

"Geologische Aspekte der Gebirgsklassifizierung im Tunnelbau"

Univ.Prof.Dr. Gunther RIEDMÜLLER
Institut für technische Geologie, TU Graz

1. Einleitung

Die Gebirgsklassifizierung gehört zu den wichtigsten Aufgaben im Tunnelbau. Dies gilt sowohl für die Planungsphase, wie auch für die Bauausführung. Die Gebirgsklassifizierung bildet eine wesentliche Grundlage für Planung, Ermittlung der Baukosten, Entwurf, Baudurchführung und Abrechnung. Trotz dieser Wichtigkeit, vielleicht auch gerade deshalb, ist die Vorgangsweise bei der Gebirgsklassifizierung im Tunnelbau weltweit noch immer ein heiß diskutiertes Thema.

Die Zielsetzung der Gebirgsklassifizierung besteht grundsätzlich darin, das Gebirge entlang einer Tunneltrasse nach seinem Verhalten beim Öffnen des Hohlraumes zu klassifizieren.

Das Gebirgsverhalten wird bestimmt durch miteinander in vielfachen Wechselbeziehungen stehenden geologischen, geomechanischen und tunnelbautechnischen Einflußfaktoren. Daraus folgt, daß bei einer Gebirgsklassifizierung diese Einflußfaktoren berücksichtigt werden müssen.

In diesem Beitrag möchte ich mich zur Hauptsache auf die geologischen Aspekte der Klassifizierung im Gebirgstunnelbau nach der NATM beschränken. Es soll aufgezeigt werden, worin die Aufgabe des Geologen bei der Gebirgsklassifizierung bestehen kann und welche Methoden ihm dabei zur Verfügung stehen.

Betrachtet man die geschichtliche Entwicklung der Gebirgsklassifizierung, so läßt sich feststellen, daß ausgehend von TERZAGHI (1946) und STINI (1950), bei denen Gebirgsseigenschaften mit einem zu erwartenden Auflockerungsdruck in

Beziehung gebracht wurden, verschiedenste Ausgangsparameter zur Gebirgsklassifizierung verwendet wurden.

Einen Meilenstein vorwärts bedeutete das Klassifizierungssystem von LAUFFER (1958), welches das Gebirgsverhalten nach Stehzeit und freier Stützweite kennzeichnete und bereits zeitabhängige Grenzkennlinien des Gebirges beinhaltete.

Im Zeitraum von Ende 1960 bis ca. Mitte 1970 wurden zahlreiche Klassifizierungssysteme publiziert, in denen versucht wurde, Gebirgsgüteklassen aus Gesteins- und Gebirgskennwerten, wie Gesteinsfestigkeiten, Kluftdichte, Qualität von Bohrkernen usw. zu bestimmen. Diesen Klassifizierungen war gemeinsam, daß sie eine quantitative Bewertung mittels Parameter versuchten, die entsprechend ihrer Bedeutung für den Tunnelbau numerisch bewertet wurden. Die Bewertungsparameter und ihre Gewichtung wurden aus Fallstudien abgeleitet. Aus den Bewertungszahlen ergaben sich die entsprechenden Gebirgsklassen mit bestimmten tunnelbautechnischen Aussagen.

Aus der Fülle dieser Gebirgsklassifizierungen haben sich in den letzten Jahren die Gebirgsklassifizierungen von BIENIAWSKY (1973, 1986) und BARTON (1974) international stärker durchgesetzt. Dies geschah zur Hauptsache wegen ihrer klaren publizistischen Dokumentation und der Einfachheit ihrer Handhabung. Auch ein Geotechniker mit geringer Erfahrung kann nach diesen Systemen das Gebirge klassifizieren.

Aus unserer alpinen Sicht ergeben sich eine Reihe grundsätzlicher Einwände gegen diese sogenannten "Rating Klassifizierungen".

Es sind dies folgende Unzulänglichkeiten:

- Die Ermittlung der Parameter ist teilweise subjektiv. Erfahrungen zeigen, daß die Bewertung von verschiedenen Personen durchgeführt, verschiedene Ergebnisse brachte.

