

Die geologisch - hydrogeologischen Voruntersuchungen zum Ausbau der Tunnelkette der A 9 Pyhrnautobahn

BECHTOLD, D.

A EINLEITUNG

Die Österreichische Autobahnen- und Schnellstrassen AG (ÖSAG) hat im Frühjahr 1998 mit dem Ausbau der A 9, Pyhrn Autobahn, im Abschnitt zwischen dem Ortsteil Schön, Gemeinde Micheldorf, und der provisorischen Anschlussstelle Lainberg Nord, Gemeinde St. Pankraz im Teichltal, begonnen. Der etwa 14 km lange Autobahnabschnitt wird in mehrere Baulose unterteilt, wobei im Teilbereich von Schön bis zur Anschlussstelle Klaus der Vollausbau erfolgt, während südlich von Klaus bis zur Querung der Teichl nahe deren Mündung in die Steyr nur die westliche Richtungsfahrbahn ausgebaut wird. Der anschließende Abschnitt bis zur Einbindung in den Bestand wird wiederum im Vollausbau errichtet.

Im vorliegenden Bericht werden die mit den geologisch-hydrogeologischen Voruntersuchungen erfassten baueologischen Verhältnisse der Tunnelkette der A 9 kurz erläutert. Weiters wird beispielhaft für den Kienbergtunnel gezeigt, wie die Umsetzung der Ergebnisse der Baugrunderkundung in die Prognose von Gebirgsarten und Gebirgsverhältnissen erfolgte.

B ZUM BAUVORHABEN

Zu Beginn der 80er Jahre wurde für die A 9 im oberösterreichischen Abschnitt vom damaligen Generalplaner Dipl.-Ing. W. Pejrimovsky eine Linienführung entwickelt, die von der Ortschaft Schön bei Micheldorf bis zur Einmündung der Teichl in die Steyr bei St. Pankratz sechs Tunnels vorsah. Im nach Süden anschließenden Abschnitt bis zum Lainbergtunnel wurde die Trasse am südlichen Hangfuß des Teichltales situiert, wobei auch in diesem Teilabschnitt Tunnelbauwerke, die in offener Bauweise zu errichten waren, notwendig wurden. Die Abbildung 1 zeigt die Tunnelbauwerke in diesem Abschnitt.



Abbildung 1: Die Tunnel der Pyhrn Autobahn im Abschnitt zwischen Micheldorf und St. Pankraz

Die geologischen Voruntersuchungen für den Bau dieses Autobahnabschnittes erstreckten sich über einen Zeitraum von mehr als 15 Jahren. Zur Anwendung kamen in einer ersten Phase klassische Methoden wie intensive Literaturstudien, Luftbildanalysen zur Erfassung von Strukturmerkmalen sowie umfangreiche geologische Kartierungen eines entsprechenden Trassenstreifens mit detaillierten strukturgeologischen Untersuchungen. Diese erste Phase der Baugrunderkundung endete in einem Prognosemodell des generellen geologischen Baues der zu durchörternden Sengsen-Gebirgskette und war Grundlage der Behördenverfahren.

In der anschließenden Baugrunduntersuchung für die Vorbereitung der Tunnelausschreibung Ende der 80er Jahre wurden mit Rotationskernbohrungen, seismischen Untersuchungen und ergänzenden geologischen Kartierungen vor allem die Portale und Lockergesteinsabschnitte der Tunnelstrecken sowie die Gründungszonen der Talübergänge und Brücken untersucht. Ergänzend zu den geologischen Charakterisierungen der angetroffenen Baugrundverhältnisse wurden an ausgewählten Bohrkernen boden- und felsmechanische Laboruntersuchungen ausgeführt und damit Grundlagen für eine generelle Planung geschaffen.

Es verblieben jedoch erhebliche Prognoseunsicherheiten für die bis 700 m überdeckten Mittelabschnitte der Tunnel, die nur durch tiefe Bohrungen oder Sondierstollen verringert werden konnten. Da sich der Bauherr Mitte der 90er Jahre entschloss, vorerst den Halbausbau der Tunnelkette zu betreiben, war zur Abdeckung der Sicherheitserfordernisse im Tunnelbetrieb ein Ausbau von Fluchtstollen erforderlich. Es wurde in Diskussionen über den Stand der geologischen Prognose und der Bauabwicklung entschieden, die Fluchtstollen vor dem Ausbau der Autobahnstrecke zu errichten und als Sondierstollen für die Ausschreibung des Tunnelbaues zu nutzen.

Zur Ausführung kamen in den Jahren 1996/1997 insgesamt vier Fluchtstollen, die einen detaillierten Aufschluss des geologischen Baues entlang der Tunnelkette lieferten. Neben der laufenden geologischen Aufnahme dieser Fluchtstollen konnte in Aufweitungen bis zum Kalottenquerschnitt des späteren Haupttunnels das Gebirgsverhalten beobachtet und durch geotechnische Messungen detailliert erkundet werden. Mit den bereits erwähnten Fluchtstollen wurden ca. 500 m des südlichen Teils des Kienbergtunnels, etwa 800 m des Klausertunnels sowie 800 m des nördlichen Teils und 1000 m des südlichen Teils des Springtunnels aufgeschlossen.

Anhand dieser baugeologischen Voruntersuchungen und Dokumentationen der Sondier- bzw. Fluchtstollen konnte für den Tunnelausbau eine für viele Abschnitte bereits sehr detaillierte geologische Prognose ausgearbeitet werden, die auf einer Gliederung der zu erwartenden Gebirgsverhältnisse in Homogenbereiche aufbaute. Im nachfolgenden Kapitel wird ein Überblick über die baugeologischen Verhältnisse in der gesamten Tunnelstrecke gegeben.

C GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Mit der „Tunnelkette“ der A 9, Pyhrn Autobahn, werden Teile der „Nördlichen Kalkalpen“ durchörtert. Die Tabelle 1 zeigt die Gesteinsschichten, die innerhalb der kalkalpinen Abfolge im Bereich Micheldorf – Windischgarsten im Baubereich zu erwarten waren. Wie die Voruntersuchungen gezeigt haben, dominieren Hauptdolomit und Wettersteinkalk/dolomit die Schichtabfolge, die Anteile an Lunzer Schichten, Opponitzer Schichten und Reiflinger Kalk beschränken sich auf kurze Abschnitte im Bereich der Deckengrenzen und regional wirksamen Störungszonen.

