrlänge von 2845 lfm. wurde am Tunnelportal ein Gesamtwasserabfluß von rund 400 l/sec gemessen.

Derartige Conzendolomithorste, an Bruchzonen in die Tonschieferabfolge eingeschoben, waren noch zwischen Stat. 3005 und 3070 und zwischen Stat. 3270 und 3275 zu durchörteren. Das Antreffen dieser Dolomitizonen führte durchwegs zu günstigerem bautechnischen Gebirgsverhalten und dementsprechend zu geringerem Stützmittelaufwand.

Zwischen diesen Dolomitkörpern waren immer wieder Abfolgen von dunkelgrauen Mergeln, Ton- und Dolomitmergeln vortriebstechnisch zu bewältigen, geprägt von dünnbankiger bis bankiger Gebirgsfazies, Faltungen der relativ inkompetenten Schichtglieder im Meterbereich und flachem Einfallen gegen Osten. Das aus der Sohle hochdringende Bergwasser deutete auf die unmittelbare Nähe des Conzendolomites im Liegenden hin.

Bei Tunnelstation 3275 wurde eine nahezu brustparallele Störung mit einer tektonischen Reibungsbreccie und einem etwa 1 m mächtigen Tonmylonit aufgefahren. Ab diesem Zeitpunkt befand sich der Vortrieb bis zur Stat. 4414 (Staatsgrenze) permanent in der Serie der terrigenen Raibler Schichten, bestehend aus bankigen bis dünnplattigen, dunkelgrauen Kalken, Dolomiten und Tonmergeln. Zunächst geprägt von flachem Einfallen gegen Süden, dreht das Einfallen der Pakete nach einem bei Stat. 3320 spitzwinkelig zur Tunnelachse streichenden Störungstreifen auf mehr oder weniger flach gegen ENE.

An lokal auftretenden E–W-streichenden Großklüften waren geringe vertikale Versatzsprünge erkennbar. Auf Zonen starker tektoni-

scher Zerrüttung, welche gute Wegsamkeit boten, waren Methangasemanationen feststellbar, mit Konzentrationen bis zu 5% CH₄, meßbar in den Bohrlöchern, bei Durchmischung mit Luft vor Ort wurde jedoch die Grenze von 1% CH₄ nie erreicht.

In der lithologisch relativ monotonen Mergelfolge traten lokal stärkere Zerrüttungszonen auf, welche häufig von Faltungsstrukturen (Schleppfaltung, Isoklinalfaltung etc.) begleitet waren. Ungünstige Verschnitte mit Tonmergellagen in der Firste führten infolge geringer Festigkeit und Spannungsanisotropien zu unsymmetrischen, geologisch bedingten Überprofilen (insbesondere zwischen Stat. 3730 und 3760).

Die Faltenstrukturen weisen auf E-W-gerichtete Einengung hin.

Gebirgsbereiche mit stärkerer Tonmineralbeileiligung waren im Zusammenhang mit Tropfwasser durch erhöhte Teilbeweglichkeit des Verbandes charakterisiert.

Gegen Stat. 1000 verstärkte sich die tektonische Beanspruchung, und die Anordnung der Faltungsachsen wies auf Nord-Süd-Einengungstektonik hin. Ab Stat. 4100 waren die Lagerungsverhältnisse des Gebirges völlig tektonisch überprägt, was bei der beachtlichen Überlagerung von etwa 920 m zur Entwicklung druckhaften Gebirgsverhaltens führte. Zwischen Stat. 4230 und 4290 mußte neuerlich eine mächtige Zerrüttungszone aufgefahien werden, an deren Ende das generelle Einfallen des Gebirges von flach gegen Osten auf steil gegen NNE bis 30° NNE drehte.

Auf Zerrüttungszonen, welche während des Auffahrens durchwegs gutmütiges gebirgsmechanisches Verhalten aufwiesen, zeigten sich im Langzeitverhalten im Zuge des Spannungsumlagerungsprozesses Abplatzungen im Spritzbeton. Scherstauchung der Stahlbögen und teilweises Reißen der Ankerstangen kündigten das Aufkommen stärkerer Verformungen mit konstanter Geschwindigkeit (bis max. 25 mm/Tag) an. Dieser Erscheinung wurde mit verstärkter Ankerung mittels 6-m-SN-Ankern erfolgreich begegnet. Diese Vorgangsweise bedingte ein rasches Abklingen der Verformung. Diesbezüg-

lich besonders aktive Zonen wurden zwischen den Stationen 2450 und 4350 wiederholt aufgefahien.

