

Baugeologische Aspekte und Probleme im Tunnelbau der Steiermark

Von Ernst H. WEISS

Mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen im Text

Eingelangt am 11. Dezember 1989

Die in den letzten Jahren ausgeführten Tunnelbauten (Abb. 1) mit Längen von 611 m bis 8500 m und Ausbruchsquerschnitten zwischen 65 und 104 m² sind ungefähr chronologisch nach ihrer Bauzeit und Fertigstellung, geologisch nach den Gesteinsserien geordnet. Sie reichen vom hochmetamorphen Kristallin der Glein- und Koralpe (1., 2.) über die Grauwackenzone (3. bis 7.) bis zum Grazer Paläozoikum (8., 9.).

In der Studienzeit lernten wir diese geologischen Einheiten kennen, Jahre später wurden wir mit den geotechnischen Problemen dieser Regionen konfrontiert. Deshalb widme ich diese Arbeit meinem verehrten Lehrer Prof. Dr. K. METZ, der mich in die wissenschaftliche Problematik genannter Gebiete einführte. Es war auch meine Pflicht als Baugeologe, wieder zur Basis meines Ausbildungsspektrums zurückzukehren und jene geo-technischen Erfahrungen mitzuteilen sowie bestimmte Probleme für Geologen und Techniker aufzuwerfen, die beim steirischen Tunnelbau in Erscheinung traten.

Die Straßentunnels wurden konventionell nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NATM bzw. NÖT) errichtet und außer den Tunnels durch die Gleinalm, den Ganzstein und Plabutsch verkehrssicher doppelröhrig ausgeführt. Von der Lage der Hohlräume im Gebirgskörper sind jene Bauwerke zwischen Bruck/Mur und Leoben (5., 6., 7.) reine Lehnentunnels mit sehr geringen Überlagerungsmächtigkeiten, die übrigen durchhörterten ausgeprägte Hügelzonen und Bergrücken.

Die Maßhaltigkeit des Gebirges stellt die Tunnelbauer vielfach vor große Probleme, weil bestimmte geotechnische Einflußfaktoren quantitativ oft schwer bis gar nicht vom Baugeologen und Felsmechaniker im Projektstadium abzuschätzen sind. Erst mit dem Ausbruch längerer Strecken kommen besonders in den besseren Gebirgsgüteklassen (GGKL) Überprofile im Sinne von Mehrausbrüchen zustande, die in den meisten Fällen durch das Zusammenwirken von definierten Raumlagen markanter Trennflächen, von Störungszonen, petrographischen Differenzierungen, Spannungen u. a. nachträglich erklärt werden können. Zwei Beispiele (Gleinalm und Plabutsch) verdeutlichen diese Problematik, die letztlich zu Mehraufwendungen an Spritz- und Innenbeton sowie Stützmitteln führten. Bereits L. MÜLLER 1959 hat sich eingehend mit dem Problem der Mehrausbrüche beim Vortrieb von Tunnels und Stollen auseinandergesetzt und anhand von Schnitten auf die Abhängigkeit vom Kluftinventar in einem Hohlraumgebirge bezogen.

Im folgenden werden einige Beispiele aufgezeigt, wonach trotz guter Übereinstimmung zwischen Prognose und tatsächlich angetroffenen Verhältnissen den Tunnelbauern diese Mehrausbrüche in Wahrung ihrer Arbeitstechniken einigen Kummer bereitet haben, weil sie mit erhöhtem Zeit- und Kostenaufwand verbunden waren.

Zur Frage des Vortriebes eines vorseilenden Sondierstollens hat W. NOWY 1989 Stellung genommen. Der Autor wird auf die positiven Aspekte einer solchen Erkundung



Abb. 1: Übersicht der Straßentunnels

eines Tunnelgebirges eingehen, jedoch auch auf einen Sonderfall verweisen, wo eine Voraufschließung nicht die Ergebnisse brachte, die erwartet wurden. Ferner werden Beispiele von beachtenswerten Erschwernissen durch Druckvorgänge, Bergwasserbeeinflussungen, Karstphänomene aufgezeigt, die zu Änderungen in der Bauweise oder zum raschen Anpassen an die unvorhergesehenen Gebirgsverhältnisse führten.

Der Autor hat beratend und gutachtlich an den genannten Bauwerken mitgewirkt und Einblick in die naturwissenschaftlich-ingenieurtechnischen Belange und Probleme vom Prognosestadium bis zur Beendigung der Bauvorhaben erhalten. Von diesem Standpunkt aus werden die baueologischen Aspekte aufgeworfen und widerspiegeln eigene Erfahrungen. In diesem Zusammenhang danke ich den staatlichen und Firmenbauleitern für unzählige Gedankenaustausche, besonders aber möchte ich dem Leiter des steirischen Tunnelbaues, Herrn Hofrat Dr. W. GOBIET, und den steirischen Fachkollegen H. AUERBAUER, H. HAAS, O. HOMANN, P. PÖLSLER und G. RIEDMÜLLER u. a. herzlich für das sehr kooperative Zusammenwirken danken.

Technische Daten und Anmerkungen

Straßen-tunnel	Gesamt-länge (in m)	Ausbruchs- querschnitte (in m ²)	Fertigstel- lung bzw. Eröffnung	Anmerkungen
1. Gleinalm	8320	81 – 87	1978	8300 m Sondier- stollen
2. Mitterberg	1142 N 1135 S	65 – 76	1979	Sondierst. in Achse S-Röhre
3. Ganzstein	2135	91 – 98	1980	
4. Tanzenberg	2384 N 2446 S	74 – 85 70 – 80	1983 1985	
5. Bruck	1228 S 1208 N	70 – 80	1987	
6. Ruprecht	613 S 611 N	70 – 80	1987	
7. Niklasdorf	1232 N 1345 S	70 – 80	1986	im W u. E Verlängerung in offener Bau- weise
8. Gratkorn S	786 W 798 E	110	1983	
9. Plabutsch	9755 gesamt 8500 E	90 – 104	1987	E-Röhre: 4000 m Baulos Nord, 4500 m Baulos Süd; vorauselender Sondierstollen

1. Gleinalm

Die geologischen Verhältnisse des Tunnels beschrieb W. NOWY 1977, über das Alter der Amphibolit-Plagioklasgneis-Serie berichteten W. FRANK et al 1976. In der neuesten Publikation weist W. NOWY 1989 auf die Bedeutung vorauselender Sondierstollen hin, die eine Unzahl von geologischen Daten und felsmechanischen Informationen vor dem eigentlichen Vollausbruch eines Tunnels liefern. Wichtig erscheint mir dabei ein Hinweis auf das zu erwartende geotechnische Gebirgsverhalten und die daraus abzuleitenden bautechnischen Überlegungen im Planungsstadium eines Tunnelprojektes! Geländekartierungen, Bohrungen und seismische Untersuchungen ergeben niemals diese Fülle an geologisch-geotechnischen Auskünften wie ein Erkundungsstollen. Daher standen dem Bauherrn dieses Tunnels genügend Daten über jene Einflußfaktoren zu einer Typisierung und Klassifizierung des Gebirges zur Verfügung, die er in die Ausschreibungsunterlagen einbringen konnte.

Anders geartet lag im Ausbruchsstadium das Erreichen des sogenannten Regelprofiles, denn zum überwiegenden Teil entstanden im harten, verbandsfesten Amphibolit-Gneis-Gebirge Mehrausbrüche und damit Überprofile, die auf geologisch-felsmechanische Ursachen zurückzuführen waren. Von Gefügeelementen definierte Kluftkörper, Plattenpakete, Keile und schuppenartige Lamellen – entstanden durch Spannungsumlagerungen – lösten sich aus dem Verband, ohne auf die geometrisch normierte Ausbruchs-

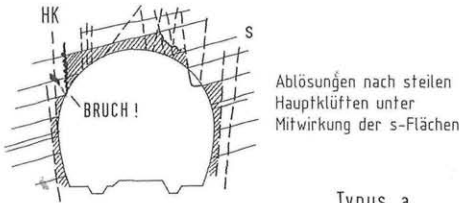
© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark, download unter www.frlg.oez.tu-stm.at
linie zu achten. In der Abb. 2 sind jene Ausbruchformen, die zum Überprofil führten, schematisch-überbetont dargestellt und typisiert (Typus a bis f).