Bekanntlich handelt es sich bei den Nördlichen Kalkalpen um ein Deckengebirge, dessen interner Deckenbau vorwiegend in der Kreidezeit entstand. Die tiefste und zugleich nördlichste Decke wird als **BAJUVARIKUM** bezeichnet und kann in den östlichen oberösterreichischen Kalkalpen in zwei Teildecken gegliedert werden: Die tiefere Ternberger Decke und die höhere Reichraminger Decke. Darüber befindet sich das **TIROLIKUM** mit der Staufen-Höllengebirgs-Decke (möglicherweise noch mit dem Bajuvarikum in Verbindung zu bringen), der Totengebirgs-Decke und der Warscheneckdecke. Im Hangenden und südlichsten Kalkalpenbereich folgt das **JUVAVIKUM** mit ebenfalls mehreren Teildecken.

Die Tunnelkette durchörtert von Nord nach Süd zunehmend höhere Deckeneinheiten. Vom Kienberg bis hin zum Springtunnel reicht die Reichraminger Decke, daran schließt die Staufen-Höllengebirgsdecke an. Unter diesen kalkalpinen Sedimentstapeln lagern die penninischen Sedimente, die am Nordrand der Kalkalpen als Flyschzone verbreitet sind. Im Bereich um Windischgarsten sowie im westlich anschließenden Teichtal sind die Sedimente der Flyschzone durch jüngere Bewegungsvorgänge hochgeschleppt und in mehreren tektonischen „Fenstern“ aufgeschlossen.

Der Transport der Gesteinsmassen über mehrere hundert Kilometer hinterließ in den Gesteinen zahlreiche Spuren und Veränderungen, die auch für den Tunnelbau von Bedeutung sind. So wurden die Gesteinsabfolgen oft in Falten gelegt (z. B. die Sengsengebirgsantiklinale) oder an Störungen gegeneinander verstellt, wie etwa an der Windischgarstener Störung im südlich der Tunnelkette gelegenen Teichtal. Aber auch im kleinen Bereich äußern sich die Bewegungen in Form von Harnischen und Störungen. Im Gebiet des Kienberges wurde der Hauptdolomit während einer frühen tektonischen Phase überwiegend kleinstückig zerbrochen und durch zumeist kalzitische Substanz wiederverheilt, wodurch der üblicherweise gebankte Dolomit nun massig in Erscheinung tritt.

Die tektonischen Störungen und Zerrüttungsstreifen sind auch für die heutigen Oberflächenformen von Bedeutung, denn die Gletscher und Flüsse haben bevorzugt die durch Störungen bereits aufgelockerten Gesteinszonen ausgeräumt. Somit folgen die Bäche und Flüsse heute oftmals deutlichen Störungszonen des Gesteinsuntergrundes. Markante Störungen dieser Art verursachen etwa den Verlauf des Tales zwischen Kienberg und Otterberg im Südportalbereich und den Verlauf des Wienergrabens im Norden des Kienberges.

Tabelle 1: Die kalkalpine Schichtfolge im Bereich Micheldorf-Windischgarsten (die in der Tunnelkette erwarteten Gesteinsschichten sind grau hinterlegt)

	System	Abteilung	Mio. J.	Schichtglieder	tonische Aktivität
Känozoikum	Quartär	Holozän	0,01	Hangschuttbildung	
		Pleistozän	1,8	glaziale Ablagerungen	
	Tertiär	Pliozän	5,4		Gebirgshebung, Zerlegung an Störungs linien
		Miozän	24,6		
		Oligozän	38		
	Eozän	54,9		Schließung des N-penninischen Ozeans	
	Paleozän	65			
Mesozoikum	Kreide	Oberkreide		Zwieselalm Schichten Nierntaler Schichten Sandsteine u. Hippuritenkalk	erster grundlegender Deckenbau
			97,5	Gosau Basiskonklomerat	
		Unterkreide		Losensteiner Schichten Tannheimer Schichten Roßfeldschichten	Subduktion des Südpenninischen Ozeans
	144		Schrambachschichten		
	Jura	Malm Dogger Lias		Ammergauer Schichten Ruhpoldinger Radiolarit	Eingleitung juvavischer Decken Öffnung des Penninischen Ozeans
			163	Rote Jurabrekzie	
			204	Roter Jurakalk	
	Trias	Obertrias		Oberrhätkalk Kössener Schichten Plattenkalk Hauptdolomit Opponitzer Schichten Lunzer Schichten Wettersteinkalk	langsames Absinken der Kruste
			229	Wettersteinkalk/dolomit Reiflinger Kalk Steinalmkalk Gutensteiner Kalk Reichenhaller Schichten	
		Mitteltrias			
239					
	Untertrias		245	Werfener Schichten	
Paläoz.	Perm		286	Haselgebirge	

Das heutige Landschaftsbild wurde wesentlich von den Gletschern der letzten Eiszeiten geprägt. Zum einen wurden breite Trogtäler ausgeschürft - vereinzelt blieben in diesen Trogsohlen Rundhöcker wie etwa zwischen Dorferberg und Steyr stehen - zum anderen wurden die Talböden mit mächtigen Schottern aufgefüllt. In diese Sedimente schnitten sich nacheiszeitlich wieder die Bäche und Flüsse ein.

Im Bereich des Steyrtals reichte der Gletscher der letzten Vereisung (Würm) nicht mehr bis zum Alpenvorland, sondern nur bis knapp vor die Mündung der Teichl in die Steyr. Die Schotterablagerungen im Steyrtal im Umkreis von Klaus sind demzufolge als Terrassenablagerungen (Sander) der Würmvereisung zu sehen. Unmittelbar am Fels aufliegend können vereinzelt (Grund-) Moränenreste aus älteren Eisvorstößen (Riss?) vorhanden sein, wie z.B. beim Fluchtstollen Spering Nord.