Dabei wurden einerseits tektonische Zerrüttung, erhöhte Teilbeweglichkeit des Gebirgsverbandes durch Tonanteile, Kontaktzonen zwischen Gebirgsbereichen kompetenter und inkompetenter Eigenschaften, mächtigere Überlagerungsverhältnisse (bis 950 m), und nicht zuletzt gerichtete tektonische Restspannungen bzw. auch rezente tektonische Spannungen für diese Erscheinungen verantwortlich gemacht.

Das Hauptmaß der Verformung entwickelte sich etwa im Abstand des 1- bis 1,5-fachen Tunneldurchmessers hinter der Ortsbrust, wobei, bedingt durch gerichtete Spannungen, vor allem die östliche Ulme in Mitleidenschaft gezogen wurde.

Anzumerken ist noch die Verbruchssituation um Stat. 2749 am Kontakt Mergel-Dolomit. Bedingt durch das Zusammenwirken von tektonischer Zerrüttung und Bergwasserandrang kam es zu einem domartigen Nachbruch in der Größenordnung von 120 m³. Diese Situation bedingte aufwendige Sanierungsmaßnahmen.

Besonders erwähnenswert erscheint, daß zur Einschränkung des laut Stützungsmaßnahmeplanes vorgesehenen Einbaues eines Sohlgewölbes in der GGKI IV-VI unter Berücksichtigung aller baugologisch-geotechnischer und mineralogischer Parameter und nach Durchführung von zusätzlichen Kernbohrungen bei Stat. 910, 1067, 1135, 1250, 1355, 1425, 2620 2660 unter Einbeziehung mineralogischer Untersuchungen mit dreiachsigen Schwellldruckuntersuchungen sowie „in situ“ dreiachsialen Quelldruckmessungen unter Bewässerung (Abb. Action de Type e g.) folgende Festlegungen getroffen wurden: In Bereichen, in welchen die Gefahr des Aufkommens von Quelldruckerscheinung aus geologisch-mineralogischen Gründen (d.h. Präsenz von Anhydrit oder quellfähigen Tonmineralphasen) besteht, wird unabhängig von der festgelegten Gebirgsgüteklasse ein Sohlgewölbe eingebaut. Das heißt, es kam lokal auch in Abschnitten mit Gebirgsgüteklasse II und III ein Sohlgewölbe aus Sicherheitsgründen zur Ausführung.

Dank

Die Probenaufbereitung und Separierung von Foraminiferen aus den Rückständen der Lösproben wurde mit Mitteln der Hochschuljubiläumsstiftung der Stadt Wien unterstützt. Weiters danken wir Frau Doz. Dr. E. KRISTAN-TOLLMANN und Herrn Doz. Dr. W. PILLER für die Bestimmung der Ostracoden- und Foraminiferenfaunen.