Schon W. DEMMER 1973 hat auf die zahlreichen Steilklüfte, die nach NS und EW streichen, mit Abweichungen bis zu 20° (entspricht dem Typus a), und auf die sehr flachen Diskontinuitätsflächen der Schieferung hingewiesen. Vielfach sind die Gesteine dünn-schieferig bis dünnplattig ausgebildet, oft von dünnen Glimmerschieferlagen durchzogen, oder die Schieferungsfugen führen Glimmerbeläge, welche die Haftreibung der einzelnen Gesteinspakete vermindern (Typus c). Bei steiler Lagerung dagegen können die gut standfesten Gesteine zu Mehrausbrüchen aus den Ulmen (Typus b, d, f) neigen. An den Verschnittstellen von steilen Klufsystemen trat eine Minderung der Gebirgsverbandsfestigkeit auf und vermehrten sich die Zwickelausbrüche (Typus a) und ausgefahrenen Keile (Typus f). Vielfach reißt das Gebirge beim Sprengen in den Gneisen und Amphiboliten nicht an den Kranzlöchern, sondern an vorgegebenen Trennflächen ab. Sehr wesentlich sind dabei die Verschnitte zwischen tunnelparallelen Trennflächen und Querklüften. Sie ziehen oft großflächig durch, sind eben und haben eine sehr glatte Ausbildung.

Nicht so sehr die Gesteinsfestigkeit, sondern der Gebirgsverband mit seinem Trennflächeninventar ist bestimmend für die Einhaltung eines Regelprofiles oder für das Ausfahren von Gesteinskörpern während des Sprengvorganges und im Zeitraum bis zum endgültigen Verbau. Als Folge von Spannungsumlagerungen (Typus e) lösten sich Keile und Platten, teilweise entstanden engscharige Schuppen parallel zur Wandung – ein Entspannungsvorgang, der mit zunehmender Überlagerungshöhe verstärkt in Erscheinung trat. Die Größe der Ausbrüche hängt direkt mit dem Hohlraumquerschnitt zusammen. Bei größeren Tunnelprofilen spielen die großflächig durchziehenden Klüfte eine sehr beachtliche Rolle. Die Ausgleichsspannungen oder Spannungsumlagerungen führen bei längeren Öffnungszeiten zu Schuppen- und Keilablösungen. Die Auswirkungen solcher Entspannungsvorgänge in den Hohlraum sind bei einem Tunnelquerschnitt von über 80 m^2 naturgemäß größer als bei einem Stollenprofil von 8 m^2 . Ein Stollen bewirkt zwar eine gewisse Entspannung des Gebirges in der Innenzone des zukünftigen Tunnelquerschnittes, bei der geringen Größe des Profiles reicht aber dieser Prozeß nicht mehr tiefreichend in das Gebirge, so daß neuerliche Gebirgsentspannungen beim Tunnelausbruch eintreten müssen. Diesen Entspannungsvorgang mit seinen nicht sehr angenehmen Folgen muß man dem harten bis sehr harten Gebirge aber zubilligen, und er kann nach eigenen Beobachtungen in zahlreichen Stollen über Monate, sogar über Jahre andauern. Von Interesse waren die leibungsparallelen Spannungsplatten, die NOWY 1977 im Richtstollen an derselben Stelle feststellte, wo sie auch im Vollprofil wieder auftraten.

2. Mitterberg

War die Vorerkundung des Gebirges mit einem Sondierstollen im Konzept Gleinalm in ihren Erfolgsauswirkungen sehr positiv und dem nachfolgenden Tunnelausbruch sehr dienlich, so gestaltete sich der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Stollensondierung und den weit über die Stollenfirste nach oben greifenden Tunnelausbruchserkenntnissen bei diesem Bauvorhaben zu kontroversiellen Standpunkten und zu einem fachlichen Streitobjekt erster Ordnung. Der Stollen durchhörte über längere Strecken ein Gebirge mit sehr standfesten, pegmatitischen Gesteinen gerade im Kämpfer-First-Bereich. Der Kalottenvortrieb des Tunnels dagegen griff in die Hangendserie ein, die felsmechanisch



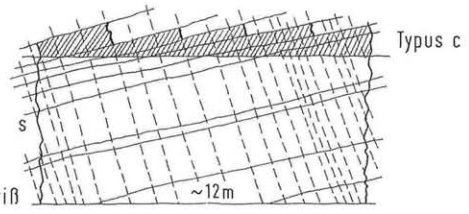
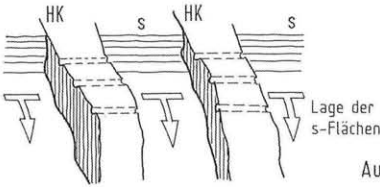
Grundrißformen am linken und rechten Ulmenfuß



Typus a

Ausscheren von Platten zwischen stehengebliebenen Kluffkörperrippen - mit deutlichen Bohrrillen - aus der Ulme

Deckelbildungen in der Firste



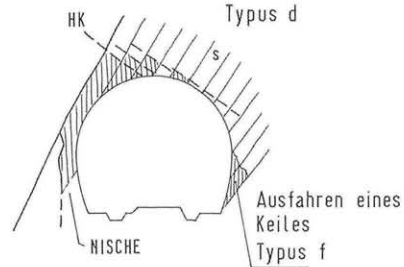
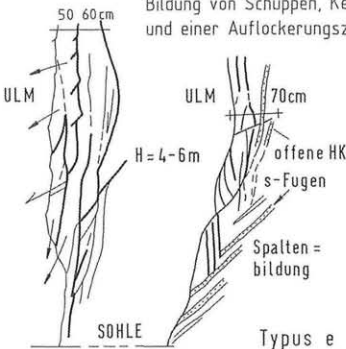
Typus b

Grundriß Typus a

Zwickelausbrüche

Entspannungserscheinungen :
Bildung von Schuppen, Keilen, Spalten
und einer Auflockerungszone

Ablosungen nach steilstehenden
s-Flächen, unter Mitwirkung
von Hauptklüften



Entspannungen tunnelparallel
nach s und HK.

Grundriß: Schalenartiger Ablösungseffekt nach
Minderung der Längsverspannung des Gebirges

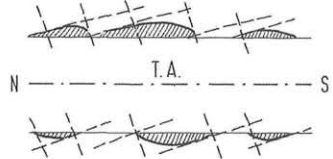


Abb. 2: Überprofiltypen im Gleinalm-Tunnel

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
und von der Standzeit bzw. von der GGKL-Beurteilung her bedeutend schlechter war. Daraus erwuchsen die Auslegungskomplikationen zwischen Bauherrn und Bauausführenden. Der eine beurteilte nach den Stollenaufschlüssen, der andere nach den höher angefahrenen Hangendgesteinen.

Bereits zu Beginn des Tunnelvortriebes zwischen den Stationen 167 und 200 trat ein schwerer Verbruch in der Röhre N auf, und es wurde Prof. Dr. F. PACHER beigezogen. Er wies auf die Scharen von s-Flächen, auf Gleitebenen mit schmierigen Substanzen und auf die Raumlage der Klüfte und Mylonitzonen zum Hohlraum hin. Ferner stellte er fest, daß Montmorillonite in den Mylonitzonen vorliegen.

In der späteren Folge wurde das Büro Prof. L. MÜLLER und von der Bauherrenseite Herr Dr. G. KOPETZKY, von der Auftragnehmerseite Herr Dr. W. FÜRLINGER (siehe W. FÜRLINGER 1978) für die laufende Dokumentation der geologischen Aufschließungen beigezogen. Als Hauptkriterien für die Mehraufwendungen durch den Auftragnehmer konnte man die Veränderung der geologischen Verhältnisse und der Gebirgsklassifikation zwischen Sondierstollen und den Tunnelröhren sowie Mehrausbrüche und das Entstehen von Überprofilen, die als Folgeerscheinungen einen höheren Beton- und Mehraufwand an Geräten zeitigten, anführen.

Das qualitativ richtig eingeschätzte Gebirge im Sondierstollen wurde auf die größeren Tunnelquerschnitte umgelegt und die GGKL als Informationsschlüssel den Anbietern zur Verfügung gestellt. Aus einer exakten Gegenüberstellung der GGKL des Stollens zu denen der beiden Tunnelröhren ergaben sich interessante Relationswerte (nach E. H. WEISS 1977), die von W. FÜRLINGER 1978 ohne Unterlagenhinweise übernommen wurden:

In der S-Röhre waren die GGKL über 40% um eine Klasse höher als im Sondierstollen. Eine **effektive** Verschlechterung war aber im östlichen Teil von 17,24% und im westlichen Teil von 35,90% festzustellen.

Hier waren Differenzen von zwei und drei Klassen in der Bewertung zwischen Stollen- und Tunnelgebirge aufgetreten.

In der N-Röhre betrug die **effektive** Verschlechterung bis zum Zeitpunkt meiner Stellungnahme im östlichen Teil 29,85% und im westlichen Teil rund 60%.

Diese effektive Verschlechterung des Gebirges gegenüber der Stollenaussage löste tunnelbautechnische Erschwernisse aus, die zu einer Art Kettenreaktion führten.