- Diese Schwierigkeit hängt u.a. auch damit zusammen, daß die Zuordnung der Parameter zu Kategorien infolge der geologisch bedingten Merkmalsstreuung vielfach sehr kompliziert ist und besondere Methoden, z.B. "Fuzzy set" Analysen erfordern würde.
- Nachdem die Parameterermittlung für die Klassifizierung zur Hauptsache an der Ortsbrust während des Vortriebes erfolgt, ist es schwierig, jene Parameter zu erfassen, die repräsentativ für den betreffenden Gebirgsbereich sind. Dies gilt vor allem für geteilte Querschnitte.
- Die Wechselbeziehungen der verschiedenen Einflußfaktoren werden nicht berücksichtigt.
- Das Verformungsverhalten des Gebirges findet keine, oder eine zu geringe Berücksichtigung. Die Einbindung der Gebirgsklassifizierung in eine mit dem Vortrieb erfolgende Verformungsmessung ist nicht gegeben.

Diesen sogenannten "Rating Systemen" stehen jene Gebirgsklassifizierungen gegenüber, die seit Jahrzehnten in Österreich im Zusammenhang mit der NATM angewendet werden. An ihrer Entwicklung waren maßgeblich RABCEWICZ, PACHER, MUELLER und GOLSER beteiligt. (PACHER, RABCEWICZ, GOLSER 1974; ÖNORM B 2203).

Das Hauptaugenmerk gilt bei den alpinen Klassifizierungen neben einer qualitativen Gebirgsbeschreibung dem Verhalten des Gebirges beim Öffnen des Hohlraums in Wechselwirkung mit den jeweiligen Ausbaumaßnahmen. Die österreichische Klassifizierung setzt im Sinne der NATM eine gleichzeitig mit dem Vortrieb erfolgende messende Beobachtung der Gebirgsreaktionen voraus.

Einwände gegen das österreichische Klassifizierungssystem bestehen zur Hauptsache darin, daß die Klassifizierung große Erfahrung und Intuition erfordert, Gesteins- und Gebirgskennwerte nicht eindeutig definiert sind und die Klassifikationskriterien nicht oder nur sehr schwer objektiviert werden können.

Im folgenden möchte ich versuchen, einerseits den Stellenwert der Gebirgsklassifizierung beim Tunnelbau nach der NATM näher zu erläutern und andererseits Vorgangsweisen aufzuzeigen, aus denen hervorgeht, wie von Seiten der Geologie diesen, sicherlich teilweise berechtigten Vorwürfen gegen die österreichische Gebirgsklassifizierung entgegengewirkt werden kann.

Betrachtet man Projektsablauf und Bauausführung eines Tunnels, so läßt sich erkennen, daß die Gebirgsklassifizierung in wesentlicher Weise Planung und Baudurchführung bestimmt.

Vorerkundungen, Analysen und Erfahrungen schaffen die Voraussetzungen für den Bauentwurf. Die Grundlage des Entwurfskonzeptes bilden Charakteristik und Verteilung der Gebirgsklassen. Daraus ergeben sich Regelstützmaßnahmen, Baumethoden, Bauabfolgen und schließlich die Ausschreibungsunterlagen.

Bei der Baudurchführung erfolgt vor Ort die Gebirgsklassifizierung während des Tunnelvortriebes. Durch geotechnische Messungen wird überprüft, ob eine Stabilisierung eingetreten ist oder ob trotz Einbaues der vorgesehenen Stützmittel keine Stabilisierung der Gebirgsdeformationen erreicht werden kann.

Diese laufende messende Beobachtung der Gebirgsreaktionen bildet die Voraussetzung für eine erfolgreiche Baudurchführung nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode.

Haben sich die Deformationen im erforderlichen Ausmaß beruhigt, so kann man im Sinne einer wirtschaftlichen Vorgangsweise eine zu konservative Gebirgsklassifizierung korrigieren. Läßt sich aus den geotechnischen Messungen hingegen feststellen, daß die Stützmittel zu schwach dimensioniert wurden und das Gebirge die sekundären Beanspruchungen nicht ertragen kann oder eine Entwicklung in Richtung eines Nachbruches bzw. Verbruches zu befürchten ist, so muß zunächst die Klassifizierung vor Ort und damit der Stützmitteleinbau geändert werden. Bei sehr starken Abweichungen der tatsächlichen von prognostizierten Verhältnissen muß unter Umständen sogar eine Änderung des Baukonzeptes bzw. der Regelstützmittel erfolgen.

