

MITTEILUNGEN
des Institutes für Angewandte Geologie
Universität für Bodenkultur Wien

Reihe: Angewandte Geowissenschaften



Vorträge 1995/96

Herausgeber:
B. SCHWAIGHOFER
H.W. MÜLLER

Wien, Dez. 1996

MITTEILUNGEN
des Institutes für Angewandte Geologie
Universität für Bodenkultur Wien

Reihe: Angewandte Geowissenschaften

Heft 7

**BAUGEOLOGISCHES
SEMINAR**

Vorträge 1995/96

Herausgeber:
**B. SCHWAIGHOFER
H. W. MÜLLER**

Wien, Dez. 1996

In memoriam

EWALD E. KOHLER
(1944 - 1996)



Am 22.9.1996 verstarb Univ.Prof.Dr. Ewald Erwin Kohler. Für uns, seine Freunde und Kollegen, ist es noch immer unfassbar, daß es „den Ewald nicht mehr gibt“ Obwohl er in den letzten Jahren immer stärker von seiner schweren Krankheit gezeichnet wurde, hat er doch immer noch Optimismus gezeigt und diesen auch an uns weitergegeben. Daher haben wir mit ihm immer noch gehofft, selbst zu einer Zeit, als er bereits wußte, daß der Kampf gegen sein Leiden verloren war. So hat uns auch die Nachricht von seinem Tod tief getroffen und erschüttert.

Mit Ewald Kohler haben wir nicht nur einen bemerkenswerten und weit über seine Heimat hinaus geschätzten Wissenschaftler verloren, sondern vor allem einen liebenswerten Menschen, dessen Freund zu sein, einen froh machte und bereicherte. Er wird uns sehr fehlen.

B. Schwaighofer

Nachstehend ein Auszug aus dem Nachruf, den sein langjähriger Mitarbeiter, Dr. Harald Heimerl, verfaßte:

Ewald Erwin Kohler wurde am 7 Juli 1944 in Marktoberdorf im Allgäu geboren. Entgegen ursprünglicher Planungen entschied er sich nahezu im letzten Augenblick, nicht mit einem Realschulabschluß die Schule zu verlassen, sondern das Abitur zu machen. Nach der Beendigung des Gymnasiums, sowie des darauffolgenden Mineralogie-Studiums und eines Chemieingenieurtechnik-Aufbaustudiums nahm er im Jahre 1972 eine Stelle als Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Köster an und wurde 1974 zum Doktor der Naturwissenschaften an der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften der TU München mit dem Thema „Zur Mineralogie, Kristallchemie und Geochemie kretazischer Glaukonite“ promoviert. Während seiner Doktorandenzeit lernte er auch seine spätere Frau, Edith, kennen, die als Chemotechnikerin bei Prof. Köster beschäftigt war. Die Tochter aus dieser Ehe, Simone, hat in diesem Jahr (1996) selbst Abitur gemacht und ihr Studium begonnen.

1974 1976 war der damalige Dr. Kohler wissenschaftlicher Mitarbeiter innerhalb eines DFG-Schwerpunktprojektes und erhielt 1976 einen Ruf auf eine C1 Assistenzprofessorenstelle am Mineralogischen Institut der FU Berlin. Nach seiner Ernennung zum wissenschaftlichen Assistenten am Institut für Mineralogie der TU München konnte er sich im Jahre 1983/1984 an der Fakultät für Chemie, Biologie und Geowissenschaften der TU München für das Gesamtgebiet der Mineralogie habilitieren. 1989 trat er eine C3-Professur für Angewandte Geologie an der Philosophischen Fakultät III der Universität Regensburg an, gleichzeitig wurde er zum Lehrbeauftragten für Baugrundmineralogie an der Fakultät für Chemie, Biologie und Geowissenschaften der TU München ernannt. Prof. Kohler führte an der Universität Regensburg zahlreiche Forschungsprojekte durch. Er widmete sich aber auch seiner Arbeit als Dekan 1991 - 1993 an der Philosophischen Fakultät III mit großer Hingabe. Darüberhinaus diente Prof. Kohler der Universität Regensburg als Mitglied im Senatsausschuß für Angewandte Forschung wie auch als Mitglied im Senatsausschuß für

Haushaltsangelegenheiten mit aller Kraft und Klugheit. Von seinen vielen außeruniversitären Gremienarbeiten soll hier nur der Vorsitz der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe sowie seine Mitgliedschaften im Sachverständigenausschuß für „Deponieabdichtungen mit mineralischen Baustoffen“ beim Deutschen Institut für Bautechnik und im AKII der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik sowie seine Mitgliedschaft im Arbeitskreis „Aus- und Fortbildung, Berufsbild“ beim Berufsverband Deutscher Geologen (BDG) erwähnt werden. Gerade Tätigkeiten und Anstrengungen, die zur Verbesserung der derzeit problematischen Berufssituation des Naturwissenschaftlers führen sollten, wurden von Prof. Kohler immer wieder unternommen. Prof. Kohler war immer sehr gerne Geowissenschaftler, hegte darüberhinaus gerade für die Chemie und den Chemiker große Bewunderung. Vielleicht war es die Gedankenwelt des Chemikers als solche oder die persönliche Bekanntschaft zu verschiedenen großen Chemikern dieses Jahrhunderts, wie dem Nobelpreisträger Ernst Otto Fischer, die ihn hier prägte.

Prof. Kohler war ein zutiefst bodenständiger Mensch. Er liebte das Allgäu, seine Menschen und seine Sprache. Prof. Kohler fühlte sich auch mit dem einfachen Mann von der Poststelle, von der Handwerksabteilung oder von der Straße mehr verbunden als mit dem weltfremden Schöngest. Und doch war Prof. Kohler gleichzeitig auch Philosoph und Skeptiker. Er war sich der Hinfälligkeit menschlichen Strebens und Schaffens immer bewußt, jeder extreme Gedanke und jeder totalitäre Gedankenansatz waren ihm fremd. Jede Meinung hatte Berechtigung gehört zu werden und keine Meinung sollte unterdrückt werden. Menschen, die den absoluten Glauben an die Richtigkeit ihres eigenen Tuns hatten, waren ihm suspekt. Dabei war es nicht so, daß er die Existenz von letzten Wahrheiten leugnete, er war von der Fehlerhaftigkeit menschlichen Denkens und Redens nur einfach zu sehr überzeugt als daß er dem hätte vertrauen können, der sich im alleinigen Besitz des richtigen Wissens und Tuns wähnte.

INHALTSVERZEICHNIS

KOHLER, E.E., HEIMERL, H. Tone und Tonbarrieren	1
KAISER, J., MERINGER, J..... Semmering Basistunnel - Pilotstollen (9843 m). Baugeologische Ergebnisse	37
TENTSCHERT, E..... Baugeologie beim Bau von Kleinkraftwerken in Tirol	67
FASCHING, A. Tunnel Juan Pablo II. Variantenstudien für einen Tunnel durch die Anden zwischen Argentinien und Chile	89
FÜRLINGER, W., STADLMANN, T Fortschritte in der Aufbereitung baugeologischer Daten mit Beispielen aus der Praxis (Galgenbergtunnel, Umfahrung Schwarzach)	103
KREYSLER, D..... Die Abwasserreinigungsanlage „Caverna Cloaca“ in Hinterstoder, OÖ. Ingenieurgeologische Projektierungs- und Bau-Begleitung	131
EDER, S..... Geologie und Geotechnik um die Altlast Langkampfen	145

STONE AND TONBARRIERS

E. E. KOHLER & H. HEIMERL

Einführung

Prof. Dr. E.E. Kohler hinterließ neben zahlreichen Veröffentlichungen zur Geologie und Heimatgeschichte des Allgäus, zur Geschichte der Chemie und der Naturwissenschaften hauptsächlich einen breiten Fundus an wissenschaftlicher Literatur zu deponietechnisch-relevanten Themen. Viele seiner Arbeiten beschäftigen sich hier mit dem Material Ton bzw. mit den Tonmineralen als den Hauptkomponenten der Tone. Bestimmte Tone sind in der Summe ihrer Eigenschaften für den Deponiebau wie ganz allgemein für viele Zwecke der Umweltsicherung in idealer Weise geeignet.

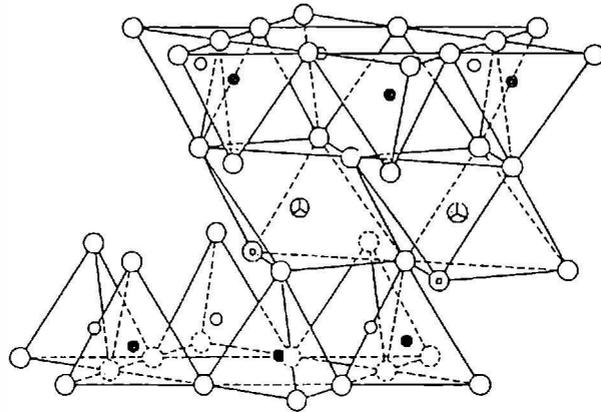
Im folgenden werden zwei Arbeiten Prof. Kohlers dargestellt, die diese Thematik zum Inhalt haben. Dabei wird zum einen mit einer kurzen Zusammenfassung über verschiedene Barrieretypen Bezug zu einem Vortrag Prof. Kohlers an der Boku Wien vom Frühjahr 1996 genommen. In diesem Zusammenhang wären auch die Beiträge in TONMINERALE UND TONE (KOHLER 1993) und im REGENSBURGER FORSCHUNGSMAGAZIN (KOHLER 1995) zu nennen. Darüberhinaus ist eine Arbeit vorgestellt, die am Beispiel der 12-Jahre alten bayerischen Hausmülldeponie „Aurach“ in Mittelfranken den hohen Wert von Tondichtungen aufzeigt. Dabei wurde eng mit der Landesgewerbeanstalt Bayern kooperiert, die parallel zu den geochemisch-mineralogischen Untersuchungen Prof. Kohlers geotechnische Untersuchungen am gleichen Material durchführte.

1 ALLGEMEINES ÜBER TONE UND BARRIERESYSTEME

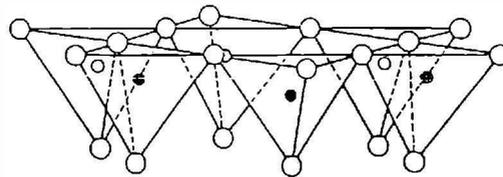
1.1 Wesentliches über Tone und Tonminerale

Es ist eine bedauerliche Tatsache, daß sich die Naturwissenschaften und die Technik immer noch nicht über den begrifflichen Inhalt der Bezeichnung TON geeinigt haben. Vom geowissenschaftlichen Standpunkt aus ist Ton zunächst nur ein Gesteinsname, hinter dem sich aber eine unendliche Vielfalt von Erscheinungsformen verbergen kann. Zwei besonders geartete bzw. hochwertige Tongesteine sind der BENTONIT und der KAOLIN. Beide Gesteine zeichnen sich durch hohe Tonmineralgehalte aus - so bildet das quellfähige Dreischichtsilikat MONTMORILLONIT den Hauptbestandteil des Gesteins BENTONIT, das nicht quellfähige Zweischichtsilikat KAOLINIT jenen des Gesteins KAOLIN.

Die für die Tone typischen Eigenschaften rühren hauptsächlich von den silikatischen Tonmineralen her, deren Erfassung und Beschreibung wegen ihrer Feinkörnigkeit sehr erschwert wird. Sowohl die Tone als auch die feinkörnigen Anteile der bindigen Lockergesteine bestehen hauptsächlich aus den blättchenförmigen silikatischen Tonmineralen - den Schichtsilikaten - Quarz, amorphen Beimengungen verschiedenster Natur und oftmals auch aus geringen Anteilen von organischem Material.



austauschbare Kationen
 nH_2O



- Si
- Al in Tetraederpositionen
- ⊗ Al, Mg oder Fe in Oktaederpos.
- ⊙ Hydroxyl
- Sauerstoff

Abb. 1: Prinzipielle Gerüststruktur eines Montmorillonits

Bei den eigentlichen Tonmineralen handelt es sich um pseudo-hexagonale Schichtsilikate mit einer Teilchengröße < 0.02 mm. Sie gehören hauptsächlich zum Typ der Hydroglimmer (Illit), den Gruppen Montmorillonit-Saponit (Smectit) sowie Kaolinit-Serpentin und gelegentlich zum Talk- und Glimmertypus sowie zur Chloritgruppe. Daneben gibt es Strukturen mit Wechsellagerung der Schichttypen, wozu eine große Anzahl von natürlich auftretenden Mineralen zu rechnen ist (KÖHLER 1995).

1.2 Tonbarrieren

Tonhaltige Erdstoffe bzw. bindige Böden werden seit alters her zur Schüttung von Flußdeichen und Staudämmen verwendet. Durch spezielle Techniken oder Vergütungsmaßnahmen lassen sich natürliche Ton-, Lehm- und Mergersedimente in technische Bauwerke einarbeiten, die allen Erfordernissen moderner Erd- und Wasserbautechnik entsprechen. Ihre höchste Vollendung bzw. Effektivität finden Tonbarrieren aber in der Natur selbst: Die Bildung der Grundwasservorräte, die Entstehung der Moore und zahlreicher Seen, die Erdöl- und Erdgasfelder der Erde und nicht zuletzt ein großer Teil der Minerallagerstätten – sie alle verdanken ihre Entstehung der abdichtenden Wirkung von natürlich entstandenen Tonschichten oder Gesteinsbänken mit tonigem Bindemittel in tieferliegenden oder oberflächennahen Bereichen der Sedimente.

Aufbauend auf den Erfahrungen mit der Abdichtungswirkung von Tonbarrieren im Erd- und Wasserbau werden in der Deponietechnik zunehmend Wege gesucht und auch gefunden, die natürlichen Eigenschaften der Tone bei der Einkapselung von anthropogenen Schadstoffen zu nutzen. Anders aber als im Erd- und Wasserbau herkömmlicher Art wird in der Deponietechnik das Medium WASSER durch eine komplex zusammengesetzte Flüssigkeit ersetzt, die nur schwer charakterisiert werden kann. Da Tone oder Tonminerale in der Regel als die besonders resistenten Rückstände der chemischen Gesteinsverwitterung anzusehen sind, werden sie

auch besonders widerstandsfähig gegenüber anthropogen entstandenen Verwitterungslösungen, nämlich den DEPONIESICKERWÄSSERN, sein (KÖHLER 1995).