Nach dem Gletscherrückzug bildeten sich verschiedene, mehr oder weniger stark mäandrierende Flusssysteme, aber auch Seen, die in der Folge mit gemischtkörnigen oder aber mit tonig-schluffigen Sedimenten aufgefüllt wurden. Dabei kam es auch zur Bildung von torfreichen Lagen wie etwa im Bereich des Kienberg-Nordportales. Jüngste Ablagerungen sind die mächtigen Hangschuttbildungen, die sich vorwiegend aus verwittertem Hauptdolomit zusammensetzen und oftmals mehrere stärkere Verwitterungshorizonte (Paläobodenbildung) zeigen.

D MINERALOGISCHE UND GEOTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER ANSTEHENDEN GESTEINSARTEN

Im Allgemeinen ist die mineralogische Zusammensetzung karbonatischer Schichtfolgen für den Tunnelbau nur von untergeordneter Bedeutung. Nachdem jedoch vor allem der Nordabschnitt der Tunnelkette teilweise stark zerscherte Zonen durchörtert und innerhalb der seicht unter der Sohle des Kienbergtunnels lagernden Opponitzer Schichten auch gipsführende Rauhdecken aufgeschlossen wurden, war die Untersuchung der mineralogischen Zusammensetzung in einigen Zonen von Interesse.

Die mineralogische Zusammensetzung des Hauptdolomits wurde an Proben aus dem Sondierstollen Klaus erkundet und zeigte 95 – 100 % Dolomit, den Rest bildete Kalzit. An weichen, braun oxidierten Kluftfüllungen wurde die Zusammensetzung der Tonfraktion mit 60 % Glimmer, 37 % „mixed layer“ und Goethit ermittelt.

In der Hauptdolomitbrekzie wurde - je nach Mengenverhältnis von kalzitischer Matrix zu dolomitischen Komponenten - ein breit streuendes Kalk / Dolomit-Verhältnis (siehe Tabelle 2) erkannt. Neben Kalzit und Dolomit, den dominanten Mineralphasen, wurden in den Analysen von Gesteinsproben als Nebengemengteile gelegentlich Quarz und Feldspäte sowie in geringen Mengen auch Eisensulfide (z. B. Pyrit) vorgefunden.

Tabelle 2: Gesamtgesteinsanalysen verschiedener Gesteinsarten

Probe Nr. (Stat. Fluchtstollen im Kienberg)	Gesteinsart	Mineralbestand - Gesamtgestein (ca.-Angaben in %)										Summe	
		Tonminerale gesamt					Quarz	Feldspat		Calcit	Dolomit		Pyrit
		Glimmer- gruppe	Chlorit- gruppe	Kaolinit- gruppe	Smektit- gruppe	*mixed-layer* Gruppen		Plagioklas	Alkali- feldspat				
KbS 105 (Halde)	schwarzer, toniger Kakirit	90	5	2						3			100
KbS 197	drusige Hauptdolomit- brekzie									34	66		100
KbS 238,5	Hauptdolomit sandig brekziert	18					3			15	64		100
KbS 244	mylonitisierte Hauptdolomit- brekzie	27				3	7			21	41	1	100
KbS 310	schwarzer, toniger Kakirit	60	6				8	1		13	12		100
KbS 315A	schwarzer, toniger Kakirit	26	8		8		4	1	2	11	40		100
KbS 315B	schwarzer, toniger Kakirit	15	3		4		1	1		8	68		100
KbS 321	schwarzer, toniger Kakirit	21	5		3		4	1		10	56		100
KbS 342	dunkler Kakirit	14	3		2		3	1		26	51		100
KbS 346	geschichteter Hauptdolomit									41	59		100
KbS 349	dunkle Hauptdolomit-brekzie									40	60		100
KbS 349	helle Hauptdolomit-brekzie	6					1			39	54		100
KIE 1/98 17,0m	schwarzer, toniger Kakirit	23	2	2	8		9			8	47	1	100
KIE 2/98 23,7m	brauner Kakirit	29				11		6		46	8		100
KIE 2/98 44,6m	grauer Kalk						1			92	7		100
KIE 2/98 78m	Übergang Dolomit/ Kalkbrekzie									19	81		100

Die mineralogische Zusammensetzung der tonig, schiefrigen Kakirite zeigte eine erhebliche Streuung im Tonmineralgehalt (bis zu 90 %, meist aber nur um 20 %). Als quellfähige Substanz konnte in geringeren Mengen Smektit (~5 %) nachgewiesen werden.

E FELSMECHANISCHE RICHTWERTE DER ANGETROFFENEN GESTEINSARTEN

Für das gegenständliche Bauvorhaben wurden in den geologischen Voruntersuchungen auch felsmechanische Kennwerte an Bohrkernen der wichtigsten Gesteinsarten ermittelt (siehe Tabelle 3). Anzumerken ist, dass die Laboruntersuchungen an kompakten Proben aus Kernbohrungen ermittelt wurden. Daher gelten die in der nachfolgenden Tabelle angeführten Kennwerte als Richtgrößen für standfeste Zonen des jeweiligen Gesteins. Besonders durch die zahlreichen Harnische und Störungen mit Gesteinszerreibung oder stärkerer Auflockerung musste teilweise mit einer deutlichen Reduktion der Kennwerte gerechnet werden.

F HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Das westliche Sengsengebirge wird von mehreren großen Abflusssystemen, in die auch begleitende Grundwasserkörper entwässern, durchschnitten:

- Der südliche Teilbereich wird von der Teichl in einem tiefen Kerbtal zerschnitten; das talbegleitende Grundwasser wird von der Autobahntrasse nicht mehr berührt.
- Nach der Querung der Teichl nahe deren Mündung in die Steyr verläuft die Autobahntrasse talparallel zur nach Norden abfließenden Steyr; dieser Talraum wird energetisch im Kraftwerk Klaus genutzt.
- Nordöstlich der Sperre Klaus wurde mit den Bohrungen ein talbegleitender Grundwasserkörper aufgeschlossen, der im Steyrniveau entwässert und somit tief unter der Autobahnnivellette ausspiegelt.
- Nahe dem Nordportal des Kienberges befindet sich die Wasserscheide zwischen Steyr und Krems; die Täler dieses Abschnittes und deren Lockergesteinsfüllungen zeichnen sich durch keine oder sehr geringe Wasserführung aus.
- Das Nordportal des Kienberges befindet sich am südlichen Rand des zur Krems entwässernden Grundwasserkörpers, der mit einem Brunnen für die Ortswasserversorgung der Gemeinde Micheldorf genutzt wird.