Diese merkbaren Änderungen sind dadurch eingetreten, daß beide Tunnelröhren eben die hangenden, dünnschieferigen Gneise anführten und sich damit die ausschlaggebenden Verschlechterungen gegenüber den liegenden, mehr pegmatitisch betonten Gesteinen des Stollens ergaben. W. FÜRLINGER 1978 hat in instruktiven Querschnitten auch auf die tektonischen Zerlegungsstrukturen und Glimmerschiefereinschaltungen im Kalottenbereich der Tunnelröhren hingewiesen. Weiters war eine erhöhte Bergefeuchte in den ruscheligen Glimmeranreicherungen, entlang mylonitischer Zonen und Klüften mit Tonmineralinhalten für die Verbandsfestigkeit des Gebirges sehr nachteilig. Ebenso ist der höhere Anteil an verwitterten Gesteinen im nicht sehr mächtigen Überlagerungsgebirge erklärbar. Verbrüche und das Herausschieben von kleineren Felspartien, besonders im westlichen Abschnitt, gehen sicher auf Quell- und Schwelldruckerscheinungen zurück, die im Gegensatz zu H. HÖLLER et al 1977 bereits in dünnsten Mylonitlagen bei Vorliegen von bestimmten Tonmineralen auftreten können. Die Existenz solcher Minerale ist unbestritten, und die Gebirgsfestigkeit wird noch von ihren schwächsten Gliedern, nämlich den Trennflächen und Myloniten, bestimmt.

Aus den Untersuchungen von G. RIEDMÜLLER und B. SCHWAIGHOFER 1977 wissen wir, daß mit dem Auftreten mylonitischer Gesteinsbereiche manchesmal technische

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
Probleme auftreten und als Ursachen für die Festigkeitsherabsetzung eines Gebirges die Bildung gleitfähiger Tonminerale in Klüften und im Intergranularraum des Gesteines anzusehen sind. Die Autoren verweisen auf den engen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Tonmineralassoziationen und den bautechnischen Eigenschaften von Scherzonen. In erster Linie betrifft dies Montmorillonite in den Myloniten, die insgesamt auf die Gebirgsfestigkeit einen negativen Einfluß ausüben. Damit ist auch bei einem geringen Montmorillonitanteil eine Nachbruchgefährdung nicht auszuschließen oder sogar bei Einwirken erhöhter Bergfeuchte ein dem Vortrieb nachteilender Verbruch – wie er tatsächlich auftrat – erklärbar.

3. Ganzstein

Nach einer umfangreichen Baugrubenumschließung im Bereich des Ostportales konnte im Schutze von Bohrpfählen und Felskonsolidierungen mittels Injektionen in den Firsten der eigentliche Tunnelquerschnitt aufgefahren werden. Jedoch war man ab der Station 50 m gezwungen, sofort auf einen Ulmenstollenvortrieb umzudisponieren, denn die sehr gebräunen bis sehr druckhaften Phyllite, Quarzite und tektonisch überbeanspruchten Mischgesteinszonen reagierten nach Öffnen des Hohlraumes so plastisch, daß man von einer pastenartigen Konsistenz des „Pseudogebirges“ sprechen konnte. In erster Linie waren die phyllitischen und quarzreichen Mylonite mit einer direkten Wasserbeeinflussung von der sehr nahen Oberfläche am schlechten Gebirgszustand beteiligt. Im geologischen Längenschnitt nach H. HAAS (in W. GOBIET und W. RAUSCH 1980) sind die mylonitischen Phyllite und Quarzite des östlichen Abschnittes der GGKL (IV), V und VI zugeordnet. Die Tunnelbauer haben sich mit großer Flexibilität in ihrer Ausbruch- und Stütztechnik an dieses schwer zu beherrschende Gebirge mit Erfolg angepaßt. Erst bei Station 120 m konnte auf einen normalen Teilausbruch übergegangen werden.

Die gebirgsmechanische Situation änderte sich beim weiteren Vortrieb nur geringfügig, denn die mürben, brüchigen und weichen Phyllite bzw. Phyllonite waren stets von Schmierschichten, Mylonitzügen, Quetschzonen und mittelscharigen Harnischflächen durchzogen – oft war nur mehr eine graue Masse erkennbar. Über die tektonisch eingesicherten Karbonatgesteine des Semmering-Mesozoikums (Zellen-, Trümmer- und dolomitische Kalke) wurde Wasser eingeschleust und die Verformbereitschaft merkbar erhöht.

Zusätzlich wurde mit der Hohlraumöffnung auch sehr rasch der Auflockerungsdruck in dieser „durchkneteten“ Serie aktiviert, und die Folge waren Firstnachbrüche und hohe Deformationen, auch aus der Brust, so daß diese fast immer zusätzlich zu sichern war. Die Tunneltechniker mußten im Streckenabschnitt zwischen 185 m und 658 m (= 473 lfm) zum Abfangen der hohen Deformationen aus der Firste einen „sägezahnähnlichen“ Mehrausbruchsrhythmus wählen und dabei ein gegen die Vortriebsrichtung niedriger werdendes Überprofil (60 auf 30 cm) ausbrechen, sichern und stützen. Dieses Vorhaltemaß wurde so gewählt, daß die Firstsetzungen konform mit dem Einbringen der Sohle, und damit des Ringschlusses, einhergingen. Bei einer mathematisch gleichmäßigen Firstsetzung wäre theoretisch mit dem Ausklingen der Deformation der gewünschte Regelquerschnitt zustande gekommen. In vier Teilabschnitten genannter Strecke betrug aber die Firstsetzungen 40 bis 80 cm – mit Geschwindigkeiten von 10 bis 12 cm/Tag! –, und in einer Gesamtlänge von 133 lfm entstanden dadurch Unterprofile! Die vertikale Verformung war also rascher und ungleich höher als der wirksam werdende Ringschluß. Durch horizontale Deformationen kamen insgesamt 33 lfm Unterprofile sogar in den Ulmen zustande.

Die Idee mit den Vorhaltemaßen im Sinne eines Vortriebsüberprofils zum Abfangen der vertikalen Gebirgsverformungen war eine mutige und auch ausführbare Baumaßnahme, wenngleich die Reaktion des Gebirges heftiger als angenommen war (E. H. WEISS 1979).

4. Tanzenberg

Die Vortunnels (562 m) durchörterten Gneise und Amphibolite des Rennfeldkristallins, die Tunnelröhren (rund 1637 m) überwiegend Gesteine der Grauwackenzone. Der zwischen beiden Bauwerken liegende Tanzenberggraben wurde auf einer Länge von 185 m in offener Bauweise gequert und mit Spritzbetongewölben ausgestattet.

Die Grundlage für die geologische und geotechnische Beurteilung schufen O. HOMANN & H. AUFERBAUER (in: J. VILANEK 1982) und überzeugten sehr mit ihrer Prognose über die Gebirgsverhältnisse. Den ausgezeichneten Kenntnissen von O. HOMANN ist es zuzuschreiben, daß er die „norische Überschiebung“ so treffsicher vorhersagte, daß sogar die Mineure staunten und die tektonische Trennlinie zwischen Veitscher (N) und Norischer (S) Decke markierten. Wer die Gesteinsserien der letzteren Deckeneinheit kennt, ist verwundert über die weitaus günstigeren Gebirgsverhältnisse.

Die Serizitphyllite, Grünschiefer und höher metamorphen Gesteine sowie die graphitischen und talkigen Einlagerungen ließen nämlich schlechtere GGKL für den gesamten Tunnel wirklich erwarten (IV und V = 48%). Das Gebirge war jedoch insgesamt in seinem Festigkeitsverhalten bedeutend besser als beispielsweise im Brucker Tunnel. Die tektonischen Zonen kamen quantitativ überhaupt nicht zur Wirkung, und in Summe schlugen sich die GGKL IV und V nur mit 17,3% zu Buche.

5. Bruck

Die Auswertung der Bohraufschließungen (O. HOMANN 1982) erfaßte sehr eng begrenzte Räume des Untergrundes, die Gliederung in die vorgenannten Decken war theoretisch gut möglich, die räumliche Verteilung der zerrissenen Kalkscherlinge im Liegenden, der tektonischen Zonen und Bewegungsbahnen sowie die von unten her eingequetschten Graphitlagen und Graphitschiefer waren jedoch erst im Vortrieb zu erfassen. Die konzentrierten Graphitanschoppungen im Liegenden und die sehr gestauchten Phyllite, Schwarzschiefer und feinschichtigen Schiefer im Hangenden wurden nicht oder kaum bohrtechnisch erfaßt. So waren alle mit dem Vortrieb der beiden Röhren Befäßen überrascht, als die Karbonkalke und die angeführte Gesteinspalette in der Sohle auftauchten, plötzlich wieder verschwanden, keine Lagerungsverhältnisse eruierbar waren, dafür Sohlhebungen, Horizontalspannungen und damit beängstigende Konvergenzen auftraten. Zusätzlich haben die Kalke mit leichten Karsterscheinungen und die dünne Überlagerungsschwarte Wässer in den Hohlraumquerschnitten einfließen lassen, welche die Deformationen (E. H. WEISS 1988) noch verstärkten. Die Sohlrücke und auch die horizontalen Verformungen sind auf Quellprozesse in den liegenden und in zwischen den Kalklinsen eingescherten Phylliten bis graphitischen Schiefen zurückzuführen (siehe 1988, S. 262). Die Gesteine der tieferen Veitscher Decke kamen vermutlich als Folge von exzessiven Anschoppungen an der norischen Überschiebung positionsmäßig höher, als erwartet wurde, zu liegen.