1.2.1 Natürliche Tonbarrieren

Grundsätzlich kann jede natürliche Tonschicht im Untergrund eines Deponiestandortes als TONBARRIERE wirken. Entscheidend für die Effektivität einer Barriere wird primär die Homogenität und die Mächtigkeit des Tones bzw. der Tonschicht sein. Das Rückhaltevermögen einer natürlichen Tonschicht wird aber auch von hydrogeologischen und geotechnischen Faktoren abhängen, die immer standortabhängig sein werden. Die vordergründig sehr verlockende Anlage von Deponiebauwerken in aufgelassenen Ton- oder Lehmgruben, die sich als natürliche Tonbarrieren anbieten, wird nur dann sinnvoll sein, wenn die beiden Grundvoraussetzungen für eine derartige Nutzung, nämlich homogene Verteilung des schadstoffimmobilisierenden Tonmaterials und eine ausreichende Mächtigkeit desselben, zutreffend sind. Die Überprüfung der Homogenität einer natürlichen Deponieabdichtung hinsichtlich des Retardations- und Adsorptionsvermögens stellt mit Sicherheit den Geotechniker vor ähnlich große Probleme wie der Bau einer vollkommen neu konzipierten Deponieanlage.

1.2.2 Technische Tonbarrieren

Eine technisch präparierte Grubensohle aus anstehendem Ton oder Ziegellemm stellt bereits eine technische Tonbarriere dar. Ob eine derartig hergestellte Deponiebasisabdichtung allerdings alle Kriterien einer "technischen Barriere" erfüllt, muß bei jeder derartigen Deponie und für jedes Material gesondert bewertet werden. Bei der Herstellung von Barriersystemen aus TON oder tonhaltigen Erdstoffen verwendet man sowohl örtlich anstehendes als auch ortsfremdes Material. Zur Verbesserung der Abdichtungswirkung kann das Abdichtungsmaterial

mit chemischen STABILISATOREN vergütet, oder im Verbund mit anderen Barriersystemen, wie z.B. Kunststoffbahnen oder Asphaltsschichten, errichtet werden.

Folgende Kriterien müssen beachtet werden:

OBERFLÄCHENABDICHTUNGEN

Der Deponieinhalt soll durch die Oberflächenbarriere gegen eindringende Feuchtigkeit (z.B. Regenwasser, Tau, Schmelzwasser etc.) geschützt werden, andererseits sollen entstehende Deponiegase zurückgehalten werden, damit sie besonderen Sammlern zugeführt werden können. Über die chemische Wechselwirkung (z.B. Rückhaltevermögen) zwischen toxischen Bestandteilen der Deponiegase und den Tonbestandteilen herrscht noch weitgehend Unklarheit.

VERTIKALE BARRIERESYSTEME

Die auf der Basis von BENTONIT und WASSER oder ZEMENT und BENTONIT und WASSER (vergl. SCHWAIGHOFER et al. 1994) hergestellten vertikalen mineralischen Abdichtungen sind in ihrer Funktion den in geologischen Zeiträumen entstandenen Tonschichten sehr ähnlich. Entsprechendes gilt auch für die Mineralphasen derartiger Massen. Unabhängig vom Typ und der Herstellungsweise entsteht aus den Zement- und Bentonitzusätzen eine mikrokristalline silikatische Matrix aus Montmorillonit und hydratisierten Calcium-Aluminium-Hydrat- (CAH)- und/oder Calcium-Silicat-Hydrat- (CSH) Phasen sowie aus silikatischem und oxidischem Porenzement. Diese polymineralische Masse zeichnet sich durch ein hohes Maß an innerer Homogenität aus, d.h. das Mikrogefüge und der Porenraum sind ziemlich einheitlich beschaffen. Außerdem kommt es zwischen der synthetischen Dichtwandmasse und dem Nebengestein zu einer mehr oder weniger innigen "Verwachsung", was für die Barrierewirkung von Bedeutung sein kann.

HORIZONTALE BARRIERESYSTEME AN DER DEPONIEBASIS

Eine maximale Abdichtungswirkung bei allen mineralischen Abdichtungen wird dadurch erreicht, daß die Porenräume innerhalb der dichtend wirkenden Schicht reduziert oder möglichst gering gehalten werden. Gleichgültig, ob in der Basisabdichtung hochwertige Tone, Mischungen aus mergeligen oder lehmigen Böden mit Kiesen oder gar mit Zusätzen von Zement, Steinmehl, Bentonit oder chemischen Stabilisatoren verarbeitet werden - in jedem Fall muß berücksichtigt werden, daß nicht Regen- oder Grundwasser die Dauerbeständigkeit der horizontalen Barriere beeinflusst, sondern die "Chemikalie" DEPONIESICKERWASSER (KÖHLER 1995).

FORSCHUNGSPOTENTIALIA ÜBER BARRIERESYSTEME

Neben analytischen Fragestellungen und Problemen der Standorterkundungen könnten Fragen über Vergütungspotentiale von Tonen und Tongesteinen eine wesentliche Rolle in zukünftigen Arbeiten spielen. So kann das Problem der Austrocknung einer mineralischen Oberflächenabdichtung als nicht gelöst betrachtet werden. Hier könnte unter Umständen die Vernetzung der Tonmineralteilchen mit geringen Masseanteilen von kationischen, organischen Polymeren, mit speziell vorbehandelten Textilfasern oder dergleichen eine wesentliche Verbesserung erbringen. Gerade die Erforschung der Wechselwirkung organischer Verbindungen mit Tonmineralen in Abhängigkeit von Begleitphasen, auch zugemischte Begleitphasen wie Schlackenmaterial, und in Abhängigkeit vom Gegenionenbelag könnten noch interessante zukünftige Forschungsfelder erbringen.

2 UNTERSUCHUNG EINER CA. 12 JAHRE ALTEN BASISABDICHTUNG IN BAYERN

2.1 Einleitung und Problematik

Vor der Einführung der Kombinationsdichtung als Regelabdichtung für die Basis von Sonderabfall- und Siedlungsabfalldeponien durch TA Abfall und TA Siedlungsabfall in Deutschland wurden bei vielen Deponien einfache mineralische Abdichtungen ausgeführt. In Bayern war in der ersten behördlichen Anweisung für die Dicke der mineralischen Abdichtungsschicht 60 cm vorgeschrieben. Eine hervorragende Möglichkeit, den Qualitätsnachweis einer derartigen mineralischen Basisabdichtung unter Deponiebetriebsbedingungen zu führen, bot die Deponie „Im Dienstfeld“ bei der mittelfränkischen Ortschaft Aurach. Für die Sanierung des Sickerwassersammelsystems (KRESS 1994) war es erforderlich, an zwei Abschnitten¹, die in den Jahren 1979 und 1982 in Betrieb genommen wurden, die Basisabdichtung freizulegen. An diesen Stellen konnten dann in Absprache mit dem Zweckverband zur Abfallbeseitigung beim Landratsamt Ansbach Proben von der Landesgewerbeanstalt Bayern entnommen werden. Die wesentlichen bodenmechanischen und mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse wurden bei MÜLLNER (1995) sowie GARTUNG, MÜLLNER, HEIMERL & KOHLER (1996) vorgestellt. Diese Ergebnisse wurden an der Landesgewerbeanstalt unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. Gartung, Dr.-Ing. Müllner, Dipl.-Geol. St. Eberlein, Dr. Kreuzer und Dipl.-Biol. St. Schmidt gewonnen.

Die mineralogisch-geochemischen Untersuchungsergebnisse wurden am Staatlichen Forschungsinstitut für Angewandte Mineralogie unter der Leitung von Prof. Dr. Kohler und Dr. Heimerl für die Landesgewerbeanstalt Bayern durchgeführt. In Fortführung der Untersuchungen von SCHNEIDER (1994) wurden dabei Mineralbestand, kolloidchemische Eigenschaften sowie Spuren- und Hauptelementgehalte analysiert. Zweck dieser Untersuchungen war

¹ Wird im folgenden als Abschnitt 1 und Abschnitt 2 bezeichnet.

es, konkrete Aussagen über das Rückhaltvermögen des ca. 12 Jahre alten Barrierematerials und über Spurenelementanomalien geogenen bzw. anthropogenen Ursprungs zu gewinnen. Alle Arbeiten der Bodenmechanik, Mikrobiologie sowie Geochemie und Mineralogie wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen gefördert und im entsprechenden Schlußbericht (LGA 1995) dargestellt.

2.2 Geotechnik/Mikrobiologie der Deponie „Aurach“

Temperaturverteilung im Deponiekörper

In den älteren Abschnitten, in denen die Deponie vor mehr als 10 Jahren befüllt wurde, liegen die Temperaturen im Deponiekörper zwischen 20° und 44°Celsius. Der 1985 in Betrieb genommene Deponieabschnitt weist im Kern des 20 m hohen Deponiekörpers noch Temperaturen bis 58°C auf. Bis zu 64°C wurden in dem jüngsten Abschnitt gemessen, der erst 1994 in Betrieb gegangen ist. Hier sind an der Basis Werte bis 53°C beobachtet worden.

Bodenmechanik

Die Flächendrönschicht aus gebrochenem Kalkstein der Korngröße 8/32 mm ist nach 15 Betriebsjahren noch intakt und funktionsfähig. Sie führt das Sickerwasser ab. Der Sickerwasserstrom besitzt eine Mächtigkeit von wenigen Millimetern und benetzt überall die Oberfläche der mineralischen Abdichtungsschicht.

Die Ergebnisse der umfangreichen bodenmechanischen Laborversuche an Proben aus der mineralischen Abdichtungsschicht wurden statistisch ausgewertet und mit den Daten, die im Zuge der Fremdüberwachung bei der Bauausführung gewonnen worden waren, verglichen. Es zeigt sich, daß die mineralische Dichtungsschicht gegenüber dem Einbauzustand dichter geworden ist. Die hydraulische Leitfähigkeit ist um bis zu zwei Zehnerpotenzen geringer geworden.

Der Wassergehalt liegt an der Oberfläche der Dichtung höher als beim Einbau. Innerhalb der Dichtungsschicht hat er sich seit dem Einbau nicht verändert. Eine Austrocknung ist an keiner Stelle beobachtet worden, obwohl die Temperaturen an der Basis der Deponie bis zu 53°C betragen haben. Im Rahmen üblicher statistischer Streuungen kann die Dichtung als homogen bezeichnet werden. Fehlstellen, Grenzen der einzelnen Einbaulagen, Risse oder offensichtliche Makroporen wurden, abgesehen von einzelnen Sandsteinbröckchen nicht beobachtet. Die Anforderungen der TA-Siedlungsabfall an die mineralische Komponente der Kombinationsdichtung werden erfüllt, obwohl in den Einbaukriterien vor zwölf bis 15 Jahren wesentlich geringere Qualitätsmerkmale festgelegt worden waren. Die Zeit, die Müllauflast und die sonstigen Einwirkungen haben zu einer Verbesserung der Abdichtungseigenschaften der Tonschicht geführt. Spuren einer eventuellen Durchsickerung wurden nicht festgestellt. Die mineralische Abdichtung erfüllt in vollem Umfang ihre Funktion.

Mikrobiologie

Auf der mineralischen Abdichtung befand sich eine durchgehende schwarzbraune, schleimige biologisch belebte Lage von mehr als einem Zentimeter Dicke, die nicht näher untersucht wurde. Alle mikrobiologisch analysierten Querschnitte der mineralischen Dichtungsschicht weisen die gleiche Tendenz auf. An der Oberseite liegen die Gesamtkeimzahlen mit 10^6 KBE/g (Kolonie bildende Einheiten pro Gramm Boden) in einer Größenordnung, die von Ackerböden bekannt ist. Mit der Tiefe nehmen die Keimzahlen um drei Zehnerpotenzen ab. In der unteren Hälfte der 60 Zentimeter dicken Dichtungsschicht werden Keimzahlen gemessen, wie sie in den „unbelebten Böden“ in der Natur vorkommen. Pathogene Keime treten in untergeordneter Größenordnung nur im oberen Bereich der Dichtungsschicht auf. In der Population der Mikroorganismen überwiegen bis in alle untersuchten Tiefen aerobe Bakterien. Anaerobe Bakterien kommen vor, ihre Keimzahlen liegen jedoch durchweg niedriger als diejenigen der aeroben Bakterien.

2.3 Untersuchungsmaterial und -methodik zur Geochemie/Mineralogie

2.3.1 Kurzbeschreibung des Probenmaterials

Die Deponie Aurach gründet im Übergangsbereich zwischen den Lehrberg-Schichten und dem Unteren Blasensandstein des Mittleren Keupers.

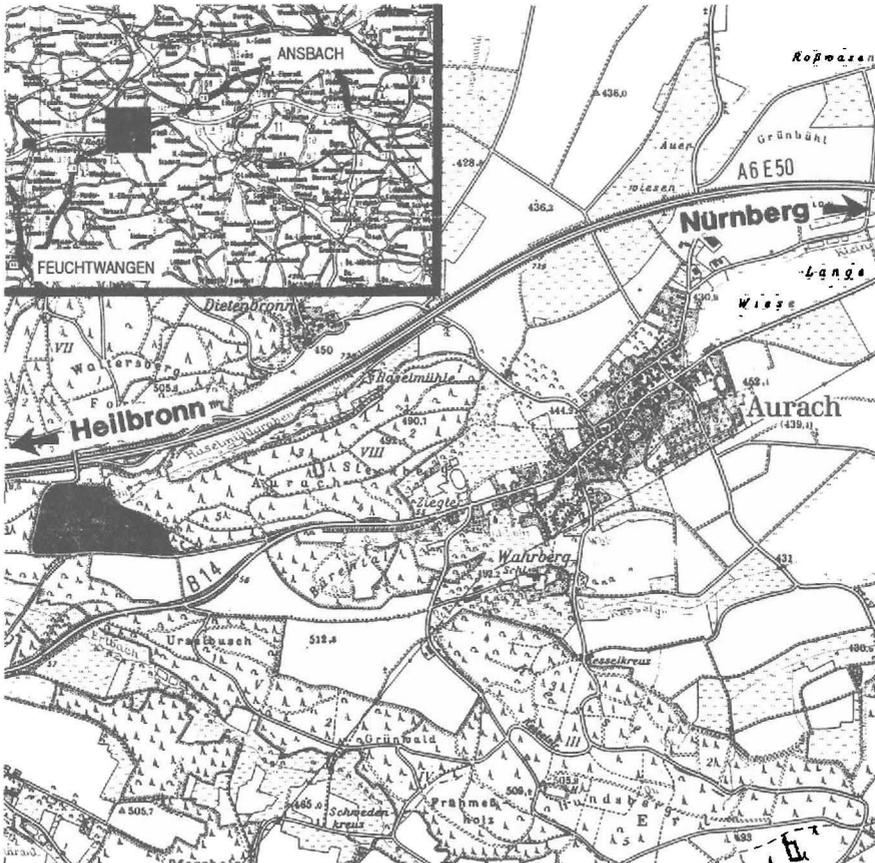


Abb. 2: Lageplan der Deponie „Aurach“

Im Einbauabschnitt 1 (EBA 1, siehe Abb. 3) wurde Material der Aufstandsfläche (= verwitterter Blasensandstein) eingebaut. Im Bauabschnitt 2 (siehe Abb. 3) wurde Ton aus naheliegender Tongrube verwendet. In der Tongrube wurden Lehrberg-Schichten abgebaut. In den untersuchten Proben des Barrierematerials ist keine klare Differenzierung zwischen dem verwitterten Blasensandstein und den Lehrberg-Schichten möglich. Der verwitterte Blasensandstein ist als grobkörnigeres Äquivalent zu den Tonen anzusprechen, es besteht aber hohe geochemische Ähnlichkeit. Daher können unabhängig vom Einlagerungsbereich die hier vorliegenden Proben der mineralischen Barriere entsprechend den Kornverteilungen als stark toniger Schluff bis stark schluffiger/schwach toniger Sand klassifiziert werden und im folgenden gemeinsam behandelt werden (MÜLLNER 1995).