Derartige Eingriffe in den Bauentwurf sind vor allem für den Auftraggeber unerfreulich. Sie ermöglichen dem Auftragnehmer einen Ausstieg aus dem Vertrag und sind im allgemeinen mit hohen Zusatzkosten verbunden.

Dieses vereinfachte Schema der Projektierung eines Tunnels läßt erkennen, daß Fehler bei der Gebirgsklassifizierung zu unsicheren Kalkulationsgrundlagen sowie zu Mängeln in der Ausschreibung und Bauausführung führen. Sie bilden damit die häufigsten Anlässe von Vertragsstreitigkeiten.

In meinem Vortrag möchte ich zunächst einige Schwerpunkte geologischer Tätigkeiten bei der Gebirgsklassifizierung während der Projektierung und dann anschließend ein Beispiel zur Gebirgsklassifizierung während der Baudurchführung behandeln.

2. Gebirgsklassifizierung vor Baubeginn

Die geologische Grundlage jeder Gebirgsklassifizierung vor Baubeginn ist die Erstellung geologischer bzw. geomechanischer Modelle. Sie werden entlang einer Tunneltrasse aus einer Fülle von geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Daten ermittelt und erfordern eine Charakteristik des Gebirges, die Zusammenfassung geotechnischer Einheiten, Differenzierung von Homogenbereichen, Abschätzung primärer und sekundärer Spannungszustände sowie möglicher Versagensmechanismen beim Tunnelvortrieb.

Ausgehend von einer Gebirgscharakteristik werden unter Berücksichtigung von Festigkeitskennwerten Gebirgsfestigkeiten bzw. geotechnische Einheiten und schließlich Homogenbereiche in bezug auf geotechnische Eigenschaften ermittelt.

In weiterer Folge werden unter Berücksichtigung der Hohlraumgeometrie die zu erwartenden Sekundärspannungen den Gebirgsfestigkeiten gegenübergestellt. In jenen Bereichen, in denen die elastischen Bedingungen des Gebirges überschritten werden, erfolgt eine Abschätzung möglicher

Versagensmechanismen. Daraus wird dann schließlich die Gebirgsklassifizierung abgeleitet.

Bei der Gebirgsklassifizierung müssen die Einflußparameter des Gebirges (Gestein, Trennflächen, Spannungszustand) in ihrer Wechselbeziehung mit dem Bauvorgang (Vortriebsgeschwindigkeit, Baufolgen, Ausbauwiderstand) betrachtet werden. D.h. eine umfassende Gebirgsklassifizierung sollte wesentliche Elemente der Gebirgscharakteristik, das Verhalten des Gebirges bei/bzw. nach Öffnen des Hohlraumes und die damit in Wechselbeziehung stehenden Bauvorgänge bzw. Ausbaumaßnahmen enthalten.

Die Ermittlung der sogenannten Gebirgsgüteklassen wird vom Geologen in enger Zusammenarbeit mit dem Geotechniker und dem Tunnelprojektanten durchgeführt.

Der gesamte Vorgang, der von der Gebirgscharakteristik über die Ermittlung von Gebirgsfestigkeiten, die Differenzierung von Homogenbereichen zur Gebirgsklassifizierung führt, ist mit einem iterativen Prozeß vergleichbar, bei dem statistische bzw. probabilistische Methoden angewendet werden sollten.

Zur Illustration der Problematik der Gebirgsklassifizierung im Zuge der Tunnelprojektierung möchte ich nun einige Beispiele aus meiner Tätigkeit vorstellen.

2.1. Semmering-Basistunnel

Nach der Trassenfindung erfolgte für das § 4-Verfahren eine sogenannte Grobklassifizierung. Es ist dies eine Differenzierung in drei Klassen, die der klassischen Unterscheidung in "standfest", "gebräch" und "druckhaft" entspricht und etwa den GGKL 1/2, 3/4 und 5/6 der ÖNORM B 2203 gleichgesetzt werden kann.

Diese Dreigliederung läßt sich geomechanisch einfach definieren und ist für eine rasche Anschätzung, die zur Hauptsache auf geologischen Parametern und Analogievergleichen beruht, gut geeignet.