Die Tabelle 2 (aus E. H. WEISS 1985) veranschaulicht die hohe Deformationsbereitschaft des Gebirges in der bergseitigen Südröhre.

Brucker Tunnel – Röhre Süd: Konvergenzmessungen in cm

Station	Tage nach Ausbruch	H1		First – rechts		First – links	
		1. 3. 85	9. 3. 85	1. 3. 85	9. 3. 85	1. 3. 85	9. 3. 85
360	1	1,3		0,0		0,0	
	9		6,2		3,5		3,5
350	4	2,8		3,0		1,1	
	13		12,2		5,8		3,1
*) 340	11	9,2		5,2		0,0	
	20		20,5		13,5		0,5
*) 330	14	12,7		6,3		0,0	
	23		22,8		15,5		0,6
*) 320	18	12,6		8,0		0,5	
	27		20,8		17,0		0,9
*) 310	24	17,3		6,8		5,9	
	33		21,8		13,1		8,8

*) Rißzone im Spritzbeton

Ebenso zeigten die Extensometer eine zunehmende Deformation des 10 m breiten Pfeilers zwischen beiden Röhren, so daß bei der sehr geringen Überlagerungshöhe von 60 bis 70 m ein kontinuierliches Verformen des Pfeilergebirges in horizontaler Richtung nach Süden eintrat. Die reinen Graphitlagen und die Kohlenstoff führenden Schiefer verstärkten noch diesen Bewegungsprozeß. In der Folge entstand eine beachtliche Scherrißzone im Spritzbeton (310–345 m), Platten wurden abgehoben, Stahlbögen S-förmig verbogen, und in der N-Röhre brach der Spritzbeton bis in Höhe der Firste auf. Aufgrund dieses außergewöhnlichen Gebirgsverhaltens wurde der Felspfeiler zwischen den Röhren auf 150 m Länge mit 9- bis 12-m-Ankern, ähnlich einer „Schließe“, zusammengespannt. Zusätzlich wurde die Sohlschlußzeit so verkürzt, daß 20–25 m hinter der Brust bereits das Sohlgewölbe eingebracht war und der Ausbauwiderstand und damit die Stützung des sehr verformungswilligen Gebirges rasch zur Wirkung kam. Damit wurden die Konvergenzen, welche eindeutig eine Verdrehung des Pfeilers und der N-Röhre zur Talseite anzeigten, gestoppt.

6. Ruprecht

Im Gegensatz zum Brucker Tunnel wurde hier in bezug auf die Verbandsfestigkeit ein einheitlicher Gebirgskomplex angefahren und herrschten gleichmäßige Lagerungsverhältnisse und keine auf die Tektonik zurückzuführende Schubverformung vor. Obwohl eine ausgeprägte Materialanisotropie zu beobachten und generell das Gebirge in die GGKL V einzuordnen war, stabilisierte der dem Vortrieb rasch folgende Stützausbau Gebirge und Bauwerk. Im westlichen Bereich versteiften die wellig eingeschalteten Karbonkalke den nach NW und N flach einfallenden Schieferverband. Ebenso hatten die

auch im westlichen Teil des Brucker Tunnels festgestellten feinschichtigen Schiefertypen unterschiedliche Standfestigkeiten: Die hellgrauen mit einem hohen Quarzanteil waren standfester als die dunkelgrauen oder die dunklen Typen, die vielfach eine starke Wechsellagerung mit dünnen, graphitischen Einschaltungen aufwiesen und meist eine stückige Zerlegung der schichtigen Gesteinspakete bewirkten. Trotzdem betrug die horizontalen Konvergenzen (H 1) nur 3–4 cm. Lediglich in jenen Bereichen stieg vorübergehend die Verformung lokal an, in denen leicht bergfeuchte Graphitschiefer, weiche Schmierlagen oder mylonitische Züge parallel dem s-Gefüge auftraten und die GGKL zwischen V und VI gegeben war.

Im kurzen Voreinschnitt zwischen den beiden Tunnelbauwerken (5. und 6.) wurden weiche Phyllite und ein alter Rutschkuchen gequert. Einige Risse im östlichen Portalbereich des Rupprechter Tunnels sind auf den Druck dieser Masse zurückzuführen, von der Bergseite des Einschnittes war eine Bewegung von 90 mm/Monat zur registrieren, und durch schwere Stützmaßnahmen (Wandverbau, Stützbeton, 9- bis 12-m-Anker mit 60 t bzw. 100 t Vorspannung je lfm Wand) konnte dieser Verformung Einhalt geboten werden.

7. Niklasdorf

Die schwierigsten Bedingungen für den Tunnelbau traten ohne Zweifel in diesem Bauvorhaben auf (A. SEBL-LITZLBAUER und W. STIPEK 1985). Die Vortriebe der Röhren verliefen in einer Lehne mit max. 60 m Überlagerung und hatten gewaltige Gebirgsverformungen im Ausbruchs- und Stützungsstadium abzufangen (Tab. 3 und 4). Die beiden sehr langen Voreinschnitte im Osten und Westen lösten durch die Einkerbungen außerdem beachtliche Bewegungen aus. So mußten im Osten der bergseitige Einhang schrittweise abgetragen und die Böschung durch schwere Ankerungen gesichert werden (G. RIEDMÜLLER und F. J. BROSCHE 1984). Unmittelbar nachfolgend wurde vom Ostportal eine Doppelröhrenkonstruktion aus Beton errichtet, diese beschüttet und somit die südliche Lehne zusätzlich gestützt. Die Steifflanke im Westen des Tunnels wurde durch Bohrungen gut aufgeschlossen und dabei Steilgefällsgrundwasser in den Phylliten festgestellt. Mit dem sehr großzügigen Anschneiden des Hanges leitete man eine Massenbewegung ein, die letztlich zu einem Ausschwenken der Trasse, zum Vorziehen der Betonröhren und zu schweren Stützmaßnahmen führte. Elliptische Brunnen (4×6 m) mit max. Einbindungstiefen von 29 m und betonverfüllt übernahmen auf der Bergseite die Funktion von gewaltigen Pfählen, welche die vorgezogenen Tunnelröhren vor weiteren Bewegungen zu schützen hatten. Trotzdem haben sich vor Inbetriebnahme der Umfahrung diese Pfähle an der Krone noch 70 bis 80 cm zur Talseite verwunden.

Die Gebirgsverhältnisse im Tunnel waren bedeutend schlechter als erwartet, und die Verformungen in den Ausbruchsquerschnitten waren derart hoch (siehe Tab. 3 und 4), daß mehrmals die Sicherungs- und Stützmittelsysteme geändert und die Vortriebstechnik umgestellt werden mußte. Kohlenstoff führende Phyllite, Serizitphyllite im Kern der Lehne, quarzitisches Typen und die zahlreichen mylonitischen Einschaltungen setzten die Verbandsfestigkeit des Gebirges beim Ausbruch sehr wesentlich herab. Hinzu kamen die sehr engständige Klüftung, mächtige Störungszonen, Scherstrukturen und der Bergwassereinfluß. Besonders durch die Drainagewirkung des Hohlraumes wurden Wässer über die Quarzlinsen in empfindliche Phyllite eingeschleust und die Verformungen erhöht (E. H. WEISS 1988). Zusätzlich ist auch die gegenseitige Beeinflussung der beiden Röhren zu nennen. Im Firmenentwurf war nämlich eine Pfeilerstärke von nur 2 m angesetzt! Damit ergab sich eine erhöhte Deformationsbereitschaft der Schiefergesteine. Nach den

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
 ersten Erfahrungen verschwenkte man die Südröhre bergwärts und erreichte so eine Stärke des Pfeilers zwischen den beiden Röhren von rund 14 m. In der Strategie zur Gebirgsbeherrschung waren daher zusätzliche Maßnahmen wie Nachankerungen, Setzen von Ankerbalken, Einbau von Sohlriegeln, ein rascher Ringschluß und der 53 m lange Vortrieb eines Pfeilerstollens vom Westen her zwingend notwendig. Dieser Betonpfeiler sicherte sehr vorteilhaft den vom Osten vorgetriebenen Röhrenausbau. Nur durch die angeführten Techniken, die zur Erhöhung der Stützkkräfte führten, war es nach meiner Meinung erst möglich, die Querschnitte zu halten und auszuführen.