Für die Prognose der Tunnelbauten waren zusammenhängende Kluftwasserkörper, vor allem das wenig ergiebige, jedoch für die Gemeinde Micheldorf in einem Brunnen genutzte Grundwasser im Gemeindegebiet Micheldorf – Hinterburg von großer Bedeutung.

Für die Tunnelabschnitte musste nach der hydrogeologischen Oberflächenerkundung und den erfassten Quellen mit Verkarstungen gerechnet werden. Die Auflockerungen an Großklüften und Störungen sowie der karbonatische Gesteinsbestand ließen längs der Störungen auch größere unterirdische Karstwege und Bergwässer aus dem östlich anschließenden Gebirgszug nicht ausschließen, zumal unweit der Tunneltrasse mit der Teufelskirche eine bedeutsame Karstquelle bekannt war.

Zur Abklärung der Kluftwasserwege des westlichen Sengsengebirges wurden nach einer Bestandsaufnahme oberirdischer Wasserwege und Quellen im Umfeld der Autobahntrasse periodische Messungen der Schüttung sowie der Temperatur und Leitfähigkeit vorgenommen. Zur Erkundung des Einzugsgebietes von Quellen nahe der Sperre Klaus sowie des unterirdischen Abflusses im Bereich des Sperings wurde ein Markierungsversuch mit mehreren Einspeisstellen und längerer Beobachtung der Probenstellen ausgeführt.

Auch wurden begleitend Isotopenuntersuchungen (z.B. Tritium, Deuterium und ^{18}O) der Quellwässer im Nahbereich der Tunneltrasse vorgenommen. Anhand dieser Untersuchungen konnte schließlich der zu erwartende Gebirgswasserandrang grob definiert werden, wobei in den Tunnelbereichen mit Ausnahme des Klausertunnels keine größeren Quellsysteme erwartet wurden.

G GESTEINTEXTURMERKMALE – GESTEINSGEFÜGE – TRENNFLÄCHENSYSTEM

Neben der Erfassung der Gesteinseinheiten und der Bergwasserverhältnisse war für eine Beurteilung der Gebirgsverhältnisse in den Tunnelabschnitten eine detaillierte Analyse der Trennflächen erforderlich. Hierfür stand die geologische Dokumentation der Flucht- bzw. Sondierstollen zur Verfügung. Die detaillierten Aufnahmen der Trennflächenverhältnisse in den Fluchtstollen und deren statistische Auswertung lieferten die angestrebte Grundlage für weitere felsmechanische Analysen, aber auch die Gliederung der Tunnelstrecken in unterschiedliche Homogenbereiche.

Diese Bearbeitung zusammenfassend zeichnete sich als vorherrschendes Trennflächenelement in der kalkalpinen Gesteinsabfolge die Schichtung bzw. Bankung ab. Aus den Schichtfugenmessungen konnte für den Nordabschnitt der Tunnelkette z. B. ein generell mittelsteiles Einfallen der Richtung Nord bis Nordost abgeleitet werden. Die vorwiegend ebenen bis leicht gewellten Bankungsfugen wiesen im Mittelabschnitt der Tunnelkette, wie z. B. im Fluchtstollen des Klausertunnels oftmals mittleren bis hohen Durchtrennungsgrad auf und reduzierten die Reibungsbeiwerte für die Trennflächen mit geringmächtigen, braunen, lehmigen oder auch schwarzen, bituminösen Belägen.