Die Tone der Lehrberg-Schichten sind in einer lagunären Seichtwasserlandschaft entstanden. Durch die hohe Verdunstung unter dem warmen Klima bildeten sich teilweise Gipsflöze oder Gipslinsen aus. Die Tongesteine sind bisweilen inhomogen, da sie durch Gips bzw. Gipsbänke unterbrochen sind. Die Möglichkeit der Existenz von Gipslinsen im Barrierematerial ist daher grundsätzlich gegeben. Die Tone der Lehrbergsschichten besitzen erfahrungsgemäß mittlere Gehalte an Korngröße $< 2 \mu\text{m}$ um 50%. Sie enthalten Quarz um 20 - 30% und Illit/Glimmer in der Größenordnung von ca. 40 - 60%. In den verwitterten Blasensandsteinen sind die Ton- und damit Tonmineralgehalte zugunsten höherer Schluff-/Sand- und damit Quarz-/Feldspatgehalte verringert.

In den Tonen der Lehrberg-Schichten lassen sich zum Teil hohe Eisengehalte nachweisen. Dieses Eisen ist zum Teil als Eisen(III)oxid (bzw. Eisen(III)hydroxokomplex), besonders Hämatit, ausgebildet und sitzt vermutlich zum anderen Teil in den Oktaederlücken der Tonminerale. Die Tone der Lehrbergsschichten enthalten zudem Chlorit bis etwa 20% und keinen Kaolinit. Smectite können in Wechsellagerung mit Illit in geringen Gehalten vorhanden sein. Die Gehalte der Karbonatminerale sind schwankend von 0 bis 60%. Dolomit kommt als häufiges Karbonatmineral vor. Mit Hilfe der schwankenden Gehalte an Dolomit kann dieses Mineral zur Überprüfung der Homogenität herangezogen werden. Die Eisen(III)oxide, Karbonate und Chlorite können als Bindemittel ausgebildet sein (HEIMERL, KOHLER, BILLINO & SANTL 1994; SANTL 1995).

Mit zunehmendem Karbonat- und Gipsgehalt sinken die Kationenaustauschkapazität (KAK) und die spezifische Oberfläche. Daher werden die zusammenfassenden Indikatoren zur letztendlich exakten Beschreibung der Homogenität die kolloidchemische Eigenschaften sein.

2.3.2 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungsmethodik gliedert sich in die Teilgebiete Kolloid- und Oberflächenchemie, Mineralogie und Analytik der Spurenelemente. Die Oberflächen werden anhand der Adsorption von Stickstoff und der Kationenaustauschkapazität (KAK) charakterisiert. Durch die Stickstoffadsorption nach BRUNAUER, EMMETT & TELLER (1938) wird die äußere (BET-) Oberfläche² bestimmt.

Nach MEHLICH wird die negative Festladung pro Masseinheit, die sogenannte Kationenaustauschkapazität, analysiert. Aus der Kationenaustauschkapazität kann bei Berücksichtigung der äußeren Oberfläche der Smectitgehalt berechnet werden, wie bei HEIMERL (1995) dargestellt. Überdies kann mit diesem Verfahren die

² Aus präparativen Gründen muß vor der BET-Bestimmung das karbonatische Bindemittel entfernt werden.

Gesamtoberfläche ermittelt werden. Hierbei müssen bestimmte Voraussetzungen über die Flächenladungsdichten getroffen werden. Die Festladungsdichten der inneren Oberflächen der Smectite in Wechsellagerungen werden zu ca. $0,0019 \text{ mval/m}^2$ angenommen und die Festladungsdichten der äußeren Oberflächen der Tonminerale werden zu ca. $0,003 \text{ mval/m}^2$ postuliert. Diese Voraussetzungen sind für die Keupertone Nordbayerns gut erfüllt, wie Untersuchungen von HEIMERL (1995) zeigen.

Die untersuchten Gesteinsproben werden auch über die Röntgenphasenanalyse untersucht. Die Smectite der Lehrbergsschichten sind Bestandteil von Wechsellagerungen wie von HEIMERL, KOHLER, BILLINO & SANTL (1994) sowie anderen Autoren gezeigt wurde. Die Smectite dieser Wechsellagerungen weiten weder mit Ethylenglykol noch mit Glycerin charakteristisch auf.

Die Analyse der Karbonatgehalte ist wesentlicher Bestandteil der mineralogischen Charakterisierung. Die Karbonate besitzen Bindemittelfunktion, werden durch Säuren und Komplexbildner gelöst, fallen im Alkalischen wieder aus und können Schwermetalle binden. Eine quantitative Differenzierung zwischen dem leichter löslichen Kalzit und dem schwerer löslichen Dolomit bietet sich bei hohen Karbonatgehalten an. Ansonsten genügt die Angabe des Gesamtkarbonatgehaltes, der nach Scheibler-Finkener bestimmt wird (HEIMERL 1995), und die qualitative Angabe der Karbonatminerale aus den Pulveraufnahmen der Röntgenphasenanalytik.

Für geotechnische und geochemische Fragestellungen erscheint zudem auch die Angabe des organischen Kohlenstoffgehaltes notwendig. Der organische Kohlenstoff wird nach der Oxidation mit Chromschwefelsäure photometrisch anhand der äquivalenten Cr(III)-Konzentration bestimmt. Da in den Proben keine weiteren oxidierbaren Bestandteile wie Pyrit und Siderit vorhanden sind, werden exakte Werte gemessen (HEIMERL, KOHLER & RADLINGER 1994).

Die Spurenelemente und die Hauptelemente werden durch Röntgenfluoreszenz (RFA) bzw. durch spektroskopische

Nachweismethoden in Kombination mit chemischen Aufschlüssen bestimmt. Alle Elementgehalte in den Proben werden auf Anomalien und Kontaminationen untersucht. Korrelationen zu kolloidchemischen Kenngrößen und mineralogischen Gehalten unterstützen derartige Untersuchungen. Zur quantitativen Bestimmung einiger Spurenelemente wird auch die Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) eingesetzt.

Die mit der RFA bestimmten Spurenelemente besitzen eine Nachweisgrenze von 10 ppm, die mit der RFA bestimmten Hauptelemente besitzen eine Nachweisgrenze von 0,01%. Alle Untersuchungsergebnisse werden insbesondere auf mögliche Kontaminationspfade hin interpretiert (z.B. mit Hilfe der Korrelationsanalysen).

2.4 Meßergebnisse zur Kolloidchemie und Mineralogie

Die Meßergebnisse zur Kolloidchemie sind in der Tabelle 1 und zur Mineralogie in der Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 1: Meßergebnisse zur Kolloidchemie

Entnahmestelle	Labornummer	Tiefe [m]	äußere Oberfl. [m²/g]	KAK [mval/100g]	Gesamtoberfl. [m²/g]
Schacht 3, Schurf 1/1	3615-A	0,05 - 0,10	54	17	59
Schacht 3, Schurf 1/1	3615-B	0,10 - 0,15	60	21	76
Schacht 3, Schurf 1/1	3615-C	0,15 - 0,20	53	21	80
Schacht 3, Schurf 1/1	3615-D	0,20 - 0,25	62	20	69
Schacht 3, Schurf 1/1	3615-E	0,25 - 0,30	26	16	69
Schacht 3, Schurf ½	3619-A	0,35 - 0,45	28	19	84
Schacht 3, Schurf ½	3619-B	0,45 - 0,55	25	20	91
Graben, Schurf 3	3154	0,05 - 0,15	52	19	70
Graben, Schurf 3	3155	0,15 - 0,25	59	22	82
Graben, Schurf 3	3156	0,25 - 0,30	53	22	85
Graben, Schurf 3	3161	0,40 - 0,50	14	13	60
Graben, Schurf 3	3162	0,50 - 0,60	9	11	53
Graben, Schurf 3	3163	0,50 - 0,65	23	16	71
Schacht 1, Schurf 1	3195	0,10 - 0,20	28	20	89
Schacht 1, Schurf 1	3196	0,20 - 0,30	23	18	81
Schacht 1, Schurf 1	3197	0,30 - 0,35	13	14	66
Schacht 2, Schurf 1	3678-A	0,05 - 0,10	35	19	81
Schacht 2, Schurf 1	3678-B	0,10 - 0,15	36	19	79
Schacht 2, Schurf 1	3678-C	0,15 - 0,20	36	19	79
Schacht 2, Schurf 1	3678-D	0,20 - 0,25	32	19	81
GS II, Schurf 2	3709	0,10 - 0,15	37	19	80
GS II, Schurf 2	3709	0,30 - 0,35	38	19	78
GS II, Schurf 2	3709	0,35 - 0,40	40	19	77
GS II, Schurf 2	3709	0,40 - 0,45	36	22	95

Tabelle 2: Meßergebnisse zur Mineralogie

Labornummer	Smectite [%]	Illit/Glimmer [%]	Karbonate [%]	Organik [%]
3615-A	< 1	52 - 59	2.4 (Dolomit)	0,1
3615-B	2	52 - 59	1.7 (Dolomit)	0,3
3615-C	4	57 - 64	2.1 (Dolomit)	0,5
3615-D	< 1	53 - 60	1.1 (Dolomit)	0,3
3615-E	6	50 - 57	2.4 (Dolomit)	0,3
3619-A	8	49 - 55	1.8 (Dolomit)	0,3
3619-B	9	58 - 66	1.1 (Dolomit)	0,3
3154	3	54 - 61		0,2
3155	3	51 - 58		0,2
3156	4	53 - 60	0.8 (Dolomit)	0,1
3161	6	39 - 44	0.5 (Dolomit)	0,4
3162	6	37 - 42	0.6 (Dolomit)	0,3
3163	7	42 - 47	1.3 (Dolomit)	0,3
3195	8	49 - 55		0,2
3196	8	43 - 49		0,2
3197	7	44 - 50	2.8 (Dolomit)	0,1
3678-A	6	53 - 60	5,0 (Kalzit)	0,3
3678-B	6	53 - 60	4,0 (Kalzit)	0,4
3678-C	6	48 - 54	2,6 (Kalzit)	0,3
3678-D	7	51 - 58	2,7 (Kalzit)	0,3
3709	6	54 - 61	2,1 (Kalzit)	0,3
3709	6	48 - 54	4,9 (Kalzit/Dolomit)	0,2
3709	5	48 - 54	3,6 (Kalzit)	0,3
3709	8	49 - 55	6,1 (Kalzit)	0,8

Auf der Grundlage der Röntgendiagramme kann ein relativ homogener Chloritgehalt angenommen werden, der für alle Proben zwischen 5 bis 20 % liegt. Die höchsten Gehalte mit maximal 20% besitzen dabei die Proben aus dem Schacht 2, Labornummer 3709 (höchstes Niveau am GS II) und 3615-A bis 3615-E (Schacht 3, Schurf 1/1). Mittlere Gehalte besitzen die Proben 3619-A und 3619-B (Schacht 3, Schurf 1/2). Geringe Gehalte von maximal 5 bis 10% sind in den Proben 3154 bis 3156 (Graben) und 3195 bis 3197 (Schacht 1) zu finden. Nennenswerte Gipsgehalte waren in keiner einzigen Probe nachzuweisen. Im wesentlichen gehen die restlichen Mineralkomponenten in allen Proben auf Fe(III)oxide und -hydroxokomplexe (ca. 1 - 8%), insbesondere Hämatit, der allerdings röntgenographisch nicht nachgewiesen wurde, geringe Gehalte an Feldspat und mittlere Gehalte an Quarz (ca. 20 - 40%) zurück.

2.5 Diskussion und Interpretation

2.5.1 Bewertung der Größenordnungen der Spurenelementkonzentrationen

Alle Proben werden zunächst bezüglich ihrer Gehalte interpretiert. Dabei werden die Proben mit 11 weiteren mesozoischen und tertiären nordbayerischen Tonstandards verglichen. Einer dieser Standards ist ein Ton der Lehrberg-Schichten.

Tabelle 3_ Spurenelementgehalte in den untersuchten Tonproben

Element	Gehalte in den untersuchten Proben [ppm]	Gehalte in den Standards [ppm]	Gehalte im Tonstandard der Lehrberg-Schichten
Au (Gold)	0,002 - 0,009	0,002 - 0,004	0,002
Be (Beryllium)	1 - 5	2 - 5	5
B (Bor)	17 - 131	17 - 149	116
V (Vanadin)	36 - 98	82 - 177	82
Cr (Chrom)	27 - 110	53 - 100	75
Co (Cobalt)	5,7 - 17	5,6 - 24,0	12,0
Ni (Nickel)	17 - 60	32 - 87	40
Cu (Kupfer)	4,9 - 20,6	5,2 - 47,5	8,7
Zn (Zink)	65,3 - 246	36,8 - 56900	100
Ge (Germanium)	10	< 10 - 13	13
As (Arsen)	6 - 54	1 - 30	16
Se (Selen)	1	< 1	< 1
Br (Brom)	3,0 - 5,5	1,8 - 4,1	2,4
Mo (Molybdän)	< 2 - 4	2 - 3	< 2
Ag (Silber)	< 0,2 - 0,4	< 0,2 - 0,8	< 0,2
Ce (Cadmium)	< 1	1 - 2	< 1
Sb (Antimon)	0,3 - 1,4	0,3 - 2,5	1,4
Cs (Cäsium)	4,4 - 13,2	6,4 - 32,0	23,1
La (Lanthan)	26,9 - 64,3	20,3 - 52,0	37,7
Ce (Cer)	51 - 123	39 - 98	72
Nd (Neodym)	22 - 52	21 - 43	30
Sm (Samarium)	3,95 - 9,83	3,20 - 7,52	5,74
Eu (Europium)	0,65 - 1,30	0,80 - 1,45	1,19
Tb (Terbium)	0,5 - 1,2	0,4 - 0,9	0,7

Tabelle 3: Spurenelementgehalte in den untersuchten Tonproben

Element	Gehalte in den untersuchten Proben [ppm]	Gehalte in den Standards [ppm]	Gehalte im Tonstandard der Lehrberg-Schichten
Yb (Ytterbium)	1,70 - 3,35	1,12 - 2,93	2,26
Ta (Tantal)	0,5 - 1,4	0,5 - 1,7	1,4
W (Wolfram)	1 - 3	1 - 4	2
Ir (Iridium)	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Pb (Blei)	< 2 - 13	: 2 - 499	39
Th (Thorium)	9,7 - 26,0	5,9 - 16,0	14,0
U (Uran)	2,5 - 4,7	2,1 - 6,6	3,9
TiO ₂	367 - 776	499 - 1220	770
Rb (Rubidium)	111 - 183	110 - 229	219
Sr (Strontium)	67 - 118	74 - 220	220
Y (Yttrium)	25 - 48	20 - 35	31
Nb (Niob)	11 - 158	< 10 - 28	20
Ba (Barium)	436 - 758	361 - 830	530
Sc (Scandium)	4,05 - 14,5	9,40 - 14,4	12,5
Zr (Zirkon)	170 - 304	80 - 244	244

Bei Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit geogenen Konzentrationen ist in keinem Fall eine signifikante Auffälligkeit festzustellen. Das Leitelement Bor, ein erster Indikator für Kontaminationen, liegt vollkommen im Bereich geogener Konzentrationen. Ebenso ist anhand der geringen Konzentrationen des hochmobilen Brom, das vermutlich als Bromid vorliegt, zu erkennen, daß die untersuchten Proben kaum mit schadstoffbelasteten Deponiesickerwässern in Berührung gekommen sind. Dies deckt sich mit den Bestimmungen des organischen Kohlenstoffgehaltes. Der organische Kohlenstoffgehalt ist in allen untersuchten Proben ähnlich und in seinem Gesamtgehalt in jeder Probe in völliger Übereinstimmung mit geogenen Konzentrationen. Die Vermutung, daß allein geogene, aber keine anthropogene Ursachen für Schwermetallgehalte festzustellen ist, wird im folgenden anhand von Korrelationsanalysen weiter überprüft.