F. PASSAWA 1986 faßte in seiner Arbeit alle Daten des Tunnelbaues unter Einbeziehung der geologischen Dokumentation durch F. J. BROSCHE, K. KLIMA und P. PÖLSLER 1984 (b) zusammen, wovon die mir wichtig erscheinenden Aussagen den Tabellen drei und vier zu entnehmen sind. Die Station 595 m im Westen ist das Ende des bergmännischen Vortriebes. Bedeutend für die Nachankerungen, zusätzlichen Stützmaßnahmen und Sohlsanierungen waren die schlechten GGKL, die gleichmäßige Durchfeuchtung und damit Veränderbarkeit des phyllitischen Gebirges sowie die Deformationen der Querschnitte durch Firstsetzungen, Sohlhebungen und zum Teil Konvergenzen. Beim Vergleich beider Tabellen kommt sehr klar die größere Reaktion des Gebirges in der bergseitigen Südröhre zum Ausdruck. Eine Verbesserung im westlichen Abschnitt wurde jedenfalls durch den Pfeilerstollen erreicht.

Tabelle 3:

Bergröhre – Niklasdorf Süd: Daten und Maßnahmen

	Portal Ost	–	300 m	–	595 m
Bergwasser	Starkes Tropfwasser und hohe Bergfeuchte – besonders von der Bergseite: 130–250 m und 270–300 m		Wiederholt Quellen; Tropfwasser und hohe Bergfeuchte auf der Bergseite, in den Firten und talseitigen Ulmen		
GGKL	IV und V: 0–100 m, sonst nur VI!				
Nachankerungen	zwischen 20 und 180 m wiederholt,		300–350 m intensiv, anschließend bis		450 m erforderlich
Stützmaßnahmen	zusätzlich Sohlriegel, Sohlplatten, Kalottenfußsicherungen; zwischen 210 und 550 m mußten sogar die Brustkeile geankert werden				
Maximale Firstsetzungen	60 cm bei Station 70		85 cm! um Station 360		
Konvergenzen					
H 1: Kalotte	um 10 cm		2–7 cm: 300–460 m		
H 2: Strosse	8–12 cm; ab 200 m abklingend		25 cm um Stat. 360		
Sohlhebungen	Soweit erfaßbar bis 30 cm! über 5 cm const.: 70–150 m 5–7 cm:		30 cm: um Stat. 360 270–340 m		
Sohlsanierungen	Ab Stat. 70 durchgehende, geankerte Stat. 350 Auf der Talseite wurde das Gebirge injiziert; ab Stat. 140 auch auf der Talseite		Betonsockel auf der Bergseite bis Sohlaustausch und Ankerungen entlang des talseitigen Banketts zwischen 340 und 490 m		

Tabelle 4:

Tahrlöhre – Niklasdorf Nord: Daten und Maßnahmen

	Portal Ost	–	300 m	–	595 m
Bergwasser	Ab Stat. 70 durchgehend fast über das gesamte Profil verstärkte Tropfwässer und hohe Bergfeuchte		Tropfstellen und fleckige Bergfeuchte in der Leibung verteilt: 300–550 m		
GGKL	IV und V: 0–70 m, dann V und VI		nur VI		
Nachankerungen	zwischen 20 und 80 m		In der Sanierungsstrecke des Ausbaues zwischen 310 und 345 m		
Stützmaßnahmen	zusätzliche Sohlriegel, Auflagerbank im Kalottenfuß, temporäre Strossensohle		und Ankerungen der Brustkeile		
Maximale Firstsetzungen	über 20 cm durchgehend 105 cm (!): Stat. 80 über 30 cm: 50–250 m		über 35 cm durchgehend: 300–475 m 60 cm: Stat. 340 50 cm: Stat. 420 von Station 475 nach Westen abklingend auf 10 cm		
Konvergenzen					
H 1: Kalotte	5 cm als Mittelwert		um 5 cm, mit max. Werten bis 7 cm		
H 2: Strosse	3–8 cm kontinuierlich		2–4 cm kontinuierlich		
Sohlhebungen	bis max. 10 cm: 170–220 m, sonst durchgehend einige cm		unbedeutend		
Sohlsanierungen	Geankerte Betonsockel (Bergseite) 60–290 m; (Talseite): 190–290 m Injektionen: 65–80 m zusätzlich mußte auf langen Strecken das Außengewölbe bis Station 460 erneuert werden		keine		

Vergleichende Anmerkungen zum Tunnelbau in der Grauwackenzone

Maßgebend für die Einschätzung eines Tunnelgebirges sind die geologischen Einflußfaktoren, die in der genannten geologischen Zone von den veränderlichsten Schiefergesteinen, vom Bergwasser, vom tektonischen Geschehen und von der Position, in der sie angefahren werden, diktiert werden. Die Gebirgsmassen mit hohen tektonischen Beanspruchungen reagierten auf den Tunnelbau mit hohen Verformungen (Ganzstein, Bruck, Niklasdorf), die noch durch eine gleichmäßig verteilte Durchfeuchtung (im besonderen Niklasdorf, z. T. Bruck) verstärkt wurden. Einen zusätzlichen Einfluß übten die geringen Überlagerungen und die daraus resultierenden Spannungszustände auf die Lehnentunnels aus (Bruck, Niklasdorf, Westteil Ganzstein), doch Ausnahmen können die Regel bestätigen (Ruprecht). Der Tanzenberg-Tunnel tanzt dabei völlig aus der Reihe, obgleich er zwei Deckeinheiten erfaßte. Wirken alle hier aufgezeigten Einflüsse ein, dann sind durch die hohen Deformationen mehrphasige Arbeitsgänge vonnöten (Niklasdorf). Jedenfalls zeigen die angeführten Beispiele doch unterschiedliche Gebirgsfestigkeiten auf und ist die Verbandsfestigkeit eines Tunnelgebirges doch als positives Kriterium heranzuziehen (Tanzenberg, Ruprecht). In letzter Konsequenz kann natürlich auch der menschliche und der vortriebstechnische Einfluß mitspielen. Als in den Jahren 1962–1965 der 397 m (!) lange Massenberg-Tunnel für die Umfahrung Leoben hergestellt wurde, kämpfte man mit der alten Bohr- und Sprengmethode, die fast einer modifizierten Kernbauweise glich, um die sehr gebräunen bis sehr druckhaften, graphitischen und

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
serizitischen Schiefer zu bewältigen. 20 Jahre später wurde die zweite Röhre nach den modernen Gesichtspunkten der NATM ohne außergewöhnliche Schwierigkeiten aufgeföhren.

Der gesamte Lehenabschnitt von Niklasdorf geriet mit seinen drei Bauwerksabschnitten durch geologisch-felsmechanische Einflußfaktoren in kritische Stabilitätszustände, die nur durch einen hohen technischen Aufwand und ein stetes Anpassen an die jeweiligen Verhaltensweisen des Gebirges beherrscht werden konnten. Nach den gemachten Erfahrungen ist aus geologischer Sicht doch festzustellen, daß in der Vorerkundungsphase höhere finanzielle Mittel für weit ausgreifende Untersuchungen zur Verfügung stehen müssen (E. H. WEISS 1986). Aus den Bohraufschließungen allein (H. HAAS 1981) konnte das fast böartige Gebirgsverhalten nicht abgeleitet werden. Bei geologisch ähnlich gelagerten Bauprojekten wäre es daher angebracht, in Achse einer geplanten Bergöhre einen Sondierstollen als bestes Auskunftsmittel voreilend vorzutreiben.

8. Gratkorn Süd

Ähnlich wie im nördlichen Tunnel (vgl. Schnitt in W. NOWY 1989) waren die oberkarbonen Schiefer der Dult und die mitteldevonischen Kancelkalke mit ihren Verkarstungen hier in der Abschätzung ihres Ausbruchsverhaltens Anlaß zu Verformungen und zu beachtlichen Überprofilen. Im Nordbaulos wurde zur Klärung des Gebirgsaufbaues ein Ulmensondierstollen vorgetrieben, im Südbereich standen Obertageaufschlüsse und Erkundungsbohrungen zur Verfügung. Eine Bohrung im südlichen Abschnitt durchstieß die Dulter Serie bis auf Tunnelsohle, wurde nach Beendigung der Arbeiten aber nicht verschlossen und bewässerte vor dem Hohlraumausbruch das Gebirge der östlichen Röhre derart, daß die feingeschieferten Tongesteine eine Änderung in ihrem Verbandsverhalten erfuhren. Die sehr flach nach N einfallenden Schichten, hochgradig zerlegt und verwittert, reagierten dann beim Vortrieb durch diese „nasse Vorbehandlung“ sehr abrupt mit Deformationen, schaligen Mehrausbrüchen und verlangten höhere Stützmaßnahmen.

Ein Parallelfall ist vom Westbereich des Tunnels Mitterberg (2.) bekannt. Ein offenes Bohrloch aus der Erkundungszeit bewässerte überreichlich das zukünftige Hohlraumgebirge, veränderte es, und beim folgenden Sondierstollenvortrieb trat in diesem Bereich ein gegenüber der prognostizierten Einschätzung um 2 GGKL verschlechterter Gebirgszustand auf. Für den Vollausbruch wurde dies in Rechnung gestellt (mündliche Mitteilung durch DI Dr. W. Gobiet).