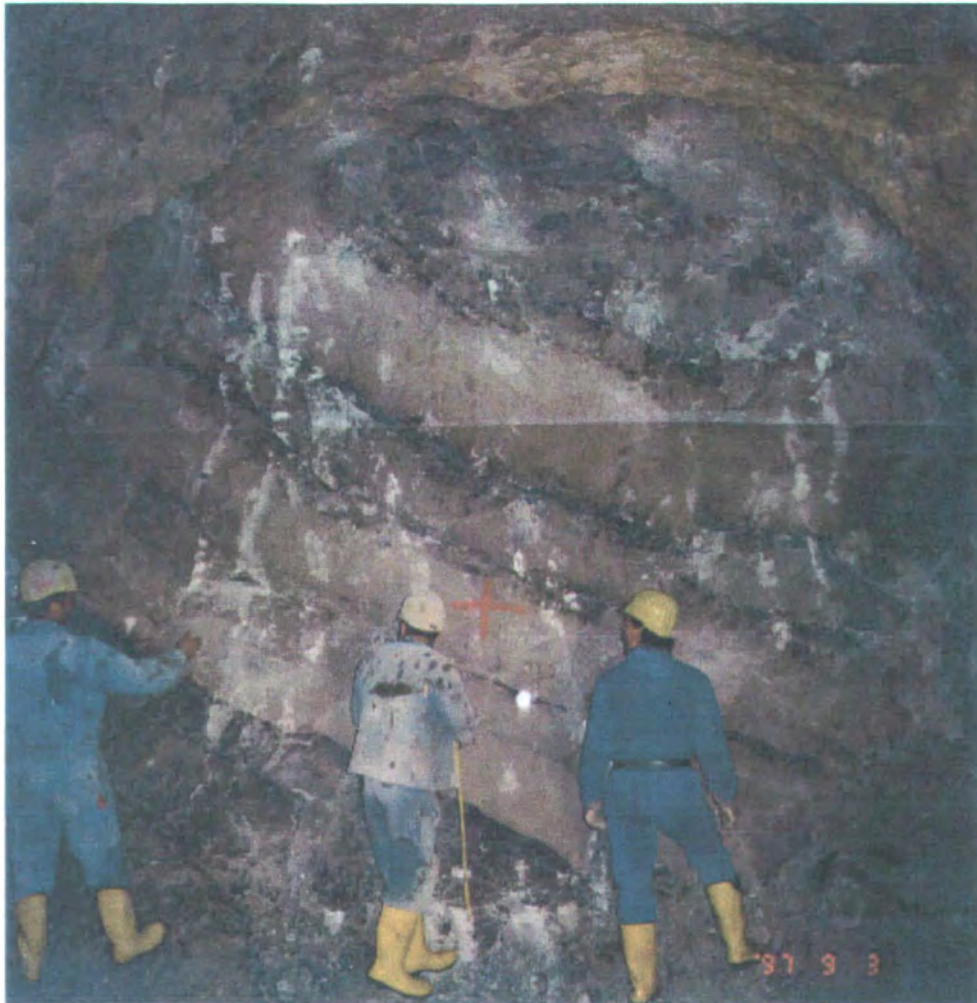


Abbildung 2: Hauptdolomit mit deutlicher Bankung, Fluchtstollen Spering Nord

Durch Störungen waren insbesondere im Nordabschnitt wie im Fluchtstollen des Kienbergtunnels stärkere Verkippungen zu beobachten. Dabei war die starke Brekzierung und die Wiederverheilung des Hauptdolomites auffällig. Über weite Strecken war die primäre Schichtung nicht mehr oder nur sehr undeutlich zu erkennen, die Bankungsfugen hatten nur eine untergeordnete Bedeutung gegenüber den kleinstückig-kantigen Brüchen.



Abbildung 3: Wettersteindolomitbrekzie mit weißem, dolomitischem Bindemittel (Fluchtstollen Spering Süd)

Erschwert wurde die Beurteilung der maßgeblichen Trennflächensysteme durch den Umstand, dass in den tektonisch stark beanspruchten Gebirgszonen oftmals keine eindeutige Unterscheidung von Schichtflächen und Klüftung, somit der Gesteins- bzw. Gebirgsmerkmale, möglich war.

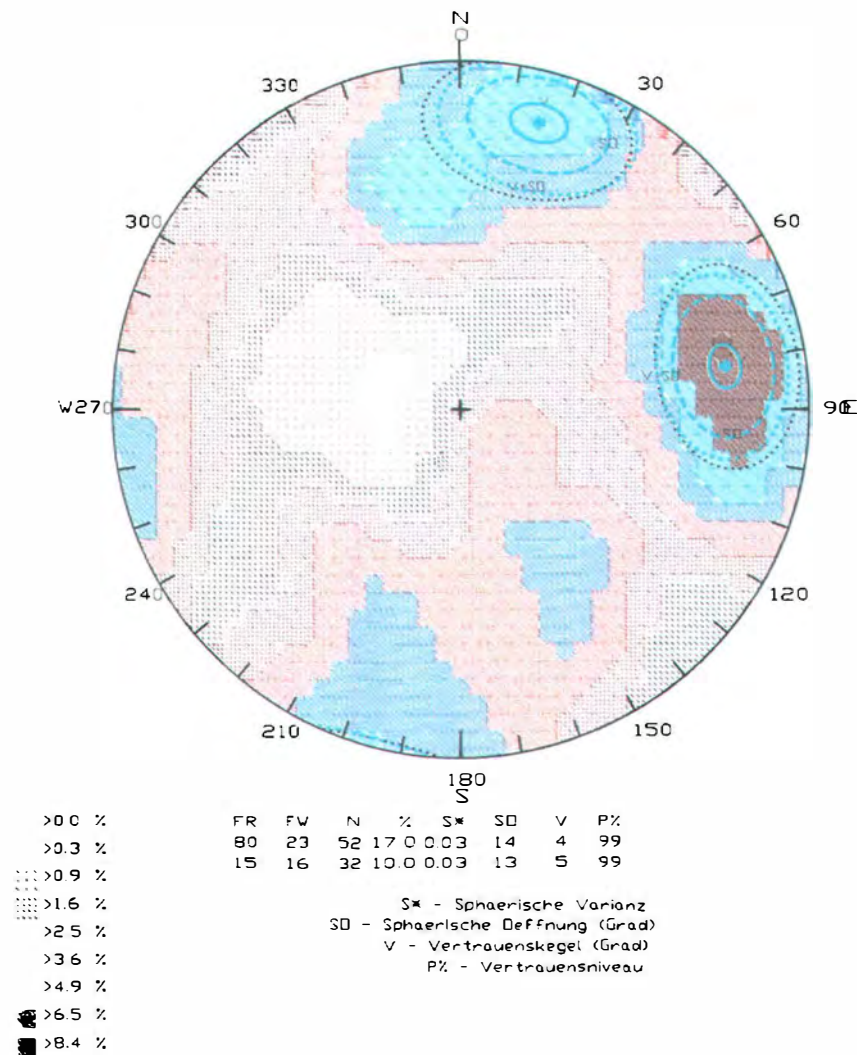


Abbildung 4: Dichtediagramm aller im Sondierstollen des Kienberges gemessenen Kluftflächen als Beispiel der Trennflächenanalyse

Die Kluftflächen besaßen in der Regel kleine Trennflächenabstände sowie einen geringen Durchtrennungsgrad. Über die gesamte Stollenleibung verfolgbare Kluftflächen wurden selten beobachtet, die Mehrzahl der Kluftflächen stand steil und senkrecht zur Bankung. Beachtenswert war wiederum eine Entfestigung an braun belegten Kluftflächen, die beim Sprengen ein Zerfallen in kleinstückigen Schutt bewirkten.

Weiters konnten in den Fluchtstollen Störungen und Zerrüttungsstreifen erfasst werden, die lokale Entfestigungen des Gebirges verursachten. Die Mächtigkeit der Störungen, die meist in Form von Harnischbündeln und Scherbahnen, begleitet von stärkerer Verwitterung, auftraten, schwankte von wenigen cm bis über mehrere Meter. Die Zerreibung führte z.T. zu sandigen Kluftfüllungen, die verstärkte Wasserwegigkeit zuließen. Auch Auslaugungen, die das Gestein über

mehrere Meter mürb entfestigen, lagen im Fluchtstollen des Kienbergtunnels vor.



Abbildung 5: Aufgeweitete Karstkluft im Wettersteindolomit (Fluchtstollen Spring Süd)

Die Beobachtungen an der Geländeoberfläche und die seismischen Untersuchungen zeigten Störungen an, die vorwiegend steil Ost – West oder Nordwest – Südost streichen.