Die Vorgangsweise bei der Grobklassifizierung für den Semmering-Basistunnel war folgende:

Der erste Schritt bestand in einer Homogenbereichsgliederung. Dabei wurden lithologische Einheiten, tektonische Störungen und die Geometrie der Trennflächen berücksichtigt.

Voraussetzung dazu bildete eine geologische Detailkartierung im Maßstab 1:5000 und die Auswertung von ca. 4000 Gefügemessdaten.

Eine wichtige Unterstützung waren Kernbohrungen. Sie wurden zur genaueren Erfassung von Störungen und geologischen Grenzen abgeteuft.

Für die Gefügehomoengliederung waren zunächst größere, durch die Kartierung erfaßbare, strukturelle Einheiten maßgebend.

Bei großen Datenmengen und komplizierten strukturellen Verhältnissen, wie dies im Trassenkorridor des Semmering-Basistunnels der Fall war, mußte mittels statistischer Methoden eine weitere Untergliederung der strukturellen Einheiten erfolgen.

Nach der Gefügehomoengliederung wurde der Einfluß des Trennflächengefüges auf den Tunnel untersucht. Eine wertvolle Methode war dabei die Auswertung nach der "Block Theory" von GOODMAN (R.E. GOODMAN, GEN-HUA SHI 1985). Aus den jeweiligen Volumina kritischer Klüftkörper, oder bei Eingabe von Trennflächenreibungswinkeln, aus der sogenannten "Total Sliding Force", der Gesamtheit der auf kritischen Trennflächen wirksamen Scherkräfte, ergaben sich Hinweise über die Beeinträchtigung der Hohlraumstabilität durch das Trennflächengefüge in Abhängigkeit von Hohlraumgeometrie und Tunnelachsrichtung. Die GOODMAN-Auswertung ermöglichte die Ableitung von Profilasymmetrien, Tendenzen zu Nachbrüchen und potentiellen Versagensmechanismen.

Die Extrapolation lithologischer und struktureller Merkmale in das Tunnelniveau führte schließlich unter Berücksichtigung der Primärspannungen zur Abgrenzung von Gebirgsbereichen von denen man annehmen konnte, daß sie sich durch ihr Deformationsverhalten unterschieden.

Aufgrund der Gegenüberstellung geschätzter Gebirgsfestigkeiten und Ulmspannungen konnte eine Grobklassifizierung in "standfest" bzw. "nachbrüchig" und "druckhaft" erfolgen.

Problematischer gestaltete sich die Unterscheidung der "gebrächen" Klasse. Beim "gebrächen" Gebirge sind Gebirgsfestigkeiten und Ulmspannungen nahezu gleich groß. Kennzeichen sind unterschiedlich tief reichende Auflockerungen mit nachdrängenden Gewichtskräften. Sie führen zu gefügebedingten Ablösungen aus dem Gebirgsverband und beeinträchtigen Standzeit sowie freie Stützlänge.

Im Zuge der weiteren Projektierung, die derzeit im Gange ist, werden nun genauere Aussagen über die zu erwartenden Gebirgsklassen verlangt. Dazu sind spezielle gefügekundliche Analysen in Aufschlüssen, hydrogeologische Untersuchungen und eine Verdichtung von Kernbohrungen sowie eine repräsentative Zahl von mechanischen Gesteins- und Gebirgskennwerten erforderlich.

Die Untersuchungen konzentrieren sich im wesentlichen auf jene Gebirgsabschnitte, für die erwartet wird, daß die Ulmspannungen höher als die Gebirgsfestigkeiten sind.

Zur Ermittlung des Spannungs-Dehnungsverhaltens des Gebirges werden Bohrlochaufweitungsversuche bei möglichst hohen Primärspannungen durchgeführt.

Aus Kernproben werden Gesteinskennwerte ermittelt. Neben den Druckfestigkeiten sind vor allem die Scherparameter parallel sowie normal zur Schieferung von Wichtigkeit. Die aus Bohrkernen ermittelten Daten streuen im allgemeinen sehr stark, sodaß eine größere Anzahl von Laboranalysen erforderlich ist.