Im erhöhten Maße beeinflussten die Karsthohlformen die Profilmäßhaltigkeit und die vorgegebenen Arbeitstechniken! Oft lag nur eine gerippeartige Felsstruktur vor, dazwischen lagen Karstschläuche, Karstspalten, lehmverfüllte und aufgetrömmerte Zonen. Zusätzlich wurden Gebirgsbereiche durch ungünstige Flächenverschnitte der Klüfte und Schichtebenen mit den Karst- und Tunnelquerschnitten aufgelockert, oder es entstanden schlagartig Mehrausbrüche. Bei der geringen Überlagerungshöhe von max. 65 m war der Zutritt von Wasser konform den Niederschlägen sehr rasch, zusätzlich brachte die Tunnelbewetterung Feuchtigkeit ins Gebirge, und damit stieg auch die Nachbruchgefahr. Die sehr großen Kubaturen von rotlehmdurchsetzten Kalken und gefüllten Karsträumen wurden ihres inneren Reibungswiderstandes beraubt, die lehmigen Materialien veränderten sich, und sehr plötzlich kamen so Verbrüche zustande, die im Extremfall einen abgesicherten Querschnitt bis zum First mit Versturzböcken und Lehm auffüllten. Sondierbohrungen, vom Gelände oder von der Tunnelbrust ausgeführt, wären nicht zielföhrend gewesen, weil sie einerseits Zufallstreffer gleichgekommen wären,

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
andererseits lauerte die Gefahr meist über den Kalottenbereichen. W. NOWY 1989 hat in seiner Prognose auf Niederbrüche hingewiesen, ihr Ausmaß war jedoch wesentlich voluminöser.

9. Plabutsch

Die Tunneltrasse mißfiel vielen Geologen, deren Anzahl bei weitem die echten fachspezifischen Einflußfaktoren des Gebirges überstieg. Aus manchen ängstlichen und unerfahrenen Vorstellungen schälten sich Wassereinbrüche, das Gespenst der „Überkarsterscheinungen“ und die erhöhte Verbruchgefahr für das Bauvorhaben heraus, die letztlich fast in einer Undurchführbarkeit des Tunnelbaues in den paläozoischen Karbonatgesteinsserien gipfelte. Noch dazu war die Mehrzahl dieser Vertreter keineswegs baugeologisch tätig, dafür bereit, in den heimischen Gazetten öffentlich ihre Meinungen zu äußern. Die geologisch sehr fundierten Prognosen durch H. SEELMEIER 1976 und O. HOMANN 1977 führten letztlich zum Durchbruch, fanden die Anerkennung der verantwortlichen Techniker und Politiker, und das Tunnelgebirge bestätigte auch die Annahmen. Selbst die Verkarstungen und die wasserführenden Zonen blieben im angenommenen Rahmen (siehe E. H. WEISS 1988!), und kein weit entfernter Grundwasserkörper wurde durch den 1980 bis 1982 ausgeführten Sondierstollen noch durch den Tunnelbau beeinflusst!

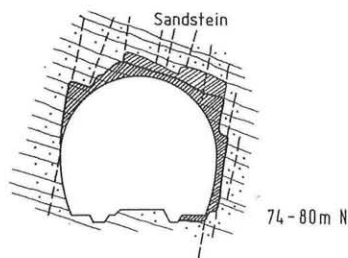
Über die ersten baugeologischen Erfahrungen berichteten F. J. BROSCHE, K. KLIMA und P. PÖLSLER 1984 (a), eine zusammenfassende Darstellung über den Tunnel erfolgte durch Ch. THEUSSL und W. GOBIET 1987. Unter dem Eindruck der erwähnten Einwendungen ist es vielleicht zu verstehen, daß die GGKL-Bewertung in der Prognose eher auf die schlechteren Klassen tendierte, tatsächlich waren die vom Dolomit ($\frac{2}{3}$ der Strecke) beherrschten Gebirgsverhältnisse weitaus günstiger. Abstrahierend nach Ch. THEUSSL und W. GOBIET 1987 ergab sich für den gesamten Tunnel folgender Vergleich:

GGKL	Prognose	Tatsache
I, II	49,0%	63,3%
III	30,1%	25,2%
IV, V	20,9%	11,5%

Außer den gemachten Feststellungen verblieb ein achtenswertes Phänomen in der Tunnelausführung, nämlich das der Überprofile, über das zu berichten ist. Die Mehrausbruchsbereiche wurden gemeinsam mit dem geologischen Betreuer des Tunnels, Hr. Dr. P. Pölsler, vor Ort, Profil für Profil, mit Hilfe der Lichtraumprofile überprüft und nach der Aufnahmedokumentation detailliert beurteilt, die Ausbruchstiefen der geologisch bedingten Überprofile bewertet und in Typen zusammengefaßt (E. H. WEISS 1987). Zur besseren Veranschaulichung sind die Profile in den Abbildungen 3–5 schematisiert, die geologischen Strukturen und Spannungserscheinungen, die als Verursacher der ungewollten Mehrausbrüche zu betrachten sind, deutlich hervorgehoben. Das generelle Lagerungsgefüge fällt flach nach W, daher ergeben sich geometrische Unterschiede zwischen den Profilen beider Baulose durch die jeweilige Blickrichtung. Deshalb sind die Stationen der Querschnittstypen 1–15 mit N und S bezeichnet.

Verstärkt traten Kluftzwickelausbrüche durch den spitzwinkligen Verschnitt zweier Kluftscharen mit den Schichtflächen, unter Einbeziehung von schieferigen Lagen, auf (Typus 1a, 1b). Vorschub für Keilablösungen leisteten auch offene, schräg durchstreichende Klüfte, die mit der mittelsteil einfallenden Schichtung spitzgotische Ausbrüche bewirkten (Typus 2). Bei Typus 3a, 3b entstanden asymmetrische Profile durch mergelige

TYPUS 1a



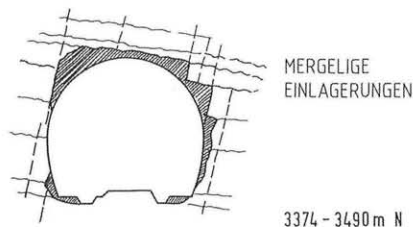
TYPUS 1b

Große ZWICKELAUSBRÜCHE durch SCHIEFEREIN-SCHALTUNGEN und ausgeprägtes KLUFTGEFÜGE



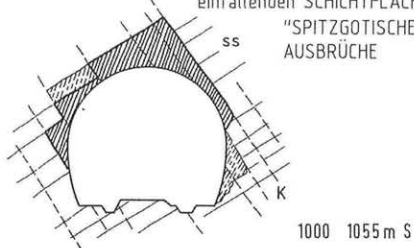
TYPUS 3a

ASYMMETRISCHES PROFIL durch ABLÖSEN von PLATTENKÖRPERN PARALLEL ss



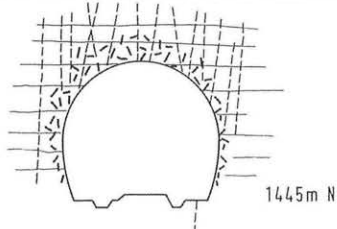
TYPUS 2

KLÜFTE (z.T. offen) verursachen mit den steil einfallenden SCHICHTFLÄCHEN "SPITZGOTISCHE" AUSBRÜCHE



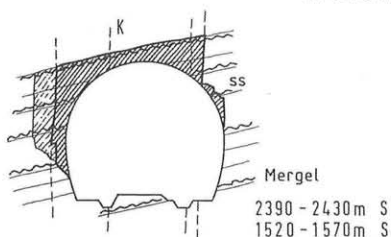
TYPUS 4

Ausbrüche rund um das Profil durch ein stark ENTFESTIGTES GEBIRGE (KLUFTSCHAREN!)