Abbildung 6: Tektonische Zertrümmerung des Hauptdolomites im Kienberg-Fluchtstollen

F TEKTONISIERUNG DES HAUPTDOLOMITES IM BEREICH DES KIENBERGES

Das seismische Längsprofil entlang der Tunnelachse sowie die bis zu 120 m tiefen Bohrungen ließen bereits in den Voruntersuchungen erkennen, dass der Kienbergtunnel mit seiner starken tektonischen Überformung den schwierigsten Abschnitt innerhalb der Tunnelkette darstellt. Mit dem Fluchtstollen des Kienbergtunnels wurden schließlich auch mächtige Störungen und Zerrüttungen aufgeschlossen, die auf eine ungewöhnliche, intensive tektonische Aufarbeitung des Dolomites hinwiesen. So wurden Hauptdolomitbrekzien mit kalkigem Bindemittel durchörtert, die anstelle einer Schichtung eine völlig regellose Verteilungen der Komponenten erkennen ließen. Vereinzelt täuschten parallele Brekzierungsstreifen im Kleinbereich eine sedimentäre Schichtung vor.

Aus den im Fluchtstollen aufgeschlossenen Phänomenen konnte abgeleitet werden, dass die Brekzie über weite Stollenabschnitte durch tektonische Prozesse mehrmals zerbrochen war. Die dabei entstandenen, teilweise offenen Klüfte waren großteils kalzitisch verheilt, wobei jedoch einzelne Zwickel im cm-Bereich nicht gänzlich verfüllt wurden, sodass kleine drusige Hohlräume offen blieben.

Harnische mit deutlicher Striung und Störungen, die das Gestein im dm-Bereich zerrieben und aufgelockert hatten, konnten als Hinweise dieser älteren Bewegungszonen erfasst werden. Vielfach war auch an diesen Zerrüttungszonen nach stärkeren und anhaltenden Niederschlägen ein verstärkter Wasserandrang zu beobachten.



Abbildung 7: Harnischfläche mit Striierung und oxidierten Kluffflächenbelägen im Kienberg-Fluchtstollen

Tonig-schieferige Gesteinszerreibung fand sich um härtere schollenartige Gesteinsblöcke, die von den Scherungsprodukten „umflossen“ sind. Die Mächtigkeit dieser „Schollen“ lag meist um wenige dm, allerdings waren im Sondierstollen auch Entfestigungen an mehrere Meter mächtigen Scherzonen mit blockgroßen Scherlinsen zu beobachten. Dieses Störungssystem wurde als älter eingestuft als die streng Ost – West streichenden Harnische und Zerrüttungszonen, weil die schieferigen Scherprodukte entlang von Harnischen noch sekundär verschleppt waren.

Nachdem in den Voruntersuchungen am Kienberg teilweise wenige Meter unter der Tunnelsohle auch gipsreiche Festgesteine erkannt wurden, musste mit Lösungserscheinungen an vorgegebenen Gesteinsfugen und karstartigen Aufweitungen gerechnet werden. In der kalkigen Hauptdolomitbrekzie im Süden traten offene Karstklüfte auf, die beim Vortrieb des Fluchtstollen nur geringe, temporäre Wasserführung erkennen ließen.

In den Dolomitstrecken bewirkte die Erosion meist nur wenige mm bis cm tiefe „Runsen“. Allerdings verursachte die Wasserwegigkeit neben den braunen lehmigen Kluffüllungen auch Auslaugungen im Dolomit, die zu einer mürben Entfestigung führten, im Extremfall zu sandigem Zerfall.

Anhand der detaillierten Bestandsaufnahme der Trennflächen im Sondierstollen des Kienbergtunnels wurde für die Prognose des Gebirgsverhaltens das Trennflächeninventar folgendermaßen gegliedert :

ZERRÜTTUNGSSTREIFEN MIT GROSSKLÜFTEN

Großklüfte und Klufthbündel mit weitreichenden Harnischflächen und bis mehrere m-mächtigen Mylonit- bzw. Zerrüttungszwischenschichten; einzelne Großklüfte klaffen bis zu 0,5 m weit auf und sind mit braunem, weichem bis breiigem Verwitterungslehm gefüllt.

„SCHIEFERUNG“

Die tonig-schieferigen Scherprodukte waren mit einem dicht gelagerten Lockergestein vergleichbar; während im trockenen Zustand noch verhältnismäßig günstiges Gebirgsverhalten anzunehmen war, musste bei Wasserzutritt mit breiiger Aufweichung gerechnet werden. Deshalb kam der Absenkung des Bergwasserspiegels während des Auffahrens der Tunnelröhren große Bedeutung zu.

HARNISCHBÜNDEL

An Klüften mit mehr als 10 m weiten Erstreckungen waren die häufigsten Entfestigungen zu beobachten, die in den Felsabschnitten im Kienbergtunnel aufgeföhren wurden. Diese Flächen waren oftmals gebogen, bisweilen wellig und durchwegs glatt, wiesen sehr hohe Durchtrennungsgrade auf und zeigten auch Strömungen. Besonders im Südabschnitt waren die Harnische streckenweise von derartiger Dichte, dass eine Zusammenfassung zu Störungszonen erfolgte.

KLEINKLÜFTUNG

Diese Klüfte mit Erstreckungen bis etwa 1 m prägten allgemein die dolomitischen Gesteinszonen. Die Klufthabstände waren in den dolomitischen Gesteinszonen sehr gering, in der kalkigen Hauptdolomitbrekze sind grössere Abstände beobachtet worden, die Ausbildung war unregelmässig mit rauen, unebenen Oberflächen.

G DIE GEBIRGSARTENGLIEDERUNG DER PROGNOSE AM BEISPIEL DES KIENBERGTUNNELS

Bekanntlich wird das Gebirgsverhalten im Ausbruch durch verschiedene Parameter (z. B. Hohlraumgröße, Klüftung, Bergwasser, Oberflächenabstand u. a.) definiert, die innerhalb einer Gesteinsart – wie etwa dem Hauptdolomit – sehr unterschiedlich in Erscheinung treten können. Andererseits können unterschiedliche Gesteinsarten (z.B. Wettersteindolomit und Hauptdolomit) gleichartiges Gebirgsverhalten aufweisen, sodass im Rahmen einer baugelologischen Prognose für den Tunnelbau eine Zusammenfassung zu einem geotechnischen Homogenbereich möglich ist. Eine Abgrenzung der einzelnen Homogenitätsbereiche ist dabei nicht immer exakt, vielmehr müssen Übergänge zwischen verschiedenen Homogenbereichen erwartet werden.