In Ergänzung zu den mechanischen Bohrloch-in-situ-Versuchen sind Bohrlochschallmessungen vorgesehen. Die Bohrlochgeophysik ermöglicht die Erfassung größerer, tiefliegender Gebirgsbereiche.

Der Beitrag des Geologen zur Gebirgsklassifizierung besteht in dieser Planungsphase u.a. darin, die in-situ-Versuche und Probenentnahmen zu steuern und zu überprüfen, inwieweit die Kennwerte repräsentativ sind und auf welche Gebirgsbereiche sie übertragbar sind.

Eine spezifisch geologische Aufgabe bei der Detaillierung der Gebirgsklassifizierung wird derzeit im westlichsten Abschnitt des Semmering-Basistunnels bei Mürzzuschlag durchgeführt.

Der Tunnel durchörtert in diesem Abschnitt bei geringer Überlagerung einen vorwiegend aus Kalkmarmoren bestehenden Karbonatgesteinskörper, der bergwärts unter zerscherter Semmeringquarzitinsen und Phyllite des Altkristallins einfällt.

Die Karbonatgesteinsrippe wird im Abstand weniger Zehnermeter von steil stehenden NE-SW streichenden Störungen zerlegt. Die bruchtektonische Beanspruchung führte zur Ausbildung von Zerrüttungsstreifen mit unterschiedlicher Mächtigkeit und Trennfächendichte.

Nachdem für die Gebirgsklassifizierung dieses Abschnittes der Zerlegungsgrad, insbesondere jener der Kalkmarmore einen wesentlichen Einflußparameter bildete, wurde für eine genauere Differenzierung von gebrächem und druckhaftem Gebirge, dessen Verteilung bei der Grobklassifizierung mit 80 % und 20 % geschätzt wurde, eine räumliche, quantitative Erfassung von Zerlegungsgradklassen erforderlich.

Infolge der stark streuenden Daten, der unscharfen Abgrenzung mit diffusen Übergängen verschieden zerlegter Gebirgsbereiche, des Vorliegens von vorwiegend unpräzisen Meßergebnissen bis hin zu Zufallsbeobachtungen, kann das Problem einer Abgrenzung von Homogenbereichen in bezug auf die Gebirgszerlegung mit den üblichen statistischen Methoden nicht bewältigt werden.

Einen Ausweg bildet die "Fuzzy Logic". Es ist dies eine mehrwertige Logik, die es ermöglicht, mittels sogenannter "membership functions" Unschärfen mathematisch zu formulieren und Zugehörigkeiten mit einer reellen Zahl zwischen 0 und 1 auszudrücken. Dabei bedeutet 1 eine völlige Übereinstimmung und 0 das Gegenteil.

Für unsere Aufgabe wurde die "Fuzzy Set Analyse" in Form des "Approximate Reasonings" angewendet (NGUYEN, ASHWORTH 1985).

In Aufschlüssen und an Bohrkernen wurden Trennflächenabstände gemessen. Aus den Meßdaten wurden mittels "WEIBULL" - Verteilungen Häufigkeiten errechnet. Sie bildeten die Grundlage für "Fuzzy Set" Analysen. Das "Approximate Reasoning" ermöglichte eine zahlenmäßige Erfassung der Zugehörigkeit in Zerlegungsgradklassen und damit eine Abgrenzung von Homogenbereichen in bezug auf die Gebirgszerlegung.

Mit dieser Methode ergaben sich auch Argumente für das Auftreten einer Störung, die dem Wallersbach folgt. Kalkmarmoraufschlüsse im Bereich der vermuteten Störung zeigten Zerlegungsgradwerte, die typisch sind für die unmittelbare Nachbarschaft von Störungen.

Derzeit haben wir mit Korrelationsanalysen von Trennflächenzerlegungen, ermittelt in Aufschlüssen, und mit solchen, die an Bohrkernen erfaßt wurden, begonnen. Die vorläufigen Ergebnisse verweisen auf nichtlineare Regressionen, wobei sich bei niedrigen Zerlegungsgraden eine Annäherung ergibt.