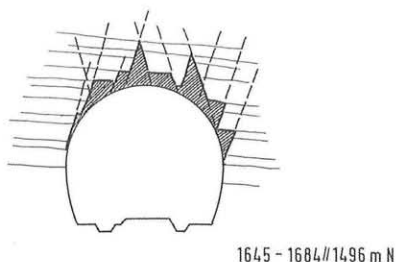
TYPUS 3b

ASYMMETRISCHES PROFIL durch MERGELIGE LAGEN IM DOLOMIT



TYPUS 6

SÄGEZAHNARTIGE AUSBRÜCHE durch verschieden streichende Klufsysteme im bankigen Dolomit



TYPUS 5

KLUFTKÖRPERABLÖSUNGEN in Verbindung mit ss-BÄNKEN und BERGWASSER

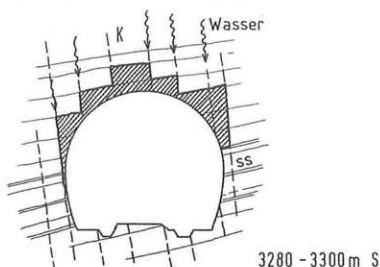
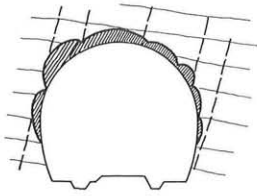


Abb. 3: Ausbruchsformen und Überprofiltypen im Plabutsch-Tunnel (Typus 1a-5)

TYPUS 7

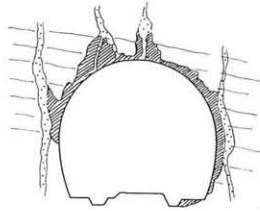
Dolomit mit ausgeprägten GROSSKLÜFTEN
und SCHALIGEN ABLÖSUNGEN



2050 - 2230 m N

TYPUS 8

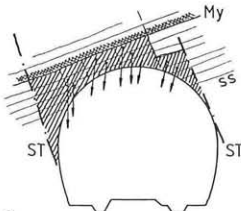
Mehrausbrüche durch VERKARSTUNG



3906 - 3928 m N

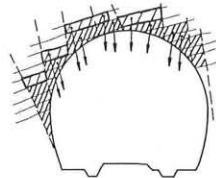
TYPUS 9

DECKELAUSBRÜCHE nach ss- parallelen
MYLONITEN und STÖRUNGEN



2180 - 2190 m S

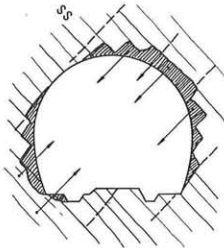
DACHZIEGELARTIGE AUSBRÜCHE



2646 - 2660 m S

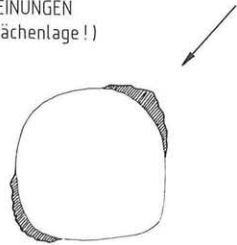
TYPUS 10

Ausbrüche durch LEICHTE
ENTSPANNUNGERSCHINUNGEN
(Sonderfall der ss - Flächenlage!)



2230 - 2248 m N

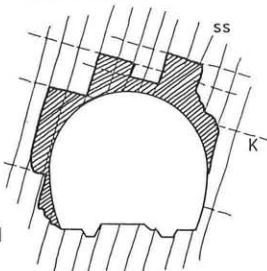
BANKUNGSFLÄCHEN
MIT FUGEN



2245 - 2260 m N

TYPUS 11

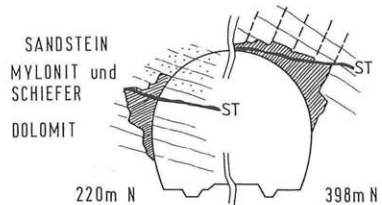
AUSBRECHEN VON KLUFTKÖRPERN AUS DEN
STEIL EINFALLENDEN BÄNKEN



1034 - 1052 m N

TYPUS 12a

SONDERFÄLLE von Ausbrüchen durch STÖRUNGEN
oder an GESTEINSGRENZEN (li.)



220 m N

398 m N

Abb. 4: Ausbruchformen und Überprofiltypen im Plabutsch-Tunnel (Typus 7-12a)

TYPUS 12b

AUSBRÜCHE DURCH STÖRUNGEN



3156 m S; 546m mit Bergwasser x)

TYPUS 13

AUSBRÜCHE durch STÖRUNGEN, MYLONITE und LEHMEINSCHALTUNGEN

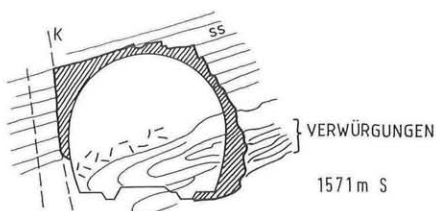


K mit Rotlehm

4141-4175 m S

TYPUS 15

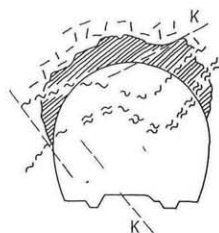
AUSBRÜCHE besonders im östlichen Umfußbereich durch VERWÜRGUNGEN



1571 m S

TYPUS 14

Merkbare Überprofile durch SCHIEFERZWISCHENLAGEN, K-LETTEN und GEFÜGEAUFLÖCKERUNGEN



3103, 3124m S

Abb. 5: Ausbruchsformen und Überprofiltypen im Plabutsch-Tunnel (Typus 12b-15)

Lagen; Ausbrüche rund um das Profil oder in unregelmäßiger Konfiguration wurden in stark entfestigten Bereichen wahrgenommen (Typus 4). Plattenablösungen nach den Bankungsfugen, in Verbindung mit wasserführenden Steilklüften (Typus 5) waren genauso charakteristisch wie sägezahnartige Ausbrüche (Typus 6) und schalige Abplatzungen (Typus 7). Vorschub für Mehrausbrüche leisteten die zahlreichen kleinen Karsthohlförmungen (Typus 8), auf die F. J. BROSCHE et al 1984 (a) in ihren Querschnitten sehr instruktiv hinweisen.

Die Deckelausbrüche des Südens waren mehr auf ss-parallele Myloniteinschaltungen zurückzuführen (Typus 9), im Norden spielten die flache Lagerung und die quer zur Tunnelachse durchtrennenden Klüfte eine wichtige Rolle. Selbst bei geringen Überlagerungshöhen (250-300 m!) stellte sich ein sekundärer Spannungszustand ein, dem auch das asymmetrische Ausbrechen von Gesteinskubaturen (Typus 10) oder ein einhäufiges Ausbruchsprofil zuzuschreiben war.

Das Ausbrechen von Kluftkörpern aus steil einfallenden Schichten war dagegen ein Novum in der Profilgestaltung (Typus 11). Die Typen 12a, b, und 13 waren vielfach von Störungen, Mylonite, Lehmeinschaltungen und auf Gesteinswechsel zurückzuführen. Schieferzwischenlagen mit leichter Wellung prägten den Typus 14, Ausbrüche durch tektonische Verwürgungen den Typus 15.

Die Abb. 3-5 veranschaulichen, wie die zahlreichen Mehrausbrüche zustande kamen und welche Einflüsse in den Einzelfällen wirksam waren. Trotz des ausgezeichnet gesteuerten Sprengvortriebes lösten sich größere Mengen als beabsichtigt aus dem Gebirgsverband. Die aufgezeigten Gefügeverschnitte waren als maßgebende Kriterien bei der Beurteilung heranzuziehen (E. H. WEISS 1987).

Epilog

Aus den dargelegten Beispielen lassen sich vielschichtige Probleme ableiten, die von der Prognose bis zum Langzeitverhalten eines Tunnelgebirges weitgespannt reichen. Neben den naturwissenschaftlich begründeten Einflüssen der Geologie sind die unterschiedlichen Überlagerungsmächtigkeiten, die Gebirgsspannungen, die druckhaften Wässer sowie die Verformbarkeiten im zeitlichen Verhalten eines inhomogenen Gebirges im besonderen zu nennen. In den Projektierungsphasen sind trotz Vorliegen geologischer Prognosen – untermauert durch Bohrungen und geophysikalische Messungen – noch immer die Größen der angeführten Einflußfaktoren unbekannt, oder sie werden nur angeschätzt. Daraus lassen sich die verbleibenden Risiken für die Tunnelbauer ableiten, die nur zu oft bei Auftreten von veränderten oder wechselhaften Gebirgsverhältnissen neue Techniken und materielle Mehraufwendungen einsetzen müssen. Nicht nur das stete Anpassen, sondern auch die Beobachtungen des Verformungsspieles des Gebirges mit den eingebrachten Stützmitteln gehört zu ihren Aufgaben.

Im Planungsstadium werden mitunter Unmengen von geotechnischen Daten an sie herangetragen, analysiert, diskutiert und daraus sehr lehrreiche Traktate abgehandelt – nur zu oft bleiben diese für den Tunneltechniker abstrakt. Erst mit dem Eindringen in meist tiefere Gebirgsbereiche, wie wir sie auch in seicht überlagerten Lehnenabschnitten beobachten konnten, beginnen unerwartet die Schwierigkeiten im geotechnischen Verhalten des Werkstoffes Fels. Daher ist es grundsätzlich sinnvoll, größere oder geologisch nicht klar definierbare Gebirgskörper durch Sondierstollen voraufzuschließen, damit mögliche Schwierigkeiten beim Tunnelausbruch rechtzeitig aufgezeigt und arbeitstechnisch minimiert werden können. Wie das Beispiel Mitterberg zeigte, sind wir auch dann vor Überraschungen nicht sicher.