2.5.2 Korrelationsanalysen

Die lineare Korrelationsanalyse³ geht davon aus, daß die Konzentrationsverhältnisse chemisch sehr ähnlicher Elemente in derselben Schicht immer konstant sind. Darüberhinaus ist auch eine negative lineare Korrelation möglich. Dies bedeutet, daß die Zunahme des einen Elements linear mit der Abnahme des anderen gekoppelt ist. Korrelationsanalysen sind kein Selbstzweck, sondern müssen immer geochemisch interpretiert werden.

Um die grundsätzliche Einsetzbarkeit von Korrelationsanalysen zu überprüfen, werden an den untersuchten Proben die Konzentrationsverhältnisse von den chemisch und geochemisch sehr

³ Zur Korrelation wird die sogenannte lineare Korrelationsanalyse eingesetzt. Bei der linearen Korrelationsanalyse handelt es sich um ein mathematisches Verfahren, bei dem ein Parameter als Funktion eines anderen Parameters ausgedrückt wird. Es wird der Gehalt an Spurenelement in einer Probe bestimmt (y-Wert oder Funktionswert) und gegen den Gehalt einer bestimmten mineralogischen Phase (x-Wert) oder eines anderen Elements aufgetragen. Dies wird für möglichst viele Proben derselben geologischen Schicht getan. Durch die einzelnen Punkte wird algebraisch oder geometrisch eine Best-Gerade gefittet. Je weiter die Punkte von dieser Geraden abweichen, desto näher liegt der berechnete Korrelationskoeffizient bei Null. Von Interesse sind aber solche Korrelationen, deren Korrelationskoeffizient + 1 oder - 1 beträgt. Dann besteht ein linearer Zusammenhang zwischen dem Gehalt an einem Spurenelement (y-Wert) und dem x-Wert.

ähnlichen seltenen Erdmetallen, Samarium und Neodym, untersucht. Samarium und Neodym sind zwei Metalle, die unter geochemischen Bedingungen dreiwertig als Nd^{3+} bzw. Sm^{3+} vorliegen. Es ergeben sich folgende Zusammenhänge:

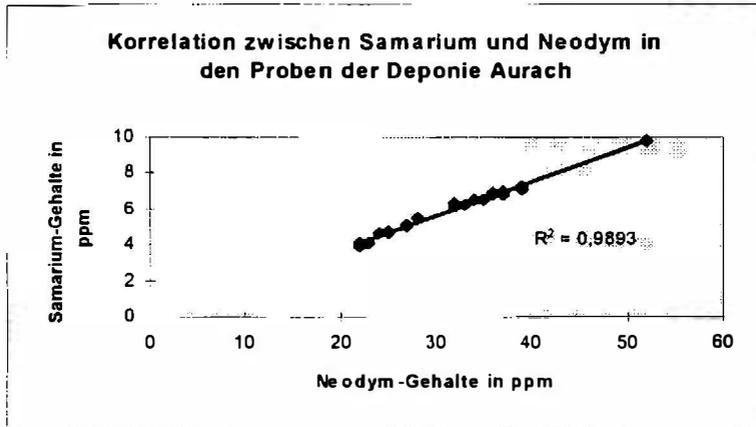


Abb. 4: Korrelation zwischen Samarium und Neodym in den Proben der Deponie Aurach

Für die Korrelation zwischen Samarium und Neodym ergibt sich unter Berücksichtigung aller 24 untersuchten Proben für das Quadrat des Korrelationskoeffizienten⁴ tatsächlich ein Wert von 0.9893. Die geochemische Ähnlichkeit läßt sich für die untersuchten Proben damit durch eine mathematisch lineare Beziehung beschreiben.

2.5.3 Der Zusammenhang zwischen Chrom und Arsen

Die lineare Korrelationsanalyse ergibt für Chrom- und Arsengehalte einen weniger eindeutigen Zusammenhang, wie für Samarium und Neodym. Auffällig ist aber, daß von den untersuchten 24 Proben sich

⁴ Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, einen Punkt auf einer Korrelationsgerade anzutreffen. Ein Wert von 0.9893 bezeichnet dabei eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit.

in jeweils denselben Proben der höchste Chrom- und Arsengehalt (Probe 3619 B) bzw. der niedrigste Chrom- und Arsengehalt (Probe 3197) befinden:

Tabelle 4: Spannweite der Chrom- und Arsengehalte

Probe/Entnahmetiefe	Chrom in ppm	Arsen in ppm
3619 B/0,45 - 0,55 m	110	54
3197/0,30 - 0,35 m	27	3

Grundsätzlich bieten sich für obigen Befund zwei Erklärungsmöglichkeiten an. Zum einen könnte unter dem Einfluß anthropogener Sickerwässer der Arsen- und Chromgehalt an einigen Stellen geringfügig erhöht sein. Da aber Chrom und Arsen wegen einer relativ geringen Mobilität in eisenhaltigen Schichten niemals an der Spitze einer Kontaminationsfront eines Multikomponenten-Sickerwassers stehen und die charakteristischen sonstigen Spurenelemente und Leitelemente nur geogene Konzentrationen besitzen, ist ein anthropogener Einfluß auszuschließen. Auch kann das gemeinsame sehr geringe Vorkommen von Chrom und Arsen in der Probe 3197 nur geogen erklärt werden.

Als zweite Erklärungsmöglichkeit bietet sich an, daß Chrom und Arsen in chemisch und geochemisch ähnlicher Form in den hier untersuchten Tonen vorkommen. Chrom liegt in der Erdkruste vor allem als dreiwertiges Chrom vor - als Cr^{3+} . Im schwach alkalischen (karbonatgepufferten) und schwach bis stark oxidierenden Milieu kommt Chrom auch als sechswertiges Chrom vor als Chromat CrO_4^{2-} . Für die chemische Stabilität des Chrom(VI) genügen im schwach alkalischen Milieu bereits Redoxpotentiale um 0,4 V (PERELMAN 1972).

Insbesondere in Tonen mit hohem Fe(III)oxidgehalt kann mit Chromaten gerechnet werden. Zum einen dürfte hier lokal an und in

den Eisenoxiden ein hohes Redoxpotential herrschen, zum anderen wird hier vermutlich auch eine gute Adsorption an die Oberfläche und auch Einbau ins Eisen(III)oxidgitter stattfinden. In den untersuchten Proben ist ein hoher Chromgehalt auch mit hohen Eisengehalten korreliert.

Arsen kommt in der Natur in sehr unterschiedlicher Form vor. Am häufigsten liegt Arsen in sulfidischer oder oxidischer Bindung vor. In oxidischer Bindung findet sich Arsen vor allem als Arsenit (AsO_3^{3-} oder HAsO_3^{2-}) in der Oxidationsstufe +3 oder als Arsenat (AsO_4^{3-} oder HAsO_4^{2-}) in der Oxidationsstufe +5 zusammen mit Eisenoxidmineralien.

Eine Erklärung für die relative Ähnlichkeit von Chrom und Arsen müßte schwach oxidierendes und schwach alkalisches Milieu voraussetzen. Da nahezu alle Proben karbonatgepuffert sind, kann auch für alle Proben schwach-alkalisches Milieu angenommen werden. Hier läge dann Chrom als Chromat und Arsen als Arsenat vor. Beide Spezies sind sich relativ ähnlich. In der Wertigkeitsstufe +3 im sauer-reduzierenden Milieu sind Chrom und Arsen, wie dargestellt, sehr verschieden, da hier Chrom als Kation und Arsen als Anion (Arsenit) gebunden wären. Eine gemeinsame Anreicherung oder Abreicherung, wie beobachtet, wäre dann unwahrscheinlich. Ein längerer Einfluß saurer, reduzierender Sickerwässer in der geogenen wie anthropogenen „Vergangenheit“ ist daher für die Postulierung des Arsenats und Chromats ausgeschlossen⁵

Falls Chrom als Cr(VI) und As(V) als Arsenat vorliegen, müßte das vorhandene Eisen als Fe(III) und zum Teil zumindest in oxidischer Bindungsform vorliegen.

Die Stichhaltigkeit der Argumentation muß anhand der Hauptelemente weiter erläutert werden, da sie ja das Milieu bestimmen.

⁵ Aus dem unabhängigen mikrobiologischen Untersuchungsprogramm wird ein ähnliches Ergebnis erhalten. In der Population der Mikroorganismen überwiegen bis in alle untersuchten Tiefen aerobe Bakterien.

2.5.4 Eisengehalte

Wenn Chrom als Chromat und Arsen als Arsenat vorliegen, muß Eisen als dreiwertiges Eisen, Fe(III), vorliegen. Dreiwertiges Eisen könnte in den untersuchten Proben vor allem in Tonmineralien und als Eisen(III)oxid bzw. -hydroxid gebunden werden.

In den untersuchten Proben befinden sich ca. 40-65% glimmerartige Tonminerale, maximal 20% Chlorit und 0- 10% Smectite. Diese Tonminerale können Eisen(III) binden.

Wenn aber Eisen vor allem oxidisch als Eisen(III)oxid bzw. -hydroxid vorliegt, müssen Cobalt und Eisen vor allem bei geringen Karbonatgehalten wie hier - sehr gut korreliert sein. Denn CoOOH und FeOOH besitzen nahezu identische Ionenradien (PATCHINEELAM 1975). Wenn Eisen dagegen als dreiwertiges Eisen in Tonmineralien gebunden wäre, müßte das Eisen vor allem in den Oktaederlücken sitzen. Das Eisen müßte dann eine ähnlichen Korrelationskoeffizienten zu Cobalt Co^{2+} , Nickel Ni^{2+} und anderen Ionen besitzen, die ebenfalls in den Oktaederlücken sitzen.

Bei Betrachtung der Zusammenhänge an den Proben werden folgende Ergebnisse erhalten:

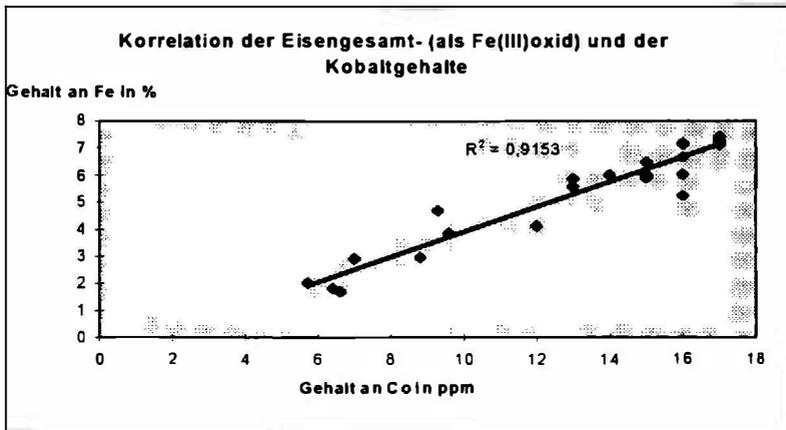


Abb. 5: Korrelation von Eisen und Cobalt

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten zwischen Cobalt und Eisen beträgt 0.9153. Diese sehr deutliche Korrelation läßt vermuten, daß Cobalt wegen des identischen Ionendurchmessers des Hydroxokomplexes in den Eisenhydroxokomplexen gebunden wird. Eisen muß daher vor allem als Fe(III) in oxidischer Bindungsform vorliegen. Die Korrelation zum Nickel, Kupfer und den anderen Ionen ergibt daher erwartungsgemäß wesentlich weniger eindeutige Zusammenhänge.

Dennoch bleibt festzustellen, daß auch eine gewisse Korrelation zwischen den Glimmergehalten und den Eisengehalten existiert.

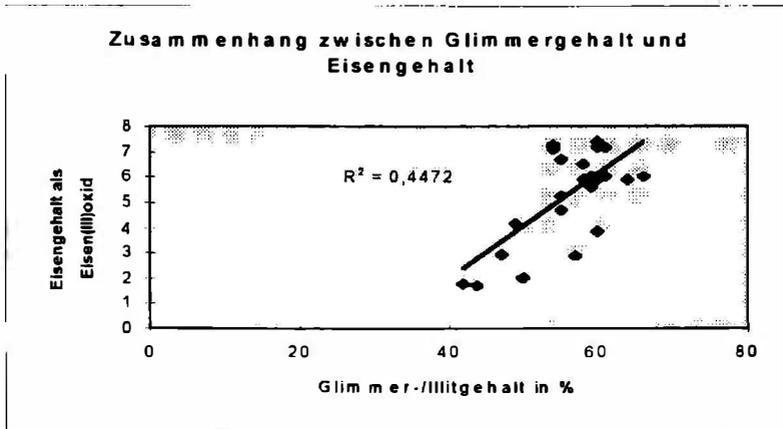


Abb. 6: Korrelation zwischen Glimmer-/Illitgehalt und Eisengehalt

Die Korrelation zwischen den glimmerartigen Tonmineralen und den Eisengehalten ist aber insgesamt nicht sehr deutlich. Die mittelmäßige Korrelation läßt sich dadurch erklären, daß die Eisen(III)hydroxokomplexe als Bindemittel für die Tonminerale wirken. Tonminerale wirken durch ihre hohen spezifischen Oberflächen als Kristallisationskeime für Eisen(III)hydroxokomplexe. Auch ein kolloidaler Transport des Fe(III) wird durch die Anwesenheit der Tonminerale erschwert. Beides führt zur Anreicherung von Eisen(III)hydroxokomplexen, hat aber nichts mit einer Bindung in Oktaederlücken zu tun. Bestärkt wird die Vermutung der Anwesenheit der Eisen(III)hydroxokomplexe durch die zum Teil sehr hohen Eisengehalte. Die Eisengehalte machen in der Gesamtprobe bis zu 7,42% (als Eisen(III)oxid berechnet) aus. Umgerechnet auf den Illit-/Glimmergehalt würden sich bis zu 10% an Gewichtsanteil für Eisen (berechnet als Eisen(III)oxid) in diesen Tonmineralien ergeben. Illite besitzen in der Regel aber maximal 5% Eisen (als Eisen(III)oxid berechnet), Glimmer deutlich weniger. Die erwähnten hohen Eisengehalte können unter den glimmerartigen Tonmineralen nur vom Glaukonit erreicht werden. Da die glimmerartigen Tonminerale der Lehrberger Schichten aber im wesentlichen Illite und keine Glaukonite sind, müssen andere Bindungsformen als die Oktaederlücken der Tonminerale beteiligt

sein. Auch ist der Chloritgehalt zu gering, um die hohen Eisengehalte zu erklären. Darüberhinaus zeigt sich, daß auch Proben mit relativ hohem Chloritgehalt (ca. 20% in der Probe 3615 E) nur relativ geringen Eisengehalt (2.91% als Eisen(III)oxid berechnet in der Probe 3615 E) besitzen. Die Probe 3615 B besitzt mit ähnlichem Chloritgehalt wie die Probe 3615 E einen wesentlich höheren Eisengehalt von 6.02%. Chlorit- und Eisengehalte scheinen in den untersuchten Proben weitgehend unabhängig voneinander zu sein.