2.2 Selzthaltunnel Oströhre / Pyhrnautobahn

Bei hangnahen Tunneltrassen oder Portalbereichen können kriechende Massenbewegungen besondere Spannungszustände bzw. Deformationsvorgänge bewirken, die schon im Planungsstadium die Erstellung einer Sonderklasse rechtfertigen.

Je detaillierter die geologischen bzw. geotechnischen Probleme erfaßt werden, desto sorgfältiger kann eine entsprechende Sonderklasse spezifiziert werden. Durch eine auf Grundlage umfangreicher geologischer und geotechnischer Untersuchungen maßgeschneiderte Sonderklasse können Vertragsstreitigkeiten und unnötige Zeit- und Kostenüberschreitungen vermieden werden.

Ein Beispiel dazu liefert die derzeit in Projektierung befindliche Oströhre des Selzthaltunnels. Wir haben bei der geologischen Kartierung erkannt, daß im Bereich des N-Portals ein ausgedehnter, tief in den Berg reichender Talzus Schub vorliegt.

Es konnte angenommen werden, daß die Ursache dieser großen Massenbewegung die glaziale Übertiefung des Ennstals war, in Verbindung mit einer talparallelen Störung, die den Hangfuß geschwächt hatte. Aus morphologischen Merkmalen konnte gefolgert werden, daß innerhalb des postglazialen Talzus Schubareals größere Bereiche auch heute noch in Bewegung sind. Die aktiven Hangbewegungen konnten bis in eine Höhe von ca. 150 m über das Tunnelniveau verfolgt werden.

Inklinometermessungen in Bohrungen ergaben das Vorhandensein einer ca. 20 m mächtigen, annähernd hangparallelen Kriechzone, deren Bewegungsrate durchschnittlich 5 mm/Jahr beträgt. Die neu zu bauende Oströhre wird teilweise in diese aktive Kriechzone hineinreichen.

Aus den geologischen Befunden ergibt sich die Notwendigkeit, eine Sonderklasse zu schaffen. Diese kann unter Umständen darin bestehen, daß mittels stark bewehrtem Ulmstollen ein Kalottenwiderlager hergestellt wird. In Verbindung mit einer asymmetrischen, auf den besonderen Spannungszustand ausgerichteten Ankerung, eventuell auch unter Verwendung von Injektionspfählen wäre es möglich, daß die Kriechbewegung in einen Bereich oberhalb des Tunnels gezwungen wird.

2.3. Bolu Tunnel

Mit einem Beispiel aus der Nordtürkei möchte ich von einer Gebirgsklassifizierung berichten, die in der Phase einer "Preliminary Design Study" projektspezifisch auf Grundlage umfangreicher geologischer Detailkartierungen und der Auswertung einiger, gezielt angeordneter Erkundungsbohrungen entwickelt wurde.

Die Planungsarbeiten, die derzeit in Zusammenarbeit mit der GEOCONSULT erfolgen, betreffen einen dreispurigen Autobahntunnel, der auf der Strecke Istanbul - Ankara den Bolu-Paß unterteufen soll.

Das Gebiet des Bolu-Paßes befindet sich im unmittelbaren Einflußbereich der nordanatolischen Störung.

Die geologischen Verhältnisse sind sehr komplex. Auf engstem Raum sind tertiäre Sedimente, mesozoische Metasedimente und metamorphe Gesteine eines kristallinen Basements miteinander verschuppt.

Neben enger Verfaltung und Verknetung wird das Gefüge von W-E streichenden Blattverschiebungen mit dazu gehörigen Sekundärscherzonen beherrscht. Der annähernd N-S verlaufende Tunnel ist günstig zu den Hauptgefügeelementen orientiert.

Maßgebend für die Gebirgsklassifizierung war die Auflösung der ungemein komplexen geologischen Verhältnisse durch eine tunnelbautechnisch relevante Differenzierung in drei Gebirgstypen.

Diese drei Gebirgstypen waren:

- (1) Größere Scherkörper aus kompetenten Gesteinen höherer Festigkeit. Es waren dies Marmore, Amphibolite, Meta-Granite und Meta-Granodiorite.

Aus einer Abschätzung von Gebirgsfestigkeiten und Primärspannungen konnte man für diese Gebirgstypen elastische Bedingungen bei der Hohlraumöffnung ableiten. Dieser Gebirgstyp trat nur untergeordnet auf.