In der baugelogeische Prognose für die Tunnelbauwerke wurde versucht, die Eigenschaften und Eigentümlichkeiten der verschiedenen Gesteinsarten entlang der Tunnelkette zu beschreiben und Zonen mit weitgehend gleichartigem Gebirgsverhalten zu Homogenbereichen zusammenzufassen. Die Tabelle gibt einen Überblick über die im Kienberg erwarteten Gebirgsarten. Aus den Merkmalen der verschiedenen Gesteinsarten und deren baugelogeisch relevanten Eigenheiten wurden eine Gebirgsart für Lockergesteine¹ (LG1) und vier Gebirgsarten für Festgesteine (FG 1 – 4) definiert. Als Unterscheidungsmerkmal dienten in den Festgesteinen die Ausbildung der Trennflächen, insbesondere der Klüftung sowie der Einfluss der Verwitterung.

Tabelle 4: Gebirgsarten – geotechnische Homogenbereiche

FG 1	Gebirge mit schwach ausgeprägten Trennflächenmerkmalen
FG 2	bankiges und / oder klüftiges Gebirge
FG 3	feinklüftiges Gebirge mit lehmigen Kluffbelägen
FG 4	zerrüttetes Gebirge mit stark reduzierter Bindung an den Trennflächen
FG 5	tonreiches, schieferiges, wasserempfindliches, lockergesteinsähnliches Gebirge
LG 1	gemischtkörniges Lockergestein mit toniger und torfiger Zwischenlage

FG 1 – GEBIRGE MIT SCHWACH AUSGEPRÄGTEN TRENNFLÄCHENMERKMALEN

Als Zonen mit günstigsten Gebirgsverhältnissen wurden eher massige bis dickbankige Tunnelabschnitte prognostiziert, in denen nur einige Kleinklüfte bzw. Bankungsfugen eine mässige bis geringe Durchtrennung des Gesteinsverbandes bewirken sollten. In diesen Abschnitten wurden nur vereinzelt Grossklüfte mit glatten Wandungen und stärkerer Wirksamkeit erwartet, wobei an diesen lettige Zwischenschichten zu beachten waren.

Somit waren in diesen Zonen längere freie Standzeiten des Gebirges zu erwarten; auch gefügebedingte Nachbrüche sollten nur vereinzelt in Erscheinung treten. Mit lokalen Sicherungsmaßnahmen war an ungünstig ver schneidenden Kluffzonen wie z. B. an achsparallelen, steil stehenden Harnischen zu rechnen.

FG 2 - BANKIGES UND / ODER KLÜFTIGES GEBIRGE

Als ebenfalls weitgehend gut durchörterbar wurden Zonen erwartet, die an der Ortsbrust mehrere Kleinklüfte und auch einzelne Großklüfte mit stärkerer Durchtrennung aufwiesen. Dominantes Element sollten dabei Klüfte mit dm – Abständen sein. Als weiteres Element dieser Zone wurde eine ausgeprägte Kleinklüftung mit regelmäßigen, gleichscharigen und annähernd senkrechten Trennflächen angesehen. Ungünstig im Ausbruch wurden Ban-

¹ Hinsichtlich der Beurteilung der Lockergesteinsstrecke wurde aufgrund deren Situierung im Grundwasser davon ausgegangen, dass der Vortrieb bei vollständig abgesenktem Grundwasser erfolgt.

kungsfugen im Firstbereich in Kombination mit Querklüften eingeschätzt, da daraus plattige Nachbrüche resultieren konnten, denen lokal mit verstärktem Stützmitteleinbau zu begegnen war.

Ebenso musste örtlich mit stärkeren Auflockerungen an lettig belegten Klüften, aber auch an glatten Harnischflächen mit Erstreckungen bis mehr als 10 m gerechnet werden. Höhere Teilbeweglichkeit an der Ortsbrust war innerhalb dieser Zonen an Großklüften, an denen der Fels aufgegrust oder in Stärken von einigen cm bis dm schluffig-tonig aufgearbeitet sein konnte, zu erwarten. Diese stärker tektonisierten Bereiche sollten innerhalb dieser Zone nur gelegentlich auftreten, jedoch dann bereits in die nächste Homogenitätszone überleiten.

FG 3 - KLEINKLÜFTIGES GEBIRGE MIT KLUFTLEHMBELÄGEN

Bei vergleichbaren Trennflächenmerkmalen wie diese bereits in der Gebirgsart FG 2 beschrieben wurden, wurden als Zone FG 3 jene Bereiche zusammengefasst, in denen die Kluftabstände nur im cm – Bereich lagen und Trennflächen oft tonig belegt waren, so dass verstärkt mit Nachbrüchen zu rechnen war. Auch Zonen, in denen der Hauptdolomit durch Auslaugung mürb entfestigt sein konnte, wurden hier eingeschlossen.

FG 4 - ZERRÜTTETES GEBIRGE MIT STARK REDUZIERTER BINDUNG AN TRENNFLÄCHEN

Abschnitte, in denen mit einem Aufeinandertreffen mehrerer Großklüfte bzw. mit mehr als Meter mächtigen Zerrüttungsstreifen zu rechnen war, wurden als weitere Homogenbereiche typisiert. In diesen Teilbereichen wurden keine oder sehr geringe Gesteinsbindung an der Feinklüftung erwartet. Insgesamt sollte dieser Homogenbereich Abschnitte umfassen, in denen der Gesteinsverband als stark aufgelockert und grusig-kleinstückig zerbrechend zu prognostizieren war, somit im gesamten Hohlraumprofil eine hohe Teilbeweglichkeit erwartet werden musste. Auch musste aufgrund der höheren Porosität mit stärkerem Wasserandrang gerechnet werden, der z. B. entlang von Großklüften mit lehmig gefüllten Hohlräumen breiige Aufweichungen verursachen könnte.

FG 5 - TONREICHES, SCHIEFERIGES, WASSEREMPFINDLICHES, LOCKERGESTEINSÄHNLICHES GEBIRGE

Als äußerst ungünstige Bereiche wurden jene schieferig zerscherten Gesteinszonen mit einzelnen eingeschlossenen Scherlinsen herausgearbeitet, die in tonig-schieferigen Schichten in unregelmäßigen „Schlieren“ die ansonst harte Kalkbrekzie durchzogen. Die im trockenem Zustand vermutlich weitgehend standfesten Bereiche wurden bei Wassereinwirkung als äußerst wasserempfindlich eingeschätzt, sodass größere Nachbrüche kalkiger Scherlinsen nicht auszuschließen waren.