Zudem sollte nicht unerwähnt bleiben, daß an einer Standardprobe der Lehrberger Schichten pseudoamorphe Eisen(III)oxide nach MEHRA/JACKSON extrahiert werden konnten. Auch weist die rote Farbe der Tone auf das Vorhandensein der Eisen(III)oxide hin. Darüberhinaus sind die Arsengehalte im wesentlichen nur durch das Vorhandensein von Eisen(III)oxiden erklärbar, wie bereits dargestellt. Als letztes Argument sei angeführt, daß das Fehlen von Pyrit und Siderit bei gleichzeitig relativ hohen Eisengehalten als weiteres Indiz für das Vorliegen von Eisen(III)oxiden gewertet werden kann. Daß ein röntgenographischer Nachweis nicht exakt möglich ist, liegt vermutlich an der geringen Kristallinität der Eisen(III)hydroxokomplexe. Eisen(III)hydroxokomplexe sollten für den röntgenographischen Nachweis in den Proben mit mindestens 10 % vorliegen. Diese Gehalte werden aber in den Proben nicht erreicht.

Insgesamt ergibt sich ein Bild, das die postulierten Milieuverhältnisse aus den Chrom- und Arsenanalysen bestätigt. Die gesamten Proben scheinen schwach oxidierendem Milieu ausgesetzt zu sein, ein Kontakt mit anthropogenen, sauer-reduzierenden d. h. organisch belasteten Sickerwässern kann mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Eisen liegt in dreiwertiger Form zu einem wesentlichen Teil als Fe(III)hydroxokomplex vor.

2.6 Schlußfolgerungen

Nach der Diskussion des Milieus, der oxidischen Bindemittel und der Spurenelemente, sollten kurz die Adsorptionsfähigkeit, chemische Stabilität, bodenmechanische Stabilität und Hinweise über potentielle Kontaminationspfade aus den Hauptelementen erörtert werden.

Besser, als mit den üblichen Korngrößenanalysen, werden die Größe spezifischer Oberflächen mit der Angabe der äußeren Oberfläche nach BRUNAUER, EMMETT & TELLER (1938) und der Gesamtoberfläche nach HEIMERL (1995) beschrieben. Aus der Differenz dieser beiden Größen folgt der Smectitgehalt. Die äußere Oberfläche liegt in den untersuchten Proben durchschnittlich zwischen 30-50 m²/g. Der geringste Wert beträgt 9 m²/g, der höchste 62 m²/g. Dies sind Werte, die für Tone absolut üblich sind, wie Untersuchungen von HEIMERL, KOHLER, BILLINO & SANTL (1994) an Tonen Nordbayerns und der Oberen Süßwassermolasse beweisen. Die Gesamtoberfläche der Proben liegt bei 59-95 m²/g. Diese relativ geringen Gesamtoberflächenwerte weisen auf relativ geringe Smectitgehalte hin, die zwischen 0-10% der Gesamtprobe liegen. Diese Smectite zeigen keine charakteristischen Schichtaufweitungen mit Ethylenglykol, besitzen relativ hohe Schichtladungen und liegen in Wechsellagerungen mit den Illiten vor. Zur Schadstoffbindung ist die innere Oberfläche dieser relativ hochgeladenen Smectite nur begrenzt einsetzbar. Das Schadstoffbindevermögen der Gesamtprobe ist sehr zufriedenstellend, wie die bestimmten Kationenaustauschkapazitäten, die bei 11-22 mval/100g liegen, und die Tonmineralgehalte beweisen. Die Anwesenheit der Kalzite und Dolomite in geringen Gehalten wirkt sich sicherlich positiv auf die Bindung von Schwermetallionen aus. Karbonate führen zu Karbonat- und Hydroxokomplexen, die sehr gut an Tonmineraloberflächen adsorbiert werden. Oxidische Bindemittel können auch Anionen anthropogenen Ursprungs fixieren, das Milieu der Porenraumlösungen und die Mineraloberflächen scheinen für eine Schadstoff-Fixierung geradezu ideal. Ein chemischer Angriff der Mineralbestandteile muß nur bei sehr langdauernden und extremen Sickerwasserangriffen anthropogenen Ursprungs befürchtet werden.

Da der Ton Karbonate enthält, die durch saure Sickerwässer eventuell gelöst werden zumindest die Kalzite, ist eine weitere Porenraumverdichtung und Verringerung der Durchlässigkeit durch Karbonatspezies, die in tieferliegende Bereiche migrieren und dort ausfallen, anzunehmen. In diesem Zusammenhang seien auch die Untersuchungen von HEIMERL, KOHLER, BILLINO & SANTL (1994) sowie die Diplomarbeit von SANTL (1995) erwähnt. Die Autoren stellen fest, daß aus Kalzit Schwermetallkarbonate wie Zinkkarbonat beim Migrieren schwermetallbelasteter, saurer Sickerwässer gebildet werden können. Dies bedeutet, daß die Kalzitlösung sofort von einer Fällung begleitet wird. Eine Lösung des Dolomits bzw. eine analoge Umfällung findet viel weniger statt. Insgesamt droht für die geologische Barriere der Deponie „Aurach“ bei ausreichender Mächtigkeit unter der Voraussetzung der Repräsentativität der untersuchten Proben durch Karbonatlösung keine Gefahr.

Insgesamt dürfte das Material wegen seiner geringen organischen Gehalte, wegen seiner relativ geringen Smectitgehalte, die noch dazu in Wechsellagerungen vorliegen, und wegen seiner karbonatischen und oxidischen Bindemittel auch aus bodenmechanischer Sicht bei Vergleich mit anderen Tonen eher günstige Eigenschaften besitzen.

Abschließend sollen noch eine kurze Diskussion der Homogenität und einer eventuell bereits vorhandenen Kontamination gegeben werden: Wie bereits ausführlich erörtert, muß eine Kontamination des untersuchten Probematerials ausgeschlossen werden. Eine letzte Bestätigung dieser Aussage kann anhand des Hauptelements Natrium gegeben werden. Natriumionen werden im Untergrund wenig gebunden und sind mobil. Erhöhte Natriumgehalte sind in allen realen Deponiesickerwässern zu finden. Aber bei Vergleich der 24 untersuchten Proben untereinander ist kein signifikanter Ausreißer zu entdecken. Die Na_2O -Gehalte reichen von 0.20 bis 0.66%. Und dies sind weder von der Höhe noch von der Spannweite her Konzentrationen, die eine Kontamination denkbar erscheinen lassen. Darüberhinaus läßt sich an diesen Werten bereits eine relativ geringe

Heterogenität des Probematerials erkennen. Das Probematerial ist homogen bezüglich seiner kolloidchemischen Eigenschaften, seines mineralogischen Aufbaus wie seiner Elementgehalte. Einzig die Proben 3161, 3162, 3163 und 3197 fallen mit relativ geringen äußeren Oberflächen, Gesamtoberflächen und einer relativ geringen KAK von 11-16 mval/100g etwas aus dem Rahmen. Die Schwankungsbreite ist letzten Endes sehr gering und empfiehlt das Material geradezu als Barriere. Ist doch dieses Kriterium eines der Haupterfordernisse eines sicheren Deponieuntergrundes.

Letztlich zeigen die Untersuchungsergebnisse wie hervorragend Tonbarrieren ihre Funktion erfüllen. Ob als Träger für die schadstoffimmobilisierende Belebtschlammschicht oder als eigene Schadstoffbarriere. Tone weisen in der Summe aus geotechnischen, mineralogischen und kolloidchemischen Eigenschaften vor allem dann hervorragende Eigenschaften auf, wenn Sie nicht monomineralisch sondern eher als entfestigtes Multiphasengemenge vorliegen (vergl. SCHWAIGHOFER, FRÖSCHL & JAROS 1995).

3. Literaturverzeichnis

- BRUNAUER, S., EMMETT, P.H. & E. TELLER (1938): Adsorption of gases in multimolecular layers. J. Am. Chem. Soc. 60, 309-319.
- GARTUNG, E., MÜLLNER, B. & H. HEIMERL (1996): Untersuchungen an der mineralischen Basisabdichtung der Siedlungsabfalldeponie Aurach nach mehr als zehnjährigem Betrieb. In: Seminar Deponien und Altlasten; Kurzfassungen der Seminarvorträge 24. u. 25 Januar 1996, hrsg. von Prof. Dr.-Ing. Wittke, Aachen.
- GARTUNG, E., MÜLLNER, B., HEIMERL, H. & E. E. KOHLER (1996): Die mineralische Basisabdichtung der Siedlungsabfalldeponie Aurach nach mehr als zwölfjährigem Betrieb. In: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien,

- 1996, 12. Nürnberger Deponieseminar, hrsg. V H. Prühs & B. Müllner, Eigenverlag LGA, S. 321-340.
- HEIMERL, H. (1995): Methodenoptimierung zur Analyse der Schadstoffmobilität in tonigen Deponiedichtungsmaterialien, Diss., Regensburg.
- HEIMERL, H., KOHLER, E. E. & P RADLINGER (1994): Vergleichende geochemische Untersuchungen zur Optimierung anerkannter sedimentpetrographischer und chemischer Verfahren zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, BMFT-Projekt Nr. 1460506 AO Projekt GC 3, Abschlußbericht, unveröffentlicht, Hannover.
- HEIMERL, H., KOHLER, E. E., BILLINO, B. & W SANTL (1994): Die Beschreibung der potentiellen Schadstoffmobilität an Proben der Oberen Süßwassermolasse und Nordbayerns mit Hilfe tonmineralogischer und kolloidchemischer Verfahren. In: Veröffentlichungen der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe 1995, hrsg. v. Prof. Dr. E. E. Kohler, S. 10-19., Regensburg.
- KOHLER, E. E. (1985): Möglichkeiten der Beeinträchtigung der Wirksamkeit mineralischer Deponiebasisabdichtungen durch organische Lösungen, Fortschr. d. Deponietechnik, 15, S. 109-120, Berlin.
- KOHLER, E. E. (1986): Untersuchungen zur mineralogischen Beständigkeit von mineralischen Dichtungsmaterialien in Deponiebasisabdichtungen, Fortschr. d. Deponietechnik, 3, S. 75-88, Berlin.
- KOHLER, E. E. (1995): Tonminerale als "Helfer der Menschheit", Blick in die Wissenschaft Forschungsmagazin der Universität Regensburg, Heft 6, 4. Jg. 1995, S. 18-25.
- KOHLER, E. E. & G. MORTEANI (1984): Bewertung des Tonbarrierenkonzeptes unter besonderer Berücksichtigung der Permeabilität und den chemischen Reaktionen zwischen Tonmineralen und organischen Lösungen, UBA Forschungsbericht Nr. 10203409/02, 163 S., Berlin.

- KOHLER, E. E., EHRLICHER, U. & E. USTRICH (1989): Mineralogische Anforderungen an Tondichtungsschichten zur Minimierung der Durchlässigkeit für organische Schadstoffe in kontaminierten Standorten und Deponien, Forschungsbericht des UBA I0203409/02.
- KOHLER, E. E. & M. MÜLLER-VONMOOS (1993): Geotechnik und Entsorgung. In: Jasmund, K. & G. Lagaly G.(1993): Tonminerale und Tone, Darmstadt.
- KRESS, D. (1994): Sanierung des Sickerwassersammelsystems der Deponie im Dienstfeld, Veröffentl. der LGA, Heft 72, S. 325-330, Nürnberg.
- LGA-GRUNDBAUINSTITUT (1995): Schlußbericht zu Vorhaben E21 des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, Nürnberg, unveröffentlicht.
- MÜLLNER, B. (1995): Geotechnische, biologische und mineralogisch-chemische Untersuchungen an der Basisabdichtung der Deponie „Im Dienstfeld“ Veröffentl. der LGA, Heft 74, S. 93-114, Nürnberg.
- PATCHINEELAM, S. R. (1975): Untersuchungen über die Hauptbindungsarten und die Mobilisierbarkeit von Schwermetallen in fluviatilen Sedimenten, Diss., Heidelberg.
- PERELMAN, A. I. (1972): Geochemie epigenetischer Prozesse, Übersetzung aus dem Russischen, Berlin.
- SANTL, W (1995): Ausgewählte Tone in Nordbayern und ihre Bewertung zur Eignung als Deponieabdichtungsmaterial mit Hilfe mineralogischer und geochemischer Untersuchungen, Dipl.-arbeit, unveröffentlicht, Regensburg.
- SCHNEIDER, G. (1994): Untersuchungen an älteren feinkornmineralischen Dichtungsschichten von Hausmülldeponien in Bayern und sich daraus ergebende Folgerungen für Deponiedichtungen und geologische Barrieren, In: Veröffentl. der LGA, Heft 72, Nürnberg.
- SCHWAIGHOFER, B., KNAAK, B., SOYOYE, H., OTTNER, F., FRÖSCHL, H. & H. W MÜLLER (1994): Langzeitbeständigkeit von Zement-Bentonit-Dichtwandmassen. In: Veröffentlichungen der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe 1995, hrsg. v. Prof. Dr. E. E. Kohler, S. 123-132, Regensburg.

SCHWAIGHOFER, B., FRÖSCHL, H. & M. JAROS (1995): Tone
als geologische Barrieren bei Mülldeponien, hrsg. v.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Wasserwirtschaftskataster, 149 S., Wien.