- (2) Der zweite Gebirgstyp bestand aus vorwiegend stark zerlegten, karbonatischen und quarzitischen Meta-Sedimenten.

Es wurde angenommen, daß bei diesem Gebirgstyp die Gebirgsfestigkeiten kleiner als die Primärspannungen sind, die Kalotte jedoch mit Bögen, Spritzbeton und Anker stabilisiert werden kann.

- (3) Der dritte, bei weitem überwiegende Gebirgstyp setzte sich aus tonigen Myloniten zusammen. Es liegt eine tektonische Melange vor, bei der Festgesteinsklasten mit Durchmessern im cm- bis m-Bereich in einer tonigen, weich- bis steifplastischen Matrix schwimmen. Tonmineralanalysen der Grundmasse ergaben hohe Smektitgehalte. Bei einigen Proben bestand die 2 μ m-Fraktion ausschließlich aus Smektit.

Bei diesem Gebirgstyp mußte angenommen werden, daß die Kalotte nicht stabilisiert werden kann, sodaß ähnlich wie beim U-Bahnbau in bindigen Lockergesteinen, eine Querschnittsteilung mittels stark ausgebauten UImstollen entworfen wurde.

2.4. Sanyi Tunnel

Als letztes Beispiel von Gebirgsklassifizierungen während der Projektierungsphase möchte ich über Ergebnisse von Planungsarbeiten für einen 7 km langen Eisenbahntunnel in Taiwan berichten. Der sogenannte SANYI Tunnel No. 1 ist Teil des Hochgeschwindigkeitsstreckenausbauens entlang der Westküste der Insel.

Die Aufgabe bestand darin, die vorliegenden geologischen und geotechnischen Daten für die Gebirgsklassifizierung eines Tunnelvortriebes nach der NATM zusammenzufassen.

Von Seiten des Auftraggebers bestand der Wunsch, daß eine Gebirgsklassifizierung entwickelt wird, die mit Hilfe eines Bewertungssystems auch von Geologen und Ingenieuren mit geringer tunnelbautechnischer Erfahrung nachvollzogen werden kann.

Der Tunnel durchörtert, etwa N-S verlaufend, eine aktive Aufschubung, die in der Literatur bekannte "Sanyi fault" (SUPPE 1985). An dieser, über viele Zehnerkilometer nachweisbaren Störung, wurde eine jungtertiäre Sandstein-Siltsteinwechselfolge über quartäre Beckenfüllungen aufgeschoben. Ohne näher auf die hochinteressanten geologischen Details einzugehen, möchte ich ganz kurz unsere Gebirgsklassifizierung darlegen.

Ausgegangen sind wir von einer Differenzierung von Gesteinstypen in Hinblick auf Festigkeitseigenschaften. Dabei konnten sechs Gesteinstypen (A - F) unterschieden werden.

Die Gesteinstypen A bis F wurden in weiterer Folge in drei Gebirgstypen zusammengefaßt. Maßgebend war dafür eine Bewertung der Einflußfaktoren Verwitterung, Schichtflächenabstand und Zerlegungsgrad.

Unter Berücksichtigung von Primärspannungen, Bergwasserverhältnissen und Hohlraumgeometrie bildeten die drei Gebirgstypen schließlich die Grundlage für den Entwurf von vier Gebirgsgüteklassen.

3. Gebirgsklassifizierung während der Baudurchführung

Zum Schluß möchte ich als Beispiel für den geologischen Beitrag zur Gebirgsklassifizierung während der Baudurchführung unsere Ergebnisse vom "Grasbergtunnel" der Semmeringschnellstraße im Abschnitt Gloggnitz - Maria Schutz vorstellen.

Der Grasbergtunnel durchörtert in hangnaher Lage, bei einer maximalen Überlagerung von ca. 60 m eine stark zerscherte Gesteinsfolge aus Quarzphylliten.

Der Bau des doppelröhrigen Tunnels begann mit dem Vortrieb eines Pfeilerstollens (12 m² Querschnitt).

Der Vortrieb in der bereichsweise tonig mylonitisierten Phyllit- bis Quarzphyllitfolge erwies sich als sehr schwierig. Trotz der geringen Überlagerung kam es zu starken Druckerscheinungen, die zu Scherbrüchen in der Außenschale führten, Deformationen von Bögen und Ankerplatten verursachten und massive Nachankerungen erforderten.