Das Thema der geologisch bedingten Überprofile wurde deshalb bevorzugt behandelt, weil bei einer noch so guten Vorstellung über das Bruchverhalten eines Gebirges beim Sprengen diese oft irrelevant zum tatsächlichen Ausformungsverlauf steht. Denn letztlich diktieren das Trennflächengefüge, das Bergwasser und die durch den Hohlraum eingeleiteten Spannungsumlagerungen die Maßhaltigkeit der Querschnitte von Abschlag zu Abschlag.

Die Auftragnehmer haben zwar Ausbruchtoleranzen von 100% Überprofil einzurechnen, steigt jedoch mit Auftreten von geologisch definierbaren Mehrausbrüchen der Aufwand an Spritz- und Ringbeton enorm an, dann hat eine sorgfältige Prüfung das Ausmaß dieser Mehraufwendungen festzulegen. Liegt eine erstklassige geologische Dokumentation und eine durchgehende geotechnische Betreuung des Tunnelbaues vor, dann sind in dieser Hinsicht „Überraschungen“ leichter einzugrenzen und für beide Seiten gerechter zu lösen.

Literatur

- BROSCH, F. J., KLIMA, K. und PÖLSLER, P.: Baugeologische Erfahrungen beim Ausbruch des Plabutschunnel-Sondierstollens der A 9, Pyhrnautobahn. Felsbau 2, 151–165, Verl. Glückauf, Essen, 1984 (a).
- BROSCH, F. J., KLIMA, K. und PÖLSLER, P.: Baugeologische und geotechnische Dokumentation beider Tunnelröhren Niklasdorf, Graz 1984 (b).
- BUNDESMINISTERIUM für BAUTEN und TECHNIK – Straßenforschung (Hrsg.): Dokumentation österreichischer Straßentunnelbauten. Als Heft 161 in drei Teilen, bearbeitet von der Arbeitsgruppe Tunneldokumentation, Wien 1981.
- DEMME, W.: Zur Geologie des Gleinalmtunnels. Baubeschreibung und geologisches Gutachten für die Bauausschreibung, Okt. 1973.

- © Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
- FRANK, W., NOWY, W. und SCHARBERT, S.: Altpaläozoisches Alter der Amphibolit/Plagioglasgneisserie und Rb/Sr Glimmerdaten aus der Gleinalpe (Ostalpines Altkristallin). *Tschermaks mineralog. Mitt.* 1976.
- FÜRLINGER, W.: Geologische Vorerkundung und baueologische Erfahrungen – ein kritischer Vergleich am Beispiel des Mitterbergtunnels. *Rock Mechanics, Suppl.* 7, 3–11, 1978.
- GOBIET, W. und RAUSCH, W.: S 6 Semmering-Schnellstraße – Umfahrung Mürrzusschlag. Hrsg. Amt Stmk. Landesreg. – LBD, Graz 1980.
- HAAS, H.: Geotechnisches Gutachten betreffend Umfahrung Niklasdorf, LBD-Stmk., 15. 12. 1981.
- HÖLLER, H., HOMANN, O., KOLMER, H. und WIRSCHING, U.: Natürliche Gesteinsveränderungen – Probleme beim Straßen- und Tunnelbau. *Rock Mechanics*, 10, 73–80, Springer Verl., 1977.
- HOMANN, O.: Das kristalline Gebirge im Raume Pack–Ligist. *Joanneum, Mineralog. Mittbl.*, Heft 2, 1962.
- HOMANN, O.: Geologisches Gesamtgutachten unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse betreffend Plabutschtunnel. Erstellt an LBD für Stmk., 23. 5. 1977.
- HOMANN, O.: Geotechnisches Gutachten – Abschnitt Bruck/Mur–Oberaich; Detailprojekt 1983 im Auftrage der ASAG, 20. 4. 1982.
- JELITZKA, P.: S 6 Semmering-Schnellstraße – Baubeginn Bruck/Mur–Oberaich. *Österr. Bauwirtsch.*, 48, 1985.
- METZ, K.: Geologische Karte der Steiermark, 1 : 300.000. Akad. Druck- u. Verlagsanst. Graz, 1957.
- METZ, K.: Erläuterungen zur geologischen Karte der Stmk., *Mitt. Nat.wiss. Verein f. Stmk.*, 89, Graz, 1959.
- MÜLLER, L.: Der Mehrausbruch in Tunneln und Stollen. *Geol. u. Bauwesen*, 24, H. 3–4, 1959.
- NOWY, W.: Die Geologie des Gleinalm-Autobahntunnels (1. Teil: Tektonik). *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 24, 59–123, Wien, 1977.
- NOWY, W.: Die Bedeutung der geologischen Betreuung voraussiehender Sondierstollen. *Felsbau*, 7, Nr. 2, 1989.
- PASSAWA, R.: Tunnel Niklasdorf „Bergmännische Strecke“ – Baudokumentation, baueologische Analyse (TU Graz) und Aussagen zur Tunnelbautechnik. *Dipl.-Arbeit Univ. f. Bodenkultur Wien*, 1986.
- RIEDMÜLLER, G. und SCHWAIGHOFER, B.: Zur Tonmineralverteilung nachbruchgefährdeter Gesteinsbereiche im Untertagebau. *Verh. Geol. B.A.*, Jg. 1977, H. 3, 387–392, Wien 1977.
- RIEDMÜLLER, G. und BROSCHE, F. J.: Zwischenbericht über die baueol. Dokumentation des Voreinschnittes Ost, erstellt an die ASAG, 25. 7. 1984.
- SEBL-LITZLBAUER, A. und STIPEK, W.: Semmering-Schnellstraße S 6 – Umfahrung Niklasdorf. *Österr. Bauwirtsch.*, 48, 1985.
- SEELMEIER, H.: Baueologisches Gutachten Plabutsch-Autobahntunnel. Erstellt an Amt Stmk. Landesreg. – LBD, 1976.
- THEUSSL, Ch. und GOBIET, W.: Der Plabutschtunnel – Entlastung einer Stadt. *Amt Stmk. Landesreg.*, Graz 1987.
- VILANEK, J.: Tanzenbergtunnel – Vortrieb, Ausbau, Ausstattung und Kosten. Hrsg. Amt Stmk. Landesreg., Graz 1982.
- WEISS, E. H.: Baueologische Stellungnahme zum Problem der Überprofile im Gleinalm-Autobahntunnel Röhre West, Baulos Süd. Erstellt an die ARGE Gleinalmtunnel Süd, 29. 3. 1976 (a).
- WEISS, E. H.: Baueolog. Stellungnahme zum Problem der Überprofile im Gleinalm-Autobahntunnel Röhre West, Baulos Nord. Erstellt an die ARGE Gleinalmtunnel Nord, 22. 5. 1976 (b).
- WEISS, E. H.: Schiedsrichterliche, baueologische Stellungnahme zu den Mehraufwendungen des Auftragnehmers im Mitterbergtunnel – A 2 Südautobahn Steiermark. Im Auftrage des Amtes der Steiermärkischen Landesreg. und im Einvernehmen mit der ARGE Mitterbergtunnel, 22. 9. 1977.
- WEISS, E. H.: Baueolog. Beurteilung des Gebirges und der Stützmaßnahmen in der Überfirungstrecke der Ganzsteintunnel-Oströhre. Erstellt an Stmk. Landesreg. – LBD, 27. 3. 1979.
- WEISS, E. H.: Baueologische Stellungnahme zu den Einflußfaktoren, zum Problem der Überprofile und zu den Erschwernissen beim Bau der Tunnelröhren Ost und West des Gratkorn-Tunnels Süd, Pyhrn-Autobahn. Erstellt an die Bauleitung „Gratkorn Süd“, 29. 12. 1981.

- WEISS, E. H.: Baugeolog. Stellungnahme zu den Bewegungserscheinungen im östl. Voreinschnitt „Umfahrung Niklasdorf“. Erstellt an die ASAG, 17. 12. 1984.
- WEISS, E. H.: Baugeolog. Stellungnahme zu den Pfeilersicherungsmaßnahmen zwischen den beiden Röhren des Brucker Tunnels. Erstellt an die ASAG, 23. 5. 1985.
- WEISS, E. H.: Baugeologische Stellungnahme betreffend Mengengarantie bei der Umfahrung Niklasdorf. Erstellt an die ASAG, 20. 2. 1986.
- WEISS, E. H.: Geologische Bewertung der Überprofile beim Ausbruch des Plabutschunnels (Abschnitt Nord und Süd). Erstellt an die Stmk. Landesreg. – LBD, 20. 12. 1987.
- WEISS, E. H.: Probleme des Bergwassers bei Untertagebauten aus der Sicht des Geologen. Berg- und Hüttenmänn. Monatshefte, 133, H 6, 253–263, 1988.
- WEISS, E. H.: Baugeologie und Hohlraumbau – „Ein Essay über den Eigenwert der Tunnelbaugeologie“; Mitt. für Baugeologie und Geomechanik des Inst. für Geologie der TU Wien, 1990 (im Druck).

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. E. H. WEISS, Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, Österreich.