Literatur

- ANDERLE, N. (1977): Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50000, Blatt 201–210 Villach-Assling. – Geol. B.-A., Wien.
- BAUER, F. K., BUDKOVIC, T., FERJANCIC, I. & POLTNIK, W. (1993): Geologische Karte der Westkarawanken zwischen Wurzenpass und Kahlkogel, 1:25000. – Klagenfurt-Ljubljana.
- BUDKOVIC, T. (1991): Geologische Struktur im Tunnelbereich. – Cestni inženiring p. o. (eds.): Geologie und Geotechnik-Karawankentunnel, 21–29, Ljubljana.
- BUDKOVIC, T. (1993): Geologische Profile zur Geologischen Karte der Westlichen Karawanken zwischen Wurzenpass und Kahlkogel, 1:25000. – Klagenfurt-Ljubljana.
- BUSER, S. & CAJHEN, J. (1977): Osovna Geoloska Karta SFRRJ, 1:10000, Blatt Celovec (Klagenfurt). – Beograd.
- HOLSER, W. T. (1992): Stable isotope geochemistry of sulfate and chloride rocks. – Lecture notes in Earth Sci., **43**, 153–176, 6 Abb., Berlin etc. (Springer).
- HOLZMANN, M. (1993): Paläoökologie und Stratigraphie der Tor Formation (Raibl Gruppe; Karn; Trias). – Unveröff. Dipl. Arb., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 149 S., 71 Abb., 6 Tab., 10 Beil., Wien.
- JURKOVSEK, B. (1986): Osovna Geoloska Karta SFRRJ, 1:10000, Blatt Beljak in Ponteba. – Beograd.
- KAHLER, F. (1954): Mußte der Bau des Karawankentunnels so schwierig sein? – Geol. Bauwesen, **20/4**, 198–211, 6 Abb., Wien.
- KERN, A. (1980): Bericht zur Kartierung des Mittagkogel-Gebietes. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **26**, 1–8, 1 Beil., Wien.
- KOLAR-JURKOVSEK, T. (1994): Microfauna from the Upper Triassic of Karavanke Mts (Slovenia). – Mem. de Géol. (Lausanne), **22**, 53–62, 2 Abb., 1 Taf., Lausanne.
- KOZUR, H. & MOCK, R. (1991): New Middle Carnian and Rhaetian Conodonts from Hungary and the Alps. Stratigraphic Importance and Tectonic Implications from the Buda Mountains and Adjacent Areas. – Jb. Geol. B.-A., **134/2**, 271–297, 1 Abb., 7 Taf., Wien.
- KRISTAN-TOLLMANN, E., HAAS, J. & KOVACS, S. (1991): Karnische Ostracoden und Conodonten der Bohrung Zsambek-14 im Transdanubischen Mittelgebirge (Ungarn). – Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, Tl. 1, 193–219, 4 Abb., 5 Taf., Wien.
- KRYSZYN, L., LEIN, R., SCHLAF, J. & BAUER, F. (1994): Über ein neues obertriadisch-jurassisches Intraplattformbecken in den Südkarawanken. – Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, Tl. 2, 409–416, 4 Abb., Wien.
- LIEBERMAN, H. M. (1978): Carnitza Formation – ein neuer Begriff für oberkarnische Beckenkalke der südlichen Kalkalpen bei Raibl (Cave del Predil, Italien). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **25**, 35–60, 7 Abb., Taf. 16–20, Wien.
- POLINSKI, R. (1991): Ein Modell der Tektonik der Karawanken, Süd-Kärnten, Österreich. – Diss.; Fak. Bio-Geowiss. Univ. Karlsruhe, 143 S., 1 Kt., div. Abb., Karlsruhe.
- SCHLAF, J. (1994): Fazies und Stratigraphie in den Südkarawanken zwischen Mittagkogel und Kahlkogel. – Unveröff. Diplomarb., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 120 S., 85 Abb., 6 Beil., Wien.
- SEELMEIER, H. (1942): Der geologische Bau zwischen dem Gr. Mittagkogel und dem Gr. Suchagraben in den Karawanken. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **33** (1940), 1–10, 3 Abb., 1 Kt., Wien.
- TELLER, F. (1896): Erläuterungen zur Geologischen Karte der östlichen Ausläufer der Karnischen und Julischen Alpen (Ostkarawanken und Steiner Alpen). – Geol. R.-A., 262 S., Wien.

TELLER, F. (1910): Geologie des Karawankentunnels. – Denkschr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., **82**, 145–250, 29 Abb., 3 Taf., Wien.

VILANEK, J. (ed.) (1991): Der Karawanken-Strassentunnel und die Rampenstrecken. – 252 S., 207 Abb., Salzburg-Ljubljana.

WINKLER, A. (1924): Ueber den Bau der östlichen Südalpen. – Mitt. Ges. Geol. Wien, **16** (1923), 1–272, 27 Abb., 4 Taf., Wien.

Anschriften der Verfasser:

Doz. Dr. Richard Lein, Mag. Jürgen Schlaf, Institut für Geologie, Althanstr. 14, A-1090 Wien, Austria; Dr. Peter J. Müller, INTERGEO, Jakob-Haringer-Str. 8, A-5020 Salzburg, Austria; Prof. Dr. Leopold Krystyn, Institut für Paläontologie, Althanstr. 14, A-1090 Wien, Austria; Dr. Dirk Jesinger, INTERGEO, Jakob-Haringer-Str. 8, A-5020 Salzburg, Austria.

Manuskript eingegangen: 31. März 1995

Tafel 1

Terrigene Raibler Schichten aus dem Karawanken-Straßentunnel; Vergrößerung 3,3-fach.

Fig. 1: Station 2328; wacke- bis packstones (stark Pyrit-durchstäubt) mit zwischengeschalteten hellen Biogenschutt-lagen.

Fig. 2: Station 2996; bioklastischer grainstone mit onkolithisch umkrusteten Lamellibranchiaten (Pfeil). In den hellen Bildteilen Anhydritsprossung.

Fig. 3: Station 3160; bioklastischer packstone. Pfeil: Grabbau, mit dünnen Ostracodenschalen verfüllt.

Fig. 4: Station 3520,2; grainstone, reich an black pebbles. Megalodontenquerschnitt mit Anhydritfüllung.