Die Konvergenzmessungen ließen zunächst keine Gesetzmäßigkeiten erkennen. Die Horizontalkonvergenzen variierten zwischen wenigen Zentimetern bis max. 22 cm. Auch die visuelle Ansprache des Gebirges vor Ort ermöglichte keine Differenzierung von Gebirgstypen.

Erst durch eine systematische Ermittlung geologischer Parameter und einer statistischen Auswertung der Daten mittels multivariater Diskriminanzanalysen ergaben sich drei signifikante Merkmalsgruppen, die jeweils drei Gebirgskennlinien mit den Maximalkonvergenzen 8 cm, 15 cm und 21 cm zugeordnet werden konnten.

Die für die Zugehörigkeit bestimmenden Einflußparameter waren zur Hauptsache der Anteil toniger Mylonite, Ton- und Montmorillonitgehalt von Schieferungs- und Harnischflächen und die Überlagerungshöhe. Die Beeinflussung der Gebirgsverformungen durch tiefgründige Verwitterung und Auflockerung war von geringerer Bedeutung.

4. Schlußfolgerungen

Aus den Beispielen geht hervor, daß der Geologe bei der Gebirgsklassifizierung wichtige Aufgaben erfüllen kann. Die Aufgaben umfassen sämtliche Planungsphasen und erstrecken sich auch in die Baudurchführung.

Voraussetzungen für einen erfolgreichen geologischen Beitrag sind umfangreiche Datenermittlungen und eine Auswertung mit Hilfe statistischer bzw. probabilistischer Methoden.

Es wurde aufgezeigt, daß ein generelles Gebirgsklassifizierungssystem im Tunnelbau nicht möglich erscheint.

Wie WEISS (WEISS E. H. 1976) mit seiner projektsbezogenen Klassifizierung für den Arlbertunnel gezeigt hat, müssen bei einer sinnvollen, praxisorientierten Gebirgsklassifizierung die spezifischen Gebirgsverhältnisse und die jeweilige Tunnelbaumethode Berücksichtigung finden.

5. Literatur

BARTON, N., R. LIEN and J. LUNDE: Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support.- Rock Mech. 6, 183-236; 1974.

BIENIAWSKY, Z. T.: Engineering Classification of Jointed Rock Masses.- Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, 335-344; 1973.

BIENIAWSKY, Z. T.: Rock Mass Classifications in Rock Engineering.- Exploration for Rock Engineering, ed. Z.T.Bieniawski, A.A. Balkema, 97-106, Johannesburg; 1986.

GOODMAN, R. E. und GEN-HUA SHI: Block Theory and its application to Rock Engineering.- 338 S., Englewood Cliffs NJ, (Prentice-Hall Inc.); 1985.

- LAUFFER, H.: Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. - Geologie und Bauwesen 24, 46-51, 1958.
- NGUYEN, V., U. und A. ASHWORTH: Rock mass classification by fuzzy sets.- Proc. 26th US Symposium on Rock Mech., Rapid City, SD/26-28 June 1985.
- ÖNORM B 2203: Untertagebauarbeiten; Richtlinien und Vertragsbestimmungen, Werkvertragsnorm; 1974.
- PACHER, F., L. RABCEWICZ, und J. GOLSER: Zum derzeitigen Stand der Gebirgsklassifizierung im Stollen- und Tunnelbau.- Proc. XXII Geomech. Kolloq., Salzburg, Straßenforschung 18, 51-58, Wien; 1974.
- STINY, J.: Tunnelbaugeologie. - Springer-Verlag, Wien, 1950.
- SUPPE, J.: Principles of Structural Geology.- 537 S., Englewood Cliffs NJ, (Prentice-Hall Inc.); 1985.
- TERZAGHI, K.: Rock Defects and Loads on Tunnel Supports. - Sect.1; The Commercial Shearing and Stamping Co., Ohio, 1946.
- WEISS E. H.: Die baugewissliche Prognose für den Schnellstraßentunnel durch den Arlberg, Tirol-Vorarlberg.- Rock Mech., Suppl. 5, 133-156; 1976.