Autor:

Dr.rer.nat.Dipl.-Chem. Harald Heimerl
Gerhardingerstr. 11
D-93059 Regensburg

SEMMERING BASISTUNNEL - Pilotstollen (9843 m)

Baugeologische Ergebnisse

J. KAISER, J. MERINGER

INHALTSVERZEICHNIS:

1	Einleitung
2	Das Projekt
3	Bauwerksdaten
4	Geologischer Überblick
5	Geologische Erkundung und Prognose
6	Hydrogeologische Erkundung und Prognose
7	Felsmechanik - Gebirgsmechanik - Gebirgstypisierung
8	Stand der Arbeiten
9	Betriebsdaten
10	Geologische - hydrogeologische - baugeologische Ergebnisse
11	Zusammenfassung und Ausblick
12	Nachsatz
13	Literatur

1 EINLEITUNG

Am 07.12.1994 wurde der Pilotstollen des Semmering Basistunnels in Mürzzuschlag angeschlagen. Nach rund einem Jahr wurde die Vortriebsstation 1017 m erreicht.

Es wurde rund ein Zehntel der vorgesehenen Länge im fallenden Vortrieb aufgefahren, wobei eine Reihe von interessanten Ergebnissen gewonnen werden konnten.

Schon aus diesem Grund ist die HL-AG der Einladung gerne gefolgt, um in Form eines Zwischenberichtes den derzeitigen Stand der Arbeiten darzulegen.

2 DAS PROJEKT

Die Neubaustrecke zwischen Gloggnitz und Mürzzuschlag, der Semmering-Basistunnel, wird die 140 Jahre alte Semmeringbahn vom Güterverkehr sowie vom Personenfernverkehr entlasten. Für den Regionalverkehr und den Ausflugsverkehr wird weiterhin die Ghega-Bahn erhalten bleiben.

Die Gesamtlänge des Projektes beträgt 22,7 Kilometer. Davon entfällt der überwiegende Teil nämlich 22,1 Kilometer auf die reine Tunnelstrecke.

Der zweigleisige Haupttunnel besteht aus drei Teilen.

- Von Gloggnitz bis Pettenbach wird ein 1,739 Meter langer Tunnel durch den Schafkogel vorgetrieben.
- Danach folgt der 1.125 Meter lange Tunnelabschnitt bis Küb, der in offener Bauweise errichtet wird, weil dort durch die „seichte“ Lage des Tunnels das Bauen unter Tag nicht möglich ist. Sobald dieser

Abschnitt fertig ist, wird die Baugrube wieder zugeschüttet. Damit verbleibt hier kein dauernder Eingriff. Dieser Bereich kann somit wie bisher landwirtschaftlich genutzt werden.

- Der größte Teil der Tunnelstrecke befindet sich im über 19 Kilometer langen Abschnitt zwischen Küb und Mürzzuschlag.

Komplettiert wird der Tunnel mit baulichen Vorkehrungen für das Sicherheitskonzept. Das sind im Abschnitt Gloggnitz Prein insgesamt acht begehbare Fluchtstollen sowie im Abschnitt Mürzzuschlag - Prein der ca. 10 km lange Begleitstollen und ein Lüftungsschacht.

Zuerst wird der Begleitstollen für die detaillierte Erkundung des Gebirges vorgetrieben und erfüllt somit auch die Funktion eines „Erkundungsstollens“

Der Haupttunnel wird von den beiden Tunnelportalen (Gloggnitz und Mürzzuschlag) vorgetrieben, der Begleitstollen von Mürzzuschlag aus. An diesen beiden Baustellen werden entsprechende Schutzmaßnahmen vorgesehen, um die Auswirkungen des Baubetriebes möglichst gering zu halten.

Am 28. November 1994 wurde vom Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr die eisenbahnrechtliche Baugenehmigung die rechtliche Grundlage für den Hochleistungsstreckenabschnitt Gloggnitz Mürzzuschlag, mit Semmering - Basistunnel km 76,100 bis km 98,797, erlassen (siehe Abb. I. Übersichtsplan).

3 BAUWERKSDATEN

Länge Pilotstollen.....	9.843 m
Portal Mürzzuschlag:.....	Höhe ü. A. 683,25 m
Ende Pilotstollen.....	Höhe ü. A. 582,18 m
Gefälle.....	9,79 ‰
Pilotstollen endet blind	

Portalaufweitung Mürzzuschlag

	Länge....	230 m
	Profil.....	60 m ²
Regelprofil Pilotstollen.....		16 m ²
geotechnische Aufweitungen.....		7 Stück mit 47 m ²
Ausbruch Pilotstollen.....		180.000 m ³
Landwirtschaftliche		
Gestaltungsfläche.....		400.000 m ³
Zwischendeponie.....		1.500 m ³
Querschläge.....		8Stück
Bauweise.....		NÖT
Vortriebsart.....		konventioneller Sprengvortrieb
Sohlausbildung		
hinter Ortsbrust.....		Ortbetonsohle 160 m

- Die Bauzeit beträgt 60 Monate, d.h. 1999 soll der Vortrieb beendet sein.
- Baukosten: ~ 437 Mio.ÖS

4 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die Tunneltrasse befindet sich in einem klassischen Gebiet der Alpengeologie am Ostrand der Ostalpen.

Schon UHLIG (1909) und MOHR (1910) erkannten hier stratigraphische und tektonische Parallelen zu den Radstädter Tauern. Aufgrund dieser Vergleiche entstand die Idee des Ostalpinen Tauernfensters, welches ebenso wie das Semmering-Wechsel-Fenster von den Oberostalpinen Einheiten von Süden nach Norden überfahren wurde.

Nach MOHR (1910) liegen die Einheiten des Semmeringsystems auf dem kuppelförmig aufgewölbten Wechselsystem, somit ist das Wechselsystem die tiefere Einheit.

Die Tunneltrasse durchfährt ein kompliziert gebautes Gebiet, in welchem mehrere tektonische Einheiten übereinander gestapelt aufgeschlossen sind.

Neben den vielen geologischen Arbeiten ist allem auf die großartige Kartierung von CORNELIUS aus dem Jahr 1936 hinzuweisen, auf die sich auch unsere Geologengeneration stützt, sowie auf die tektonische Deutung durch CLAR (1965) und TOLLMANN (1959-1976).

Das unterostalpine Semmeringsystem besteht hier aus einer Reihe nordtauchender, teils zerrissener, liegender Falten mit kristallinen Kernen, die nach Westen rasch an Breite zunehmen. Das Kristallin besteht aus phyllitischen Glimmerschiefern, Quarzphylliten, Amphiboliten und Grobgnaisen.

Die auf dem Kristallin befindliche permomesozoische Sedimenthülle in zentralalpiner Fazies transgrediert auf variszischem Untergrund und umfaßt Quarzite, Arkosen, Konglomerate, Porphyroide und Triassedimente.

Die alpidische Orogenese macht sich in epizonaler Regionalmetamorphose bemerkbar.

Die Grobgnese und phyllitischen Glimmerschiefer der Buckligen Welt, des Rosaliengebirges und des Leithagebirges gehören ebenfalls zum Unterostalpin.

Unter den unterostalpinen Gesteinen des Semmeringsystem liegt die Wechselserie und tektonisch noch tiefer das Penninikum.

Nördlich vom Semmeringsystem befinden sich die oberostalpinen Decken mit ihrer paläozoischen Unterlage bzw. Grauwackenzone, die mit dem Semmeringsystem im tektonischen Kontakt stehen.

Die Grauwackenzone läßt sich von Süden nach Norden in die tiefere Veitscher Decke und die höhere, über der Veitscher Decke liegende Norische Decke gliedern.

5 GEOLOGISCHE ERKUNDUNG UND PROGNOSE

Die HL-AG hat eine Abfolge von mehreren, stufenweise aufeinander abgestimmten Erkundungsphasen in Abhängigkeit von der Planungsphase ausgearbeitet.

Insgesamt wurden fünf Erkundungsphasen mit 13.500 lfm Kernbohrungen durchgeführt.

Aufgrund dieser Erkundungsbohrungen sowie flächendeckender geologischer Kartierung wurde von Prof. RIEDMÜLLER die baugelogeische Prognose erstellt (siehe Abb. 2, Prognose-Längenschnitt).

Im Folgenden werden die einzelnen geotechnischen Gebirgsbereiche von Müzzzuschlag aus, wo die Vortriebsarbeiten begonnen wurden, mit ihren wichtigsten Merkmalen laut Prognose dargestellt.

Geotechnischer Gebirgsbereich 1

Überwiegend Dolomitmarmore.

Wechselhafte Gefügeausbildung.

Massiges bis bankiges Gebirge.

Lehmige Zwischenmittel und Füllungen von Karsthohlräumen.

Wechselhaftes Gebirge mit unterschiedlich breiten Zerrüttungsstreifen.

Geotechnischer Gebirgsbereich 2

Dolomitmarmore vorherrschend, daneben Rauhacken, Dolomitmarmorbrekzien, Quarzphyllite, Semmeringquarzite, meist mylonitisiert und Mylonitphyllite.

Steile Störungen mit kleinstückiger Gebirgszerlegung, rasch wechselndes, heterogenes Gebirge

Bei stärkeren Wasserzutritten rolliges Verhalten.

Bei höherem Anteil toniger Mylonite Druckerscheinungen wahrscheinlich.

Derzeit steht der Stollen im geotechnischen Gebirgsbereich 2, in der Nähe bzw. am Übergang zum geotechnischen Gebirgsbereich 3.

Der Scheedgraben wurde bereits unterfahren.

Geotechnischer Gebirgsbereich 3

Quarzphyllite, tonige Mylonite.

Flach lagernde Schieferung.

Weitgehend monotones Gebirge.

Geotechnischer Gebirgsbereich 4

Vorwiegend mylonitisierte Quarzite und Quarzphyllite, untergeordnet Dolomite, Rauhacken, etc.

Es werden Scherzonen, Gebirgszertrümmerungen mit stark mylonitisierten Gebirgsbereichen erwartet, sowie heterogenes, auf engstem Raum wechselhaftes Gebirge, möglicherweise druckhaftes Wasser. Möglicherweise rolliges bis druckhaftes Gebirge.

Geotechnischer Gebirgsbereich 5

Quarzphyllite, schieferungsparallele Mylonite, Quarzmylonite.

Flachwelliger Bau

Es können rollige, wasserführende Quarzmylonite bzw. Druckhafte, tonige Phyllitmylonite auftreten.

Geotechnischer Gebirgsbereich 6

Quarzphyllite; weitgehend einheitliches Gebirge.

Geotechnischer Gebirgsbereich 7

Überwiegend Quarzphyllite; hoher Anteil an tonigen Myloniten, hohe Gebirgsanisotropie.

Hier befindet sich eine der Hauptüberschiebungsbahnen, damit verbunden ist eine hohe Teilbeweglichkeit des Gebirges.

Auftreten toniger montmorillonitführender Beläge.

Druckhaftes Gebirge herrscht vor.

Geotechnischer Gebirgsbereich 8

Wechsel von Kalkmarmoren, Dolomitmarmoren und Rauhacken.

Allgemein massiges Gebirge.

Druckhaftes Gebirge, bereichsweise isotrope Festigkeitseigenschaften.

Stollen befindet sich weit unter der Verkarstung.

Geotechnischer Gebirgsbereich 9

Quarzphyllitmylonite, Karbonatgesteinsmylonite, tektonische Brekzien.

Isotroper Gebirgscharakter.

In montmorillonitführenden Phyllitmyloniten tieferreichende Scherbrüche möglich.

Geotechnischer Gebirgsbereich 10

Überwiegend Kalkmarmore, untergeordnet Dolomitmarmore.

Antiklinalbau des Kaltenberges.

Einheitliche Gebirgsverhältnisse.

Lokal Bergschlag möglich.

Tunnel ca. 150 m unter der Verkarstung

Geotechnischer Gebirgsbereich 11

Phyllite, Quarzphyllite, Chloritphyllite, Quarzschiefer, Quarzite, tonige Mylonite.

Hohe Gefügeanisotropie.

Zwischen dem steifen Karbonatgesteinskomplex im Süden und dem Quarzitkomplex im Norden wurde die Phyllitzone intensiv zerschert.

Stark gebräuche bis druckhafte Verhältnisse müssen in Betracht gezogen werden.

An der Störungszone zwischen Tattermannschiefer und Karbonatgesteinskomplex werden Sulfatgesteine erwartet.

Langsame Kriechbewegungen über mehrere Jahre möglich.

Ende Pilotstollen

Geotechnischer Gebirgsbereich 12

Quarzite, Quarzmylonite, sehr untergeordnet Phyllite.
Bereichsweise liegen in größerer Mächtigkeit tektonische Zerreibsel vor. Haakogelquarzitzug tektonisch stark beansprucht.

Geotechnischer Gebirgsbereich 13

Quarzite, Metasandsteine, Quarzkonglomerate, Graphitphyllite.
Sulfatgesteine, eventuell Karbonatgesteinslinsen.
Heterogen gebauter Gebirgsbereich.
Rascher Wechsel von Gesteinen mit extrem unterschiedlichen Festigkeiten.
Graphitphyllite können dominieren.
In einer Bohrung wurde Gips angetroffen.
Extrem hohe Teilbeweglichkeit der Phyllite.
Überwiegen von druckhaftem Gebirge.

Geotechnischer Gebirgsbereich 14

Dünnschiefrige Phyllite, neben Mylonitphylliten tonige Mylonite.
Wegen der hangnahen Lage des Stollens Beeinträchtigungen durch Hangkriechvorgänge nicht auszuschließen.

Geotechnischer Gebirgsbereich 15

Massige Grüngesteine, Chloritphyllite, Phyllite, tonige Mylonite.
Zähe Grüngesteine alternieren mit dünn-schiefrigen Phylliten.
Massige Grüngesteine standfest.

Geotechnischer Gebirgsbereich 16

Chloritphyllite, Phyllite, tonige Mylonite.
Spitzwinkelig zur Tunnelachse verlaufende Störungen.

6 HYDROGEOLOGISCHE ERKUNDUNG UND PROGNOSE

Mit der hydrogeologischen Beurteilung wurde das Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum Graz beauftragt. Die Arbeiten wurden von Herrn Prof. ZOJER und Mag. REICHL durchgeführt.

Das Untersuchungsprogramm umfaßte seit 1988 folgende Schwerpunkte:

- Hydrogeologische Kartierung des erweiterten Trassengebietes.
- Kartierung sämtlicher Quellen, Brunnen und Bäche.
- Abteufen von Bohrungen und deren Ausbau als GW-Beobachtungsstellen.
- Beobachtung von Grundwasserspiegellagen.
- Wasserabpreßversuche
- Auffüllversuche
- Kurzpumpversuche
- Monatliche bzw. 14-tägige Messungen an ausgesuchten Meßstellen der Parameter Schüttung, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit.
- Hydrogeologische, hydrochemische und isopen-hydrogeologische Untersuchungen
- An der Eselbachquelle, Edlachquelle, Wallersbachquelle wurden automatische Schreibpegelanlagen errichtet. Ebenso ist eine automatische Schreibpegelanlage am Unterlauf des Wallersbaches situiert.
- Markierungsversuche
- Abgrenzung hydrogeologischer Einzugsgebiete

Aufgrund der Untersuchungen wurden folgende Bereiche unterschieden:

Portalbereich Mürzzuschlag

Neben der Verkarstung der Karbonate wurde festgestellt, daß das Grundwasser unter dem Sohlenniveau der nahe gelegenen Fröschnitz liegt.