GEMISCHKÖRNI GES LÖCKERGESTEIN - LG 1

Die Abfolge von Hangschuttablagerungen, Eisrandsedimenten, stärker konsolidierten glazialen Sedimenten und Seeton mit Torfeinschaltungen wurde in der baugelologischen Prognose zu einem Gesteinstyp zusammengefasst, zumal die sehr inhomogenen Ablagerungsbedingungen am Hangfuß eine feinschichtige Wechsellagerung verschiedener Sedimente erwarten ließ. Für den Tunnelvortrieb waren Hangschutt, der sich ausschließlich aus Hauptdolomit zusammensetzen und durch die Verwitterung stärker verlehmt bzw. bindig sein sollte, sowie im Liegenden des Hangschuttes tonig - schluffige

Stausedimente zu erwarten. Insbesondere die Torfschichten innerhalb der weichen, plastischen Seetone (Tone und Schluffe) mit Mächtigkeiten um einen Meter wurden in der Prognose und deren Detailplänen betont.

Im Liegenden der insgesamt ca. zwei Meter mächtigen Feinkornschichte wurden glaziale Sedimente mit wasserführenden Horizonten erwartet, so dass in den obersten Metern dieser ansonsten gut tragfähigen Schichte breiige Aufweichungen zu beachten waren. Weiters musste mit Entspannungserscheinungen und damit mit feinen Rissen in den hochverdichteten glazialen Sedimenten gerechnet werden.

Für die verschiedenen Tunnelabschnitte wurde anhand der Ergebnisse der baugelologischen Voruntersuchungen der Anteil an den insgesamt sechs Gebirgshomogenitätsbereichen prognostiziert bzw. die prozentuelle Verteilung der Gebirgsarten errechnet (siehe nachfolgende Abb.).

Tabelle 5: Prognose zur Verteilung der Gebirgsarten in der Weströhre des Kienbergtunnels

Stationierung (AB-Km)		Länge in m	Gebirgsart (Kurzbezeichnung) - Angaben in m					
von	bis		LG 1	FG 1	FG 2	FG 3	FG 4	FG 5
25,8170	25,915	98	98	0	0	0	0	0
25,9150	26,600	685	0	48	137	308	123	69
26,6000	27,045	445	0	9	67	134	80	156
Summe in m		1228	98	57	204	442	203	224
Summe in %			8,0	4,6	16,6	36,0	16,6	18,3

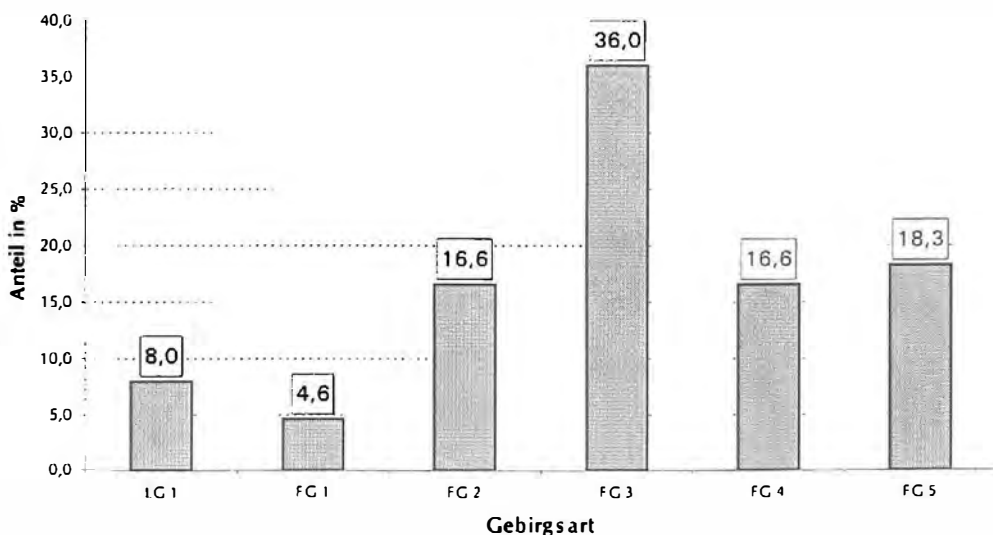


Abbildung 8: Prognose der Anteile der verschiedenen Gebirgsarten (Weströhre Kienbergtunnel)

Hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen prognostizierten Verhältnissen und dem tatsächlichem Gebirgsverhalten im Tunnelbau stehen dem Verfasser keine Unterlagen zur Verfügung, zumal die derzeit praktizierte Bauabwicklung im Straßenbau keine weitere Einbindung des während den Vorarbeiten tätigen Geologen im Ausbau der Tunnelstrecken vorsieht.

H DANKSAGUNG

In die baugewissenschaftliche Voruntersuchung der Tunnelkette waren zahlreiche Fachkollegen involviert, für deren Anregungen und Unterstützung herzlich gedankt sei. Insbesondere meine beiden Mitarbeiter, Herr Mag. Dr. Bruno Haunschmid und Herr Mag. Gerhard Koch, die wesentlichen Anteil an der Bearbeitung hatten, sind hierbei hervorzuheben. In diesem Zusammenhang ist es mir ein besonderes Anliegen, dem inzwischen leider verstorbenen Herrn Dr. Prey für die Beratung der Geländebearbeitung und für die – für mich sehr lehrreichen - Diskussionen über den geologischen Aufbau zu danken. Schließlich gilt mein Dank Herrn Dr. Brandecker, unter dessen Führung die Bearbeitung begonnen wurde. Seine Unterstützung und Hilfestellung, aber auch sein außergewöhnliches Verständnis für das Wesentliche in der Baugewissenschaft und dessen Umsetzung in Plänen und Texten hat viel zum Erfolg des Projektes beigetragen.

Autor:

Dr. Dieter BECHTOLD

Büro für Geologie

A-5164 Seeham, Wiesenbergstraße 10