Keine Vorflutstellung der Fröschnitz für das in den Bohrungen angetroffene Karstgrundwasser.

Permanenter Wasserzudrang, bzw. das Erreichen der gesättigten Zone erfolgt ab ca. Stat. 200 m - 250 m.

Die permanente Wasserführung in den Karbonaten wurde mit 5 - 10 l/s geschätzt.

Scheedgraben

Ab dem Scheedgraben werden Phyllite erwartet.

Ab dem Auftreten der generell dichten Phyllite werden ca. 2 l/s Bergwasser erwartet.

Wallersbachgraben

Hier werden Zwischen den Phylliten und Karbonaten Quarzite erwartet.

Es werden als Spitzenzufluß 50 - 70 l/s Wasser eingeschätzt und im Beharrungszustand 20 l/s Wasser prognostiziert.

Die Edlachquelle, die der Stadtgemeinde Mürzzuschlag als Ersatzwasserstandort dient, schüttet im Mittel ca. 20 l/s und ist an diese Karbonate gebunden.

Da eine mögliche Beeinträchtigung der Edlachquelle nicht ausgeschlossen werden konnte, wurde an der Quelle eine automatische Schreibpegelanlage installiert.

U. a. wurde für diesen Fall eine Ersatzwasserversorgungsanlage für Mürzzuschlag errichtet.

Wallersbachgraben bis Kampalpe

In den altkristallinen Phylliten werden einige wenige Liter pro Sekunde Bergwasser erwartet.

Kampalpe

Es werden hier Karbonate der Kampalpe, mit einem komplizierten tektonischen Bau durchörtert.

Die Wasserzutritte werden als kurzfristige Extremwerte ca. 75 l/s erreichen, als Dauerzufluß werden 10 - 15 l/s im Beharrungszustand erwartet.

Der Erkundungsstollen liegt hier ca. 1,5 km östlich der Wallersbachquellen.

Ersatzwasserversorgungsanlage für Mürzzuschlag

Die Schüttung des Hauptaustrittes der Wallersbachquelle wird über eine automatische Schreibpegelanlage aufgezeichnet.

Saurücken

Durch Bergzerreibungen geprägt, das Kristallin im Grenzbereich der Karbonate durchbewegt.

Talhofstörung - Kaltenbergantiklinale

kompliziert gebaute Scherzone

In den Karbonatgesteinen wird keine tiefreichende Verkarstung erwartet.

Als Dauerzufluß werden ca. 5 l/s angenommen.

Kaltenbergantiklinale - Tattermannschieferkontakt

Am Kontakt der Tattermannschiefer, die als absolute Wasserstauer angesehen werden, werden einige wenige l/s bis 10 l/s angenommen.

Im Bereich der Kaltenbergantiklinale werden etwa 5 l/s Bergwasser prognostiziert.

An diese Grenzfläche sind die Eselbachquelle und Bertaquelle gebunden.

Die Eselbachquelle stellt einen Teil der TWVA der Marktgemeinde Reichenau dar.

An der Eselbachquelle ist eine automatische Schreibpegelanlage eingebaut.

Haakogel

In den Quarziten des Haakogels ist mit einer permanenten Kluftwasserschüttung von 1 - 3 l/s zu rechnen.

Grauwackenzone

In NE wird die Oberostalpine Grauwackenzone, bestehend aus Metaquarzkonglomeraten und Quarzsandsteinen, durchörtert.

Besonderes Augenmerk ist den betonaggressiven Wässern (SO_4) zu widmen. Es werden wenige l/s Bergwasser erwartet.

7 FELSMECHANIK - GEBIRGSMECHANIK - GEBIRGSTYPISIERUNG

Im Rahmen des umfangreichen Aufschlußprogrammes wurden an der Montanuniversität Leoben von repräsentativen Gesteinsproben mechanische Kennwerte bestimmt, wie

- Druckfestigkeit
- Scherfestigkeit
- innere Reibung
- Kohäsion
- Trennflächenreibung und Kohäsion
- Verformungseigenschaften (E-Modul, V-Modul)
- Kriecheigenschaften

Aufgrund der felsmechanischen Laborergebnisse wurden die Gebirgskennwerte ermittelt, wobei der Maßstabeffekt, das Trennflächengefüge und der Einfluß der Anisotropie berücksichtigt wurden. Spannungstheoretische Untersuchungen führten zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens. Besonderes Augenmerk wurde auf die Frage der Druckhaftigkeit gelegt.

Diese Untersuchungen und Überlegungen führten gemäß ÖNORM B 2203 zu folgenden Gebirgstypen in der Ausschreibung:

Gebirgstyp

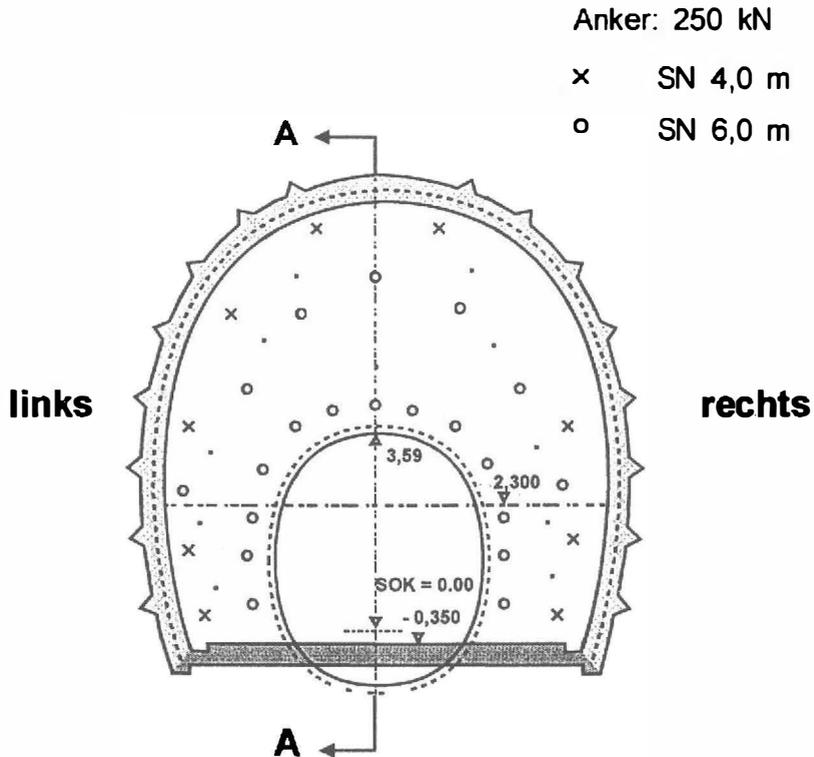
A1	standfest
A2	nachbrüchig
B1	gebräch
B2	stark gebräch
B3	rollig
C1	druckhaft
C2	kriechend druckhaft
C3	stark druckhaft

In den vorhin erwähnten geotechnischen Gebirgsbereichen erfolgte eine entsprechende Einteilung der Gebirgstypen.

8 STAND DER ARBEITEN

Der Voreinschnitt Mürzzuschlag mit einer Länge von 290 m, Höhe 32 m wurde bereits Ende 1994 fertiggestellt (siehe Abb. 3).

Portalaufweitung Mürzzuschlag



○ ○ Entlastungsbohrlöcher für
eventuell auftretendes
Bergwasser

Die Neigung wechselt von 2 3, 4 5, 1 09.

Es wurden 60 Daueranker mit einer Länge bis zu 22 m und 250 kN ausgeführt.

Die Spritzbetonsicherung beträgt 5 - 15 cm. Sie wurde rasterförmig mit 60 IBO-Ankern, Länge 4 - 12 m, 150 kN versehen.

Bei den landwirtschaftlichen Gestaltungsmaßnahmen, welche das Stollenausbruchsmaterial aufnehmen sollen, sind die Entwässerungsmaßnahmen fertig, ebenso die Schüttung der zweiten Richtungsfahrbahn der S 6.

Die Anschüttung der Senke ist im Gange.

Die Endneigung beträgt 14 %.

Wegen der möglichen Gefährdung der Wallersbachquellen wurde die Ersatzwasserversorgungsanlage Müzzzuschlag, Standort Kohleben, fertiggestellt.

Sie ist einsatzbereit. Die Schüttung beträgt 15 l/s und ist ausbaufähig auf 40 l/s.

Die Ortsbrust des Pilotstollens steht derzeit bei Stat. 1017 m.

Die Betonsohle wurde bis Stat. 857 m fertiggestellt.

9 BETRIEBSDATEN

AN.....	PORR Technobau
Betriebsart.....	Gleisbetrieb
Schutterung.....	ITC-Schäffbagger Typ 312 Firstförderband auf Laufschiene, 1 m Gurtbreite
Firstförderbandlänge....	300 m
Materialübergabe.....	bei ca. 300 m hinter der Ortsbrust
Bohrwagen.....	ATLAS COPCO, 2-armig auf Raupe; 2 x 1838 Cop Hydraulik- Hämmer
Mühlhauserkipper.....	12 m ² (8 Rotationskipper)
Schöma Lok.....	185 kW, 136 PS, Spur 900 mm, 30 t
Sohle parallel mit Vortrieb	ca. 150 m hinter Ortsbrust, 7 - 11 m Abschnitte, B 300 Ortbeton
Betriebsnischen.....	ca. alle 100 m
Versorgung vor Ort.....	1 Zug Spritzbeton, l= 40 m, 7 - 8 m ³ /h 1 Zug Ortbeton, l= 40 m, 15 m ³ /h
Pumpstationen.....	2 mobile Pumpstationen Tauchkörperpumpen je 60 l/s, mit 90 m Höhe, (110 kW, Gew.. 1200 kg, je Pumpe)
Bewetterung.....	1200 mm Ø, Sekundärlutte 700 mm Ø, 500 m ³ /min

10 GEOLOGISCHE - HYDROGEOLOGISCHE - BAUGEOLOGISCHE ERGEBNISSE

In der Werkvertragsnorm ÖNORM B 2203 sind die Aufgabengebiete bezüglich Dokumentation klar geregelt.

Derzeit ergibt sich eine Dreigliederung in:

- Ingenieurgeologische Dokumentation
- Geotechnische Dokumentation
- Tunnelbautechnische Dokumentation

Im Detail werden an der Baustelle folgende Arbeiten laufend durchgeführt.

- Tägliche baugelogische Ortsbrustdokumentation
- Auswertung auch mit vorgegebenen baugelogischen Datenblättern
- Baugelogische Fieberkurve des Gebirges
- Unterteilung in Baugelogische Gebirgsbereiche
- Wasserlagerungsversuche
- Laufende photogeologische Dokumentation
- Entnahmen von Gesteinsproben, Weiterleitung für Bodenmechanische, felsmechanische und andere Untersuchungen
- Punktlastversuche werden an der Baustelle vom Geologen durchgeführt und in Absprache mit Prof. Schubert in Graz ausgewertet.
- Laufende Bergwassermessung, wobei Schüttung, Bergwassertemperatur, Leitfähigkeit routinemäßig erfaßt werden (Detailuntersuchungen erfolgen vom Joanneum Graz)
- Beweissicherung
- Messung der Grundwasserspiegel in unmittelbarer Baustellennähe
- Fortschreibung von Prognosen bzw. Kurzprognosen
- Erkundung vom Pilotstollen aus
- Der Geologe ist bei der wöchentlich stattfindenden Baubesprechung anwesend.
- Beratung bei den Sicherungsmaßnahmen etc.

- Vorlage von baugeologischen Projektberichten für Projektbesprechungen mit den Sachverständigen
- Ständiger Kontakt mit der Behörde über das Baumanagement bzw. Projektleitung der HL-AG
- Aufrechterhaltung eines reibungslosen Informationsflusses zum Projektgeologen für die Detailplanung des Hauptvortriebes Mürzzuschlag

Gesteine

Im Einrichtungsbereich der Baustelle Mürzzuschlag stehen ziemlich horizontbeständig gut sortierte Schotter, Kiese und Sande an, die man als typische Bachablagerungen ansprechen kann. Der Kristallinanteil ist auffallend hoch.

Auf diesen Schottern lagert eine mächtige, lehmige braune, karbonatische Hangschutt-Decke.

Beim Portalanschnitt stehen bereits in der Strosse die Dolomitmarmore an.

Zwischen 0,00 m und 840,00 m wurden karbonatische Gesteine des Unterostalpins durchörtert.

Es wechseln in rascher Folge Dolomitmarmore, Kalkmarmore, Bänderkalkmarmore, Kalkmarmorbrekzien und Rauhacken ab.

Während die Dolomitmarmore brekziös, massig, dickbankig auftreten, sind die Kalkmarmore dünnplattig.

Starke Unterschiede sind weiters im Kluftgefüge feststellbar. Die Kalkmarmore sind durchwegs engständiger geklüftet und zeigen wesentlich schärfere Kluftkörperformen.

Ab 840 m, etwa unter dem Scheedgraben, treten wie mit einem Messer abgeschnitten völlig gestörte Störungsbrekzien, Kataklasite aus Rauhacken auf.

Fetzen- und schuppenartig sind Phyllite und Semmeringquarzite eingelagert.

In offenen Spalten der Karbonate wurden immer wieder kristalline Sande beobachtet.

Karsterscheinungen

Schon seit Vortriebsbeginn tritt eine wahrscheinlich tertiäre Verkarstung der Karbonatgesteine auf. Sie erfaßt das gesamte Trennflächengefüge, macht sich aber im Kluftgefüge stärker bemerkbar.

Offene Spalten und Karstschläuche waren wiederholt beobachtbar.

Die erste größere, durchgängige Karstspalte trat bei Stat. 680 m auf.

Die erste bekriechbare, fast begehbare Karsthöhle ohne Verbruchmaterial, aber mit Lehm gefüllt, wurde bei Stat. 777 m angetroffen.

Die zweite ansehnliche Karsthöhle mit Versturzmateriale wurde durch eine Vorbohrung von der Ortsbrust aus bei Stat. 956 m erkundet.

Verlehmung

Im bisherigen Vortriebsgeschehen machte sich die Verlehmung (stärker im Kluftgefüge, weniger im Schieferungsflächengefüge) sehr unangenehm bemerkbar.

Auch viele kleinere Karsthohlräume waren völlig mit Lehm gefüllt.

Lagerung der Gesteine

Bis zu der Störungszone bei Stat. 840 m fallen die Gesteine allgemein flach in den Vortrieb bzw. nach Südosten ein.

Das Schieferungsflächengefüge ist bei den Kalkmarmoren schärfer ausgebildet als bei den Dolomitmarmoren.

Kluftgefüge

Im Unterschied zu der flachen Lagerung der Gesteine steht die Klüftung generell steil.

Bis zur jetzigen Station wurden etwa vier typische Kluftscharrichtungen festgestellt.

Störungen

Bis zur Stat. 840 m traten mehrere Gebirgzerrüttungen und damit verbunden auch so starke Verlehungen auf, daß das Trennflächengefüge nur mit Mühe erkennbar war.

Die erste wirklich bedeutende Störungszone fand sich unter dem Scheedgraben. Sie wurde als tektonische Melange, als Störungsbrekzie bzw. Kataklasit bezeichnet. Gefüge und Gesteine sind hier z. T. völlig unkenntlich durcheinandergemischt.

Stellenweise handelt es sich um eine richtungslose, körnige Masse aus Kleinbrekzien.

Bergwasserverhältnisse

Da der Bergwasserbeobachtung eine besondere Bedeutung zukommt, sind im täglichen und wöchentlichen Programm folgende Messungen enthalten:

- Schüttungsmessung
- Leitfähigkeitsmessung
- Temperaturmessung
- Messung der Grundwasserspiegel in Portalnähe.

Alle Ergebnisse werden Mag. REICHL vom Joanneum Graz laufend übermittelt.

Derzeit macht der Stollen einen durchaus trockenen Eindruck, da bisher die Wasserzutritte fast ausnahmslos im Sohlbereich auftraten und auch weiter auftreten.

Von drei Meßstellen können folgende charakteristische Werte angegeben werden:

• **Stat. 230 m: 80 m lange Vorbohrung (19.04.1995)** (Abb.4, 5)

Anfangsschüttung: 1 - 2 Stunden , 13 l/s; Abfall auf 2,4 l/s, jetzt schon seit langer Zeit um 0,20 l/s

Temperatur: anfangs 6,5 °C, jetzt 8,6 °C

Leitfähigkeit: 137 µS/cm, 237 µS/cm

• **Stat. 777 m Karsthöhle**

Zitat aus dem baugelologischen Bericht für die 8. Projektbesprechung am 08. November 1995:

„Das scheinbar gestaute Wasser floß sehr langsam, ruhig, ohne Druck, ohne Trübung ab; kein Firstregen, kein Tropfwasser (um 16.00 Uhr ca. 0,5 l/s, 8,0 °C, µS/cm 344, um 17.00 Uhr ca. 0,5 l/s, 8,2 °C, µScm 341).

Dieser Bergwasserzutritt versiegte innerhalb von 24 Stunden.“

• **Vorbohrung Stat. 956 m und Karsthöhle bei Stat. 969 m**

Die erste Vorbohrung am 10.11.1995 brachte eine Schüttung von 8,33 l/s, mit 8,3 °C und einer Leitfähigkeit von 334 µS/cm.

Zwecks Bergwasserentlastung wurde am selben Tag unmittelbar nach der ersten Bohrung gleich eine zweite Bohrung durchgeführt.

Die Ergebnisse: 7,69 l/s, 8,2 °C, 332 µScm.

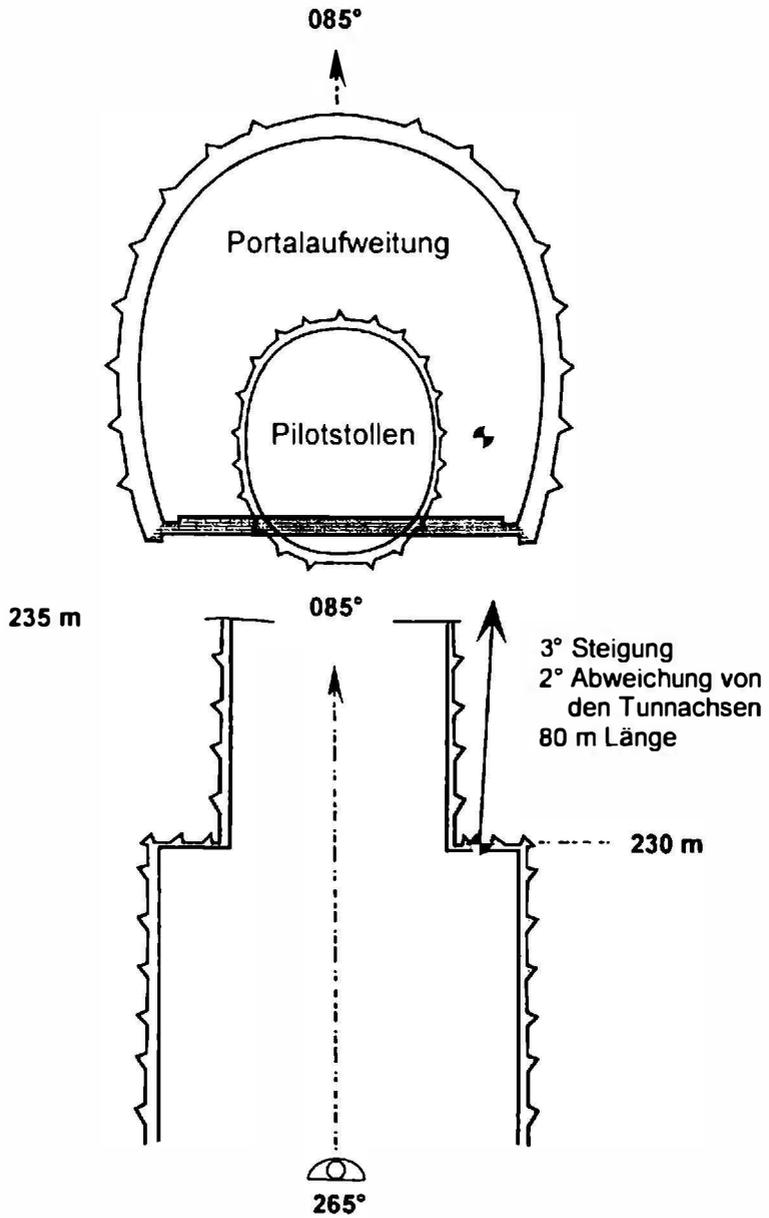
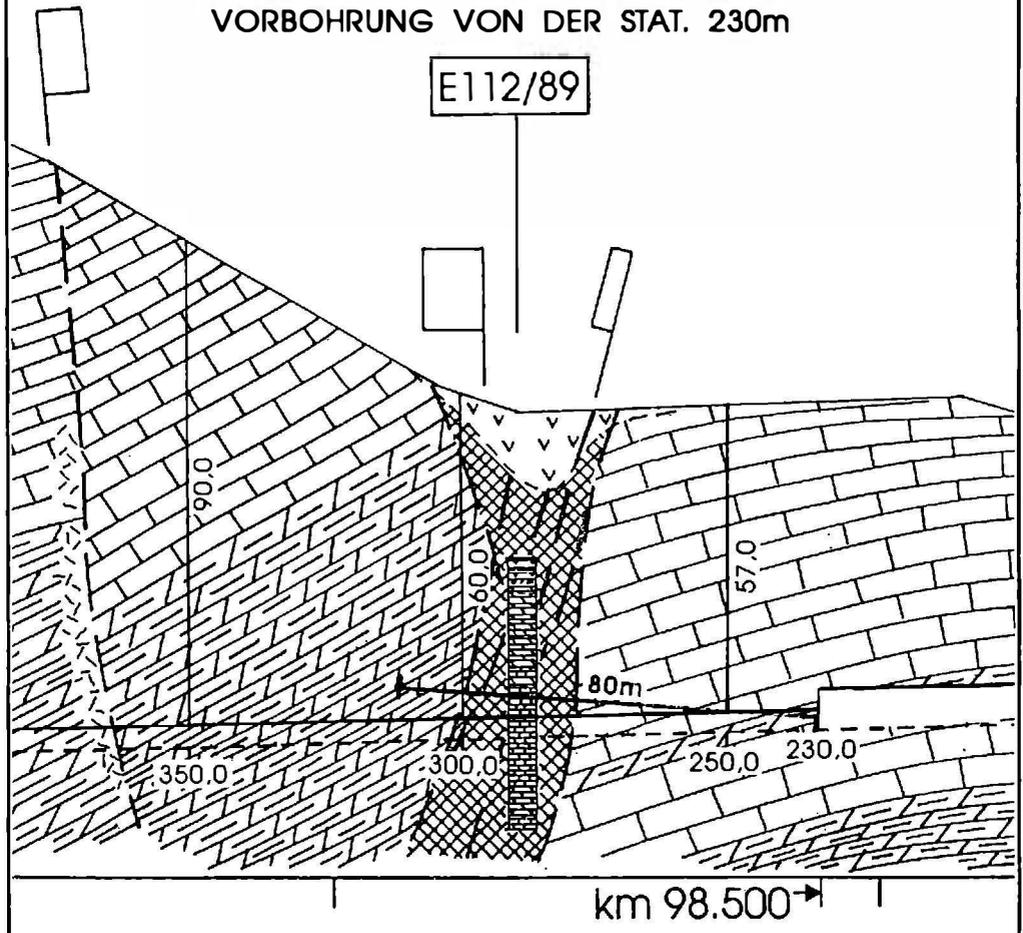


Abb. 4

VORBOHRUNG VON DER STAT. 230m

E112/89



STÖRUNGSZONE MIT KLEINSTÜCKIGER GEBIRGSZERLEGUNG,
VERSTELLUNGEN AN NE-SW UND N-S STREICHENDEN STÖRUNGEN

Abb. 5

Am 13.11.95 erreichte der Vortrieb die Karsthöhle.

Bei Stat. 970 m flossen nur mehr 4,8 l/s mit 8,1 °C und einer Leitfähigkeit von 370 µS/cm aus.

Der Gesamtstollenausfluß schwankt derzeit zwischen 10 - 13 l/s.

- Vorbohrungen von der Ortsbrust und die Prognosefortschreibung gehören zum baugeologischen Alltag.

Mit der Vorbohrung von Stat. 956 m war eine entsprechende Vorbereitung auf die bisher größte Karsthöhle möglich.

Die Karsthöhle wurde rechtzeitig entwässert und an der kritischen Stelle wurde nur der Einbruch und nicht die ganze Brust geschossen.

Aus den Zusammenfassungen der bisher vorliegenden baugeologischen Berichte lassen sich folgende Schwerpunkte herauslesen:

- wegen der geringen Verbandsfestigkeit kurze Abschlüge mit entsprechenden Stützmaßnahmen
- wegen der schwierigen geologisch-tektonischen Verhältnisse keine Abschlüge über 2,00 - 2,50 m
- Prognose von Profiltypen
- starke Verkarstung
- starke Verlehmung
- starke Wechselhaftigkeit des Gebirges
- Überwiegen von Gebirgstyp B1
- Karsthohlräume bereiteten keine besonderen Schwierigkeiten
- Kataklasit unter Scheedgraben; bisher beste Leistung
- Kalkmarmor gutmütiger als Dolomitmarmor

Die geologische Dokumentation (Abb. 6) steht dem AN laufend zur Verfügung.

Vortriebsdaten	Datum:	Station:	Ort:	Ül.:
Geol.tekt. Einheit		Gesteine:		Farbe:

1	Gesteinsfestigkeit	sehr fest	fest	mäßig fest	entfestigt
2	Gehalt an kristallinen Quarz	< 5 % unbedeutend	5 - 30 % klein	30 - 60 % mittel	> 60 % groß
3	Zähigkeit	sehr spröde	spröde	zäh	sehr zäh
4	Verhalten bei Wasserzutritt - Gestein	nicht veränderlich	mäßig veränderlich	veränderlich	stark veränderlich
5	Verwitterung	unverwittert	angewittert	verwittert	zersetzt
6	Mächtigkeit Schieferung	> 1 m massig	1 - 0,1 m bankig	0,1 - 0,01 m plattig	< 0,01 dünnlagig
7	Zwischenschichten	keine	vereinzelt von geringer Stärke	vereinzelt stärkere Schichten	häufig
8	Verhalten bei Wasserzutritt - Zwischenschichten	nicht veränderlich	mäßig veränderlich	veränderlich	stark veränderlich
9	Öffnung	< 1 mm sehr klein	< 10 mm fein	< 20 + 50 mm schmal	> 50 mm breit
10	Trennflächenwandung	versetzt	stufig	wellig	eben
11	Rauhigkeit	höckerig	rauh	glatt	poliert
12	Ausbißlänge	< 1 m	1 - 5 m	5 - 10 m	> 10 m
13	Orientierung Schicht und Schieferung zur Firse	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
14	Orientierung Schicht und Schieferung zur Ortsbrust	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
15	Orientierung Schicht und Schieferung zum Ulm	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
16	Kluftabstand	> 5 m	2 - 5 m	1 - 2 m	< 1 m
17	Kluftfüllung	keine	vereinzelt von geringer Stärke	vereinzelt stärkere Schichten	häufig
18	Art der Bruchfläche	nicht durchgehend	durchgehend o. Füllmaterial	durchg. mit gleit- o. quellf. Füllmaterial	durchgehend mit wasserl. Füllmaterial
19	Verhalten bei Wasserzutritt - Kluftfüllung	nicht veränderlich	mäßig veränderlich	veränderlich	stark veränderlich
20	Öffnung	sehr klein	klein	schmal	breit
21	Kluftwandung	versetzt	stufig	wellig	eben
22	Rauhigkeit	höckerig	rauh	glatt	poliert
23	Ausbißlänge	< 1 m	1 - 5 m	5 - 10 m	> 10 m
24	Kluftkörperform	plattig, bankig	prismatisch	polyedrisch	unregelm. Bruch- stücke gerundet
25	Kluftkörpergröße	> 200 cm groß	200 - 60 cm mittel	60 - 20 cm klein	< 20 cm sehr klein
26	Kluftkörpersystem	Einkörpersystem	Mehrkörpersystem	Vielkörpersystem F.	Vielkörpersystem L.
27	Kluftkörperverband	zusammenhänge nder Verband	verschränkter Verband	Mauerwerksver- band	Steinbaukasten- verband
28	Orientierung Kluftgefüge zur Firse	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
29	Orientierung Kluftgefüge zur Ortsbrust	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
30	Orientierung Kluftgefüge zum Ulm	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
31	Verbandsfestigkeit	sehr gut	gut	mäßig	gering
32	Störung, Störungszone	keine	einzelne Störungs- flächen	ein Teil der Brust	die ganze Brust
33	Orientierung zur Firse	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
34	Orientierung zur Ortsbrust	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
35	Orientierung zum Ulm	sehr günstig	günstig	ungünstig	sehr ungünstig
36	Bergwasserart	Poren	Schichten	Spalten	Karst
37	Bergwasserform	trocken	feucht	tropfend	rinnend
38	Bergwassermenge kurzfristig	kein	< 20	20 - 40	< 40
39	Bergwassermenge langfristig	kein	< 20	20 - 40	< 40
40	Beton- u. Eisenagressivität	keine	schwach	stark	sehr stark
41	Gebirgsdurchlässigkeit	sehr klein	klein	mittel	groß
42	Gebirgsteilbeweglichkeit	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
43	Gebirgsfestigkeit	groß	mittel	klein	sehr klein
44	Entspannungserscheinungen	keine	vereinzelt an Küften	an den Sf Flächen	an den gesamten Trennflächen
45	Profilmäßigkeit	sehr gut	gut	schlecht	keine

11 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im vergangenen Jahr sind bei der Bewältigung einer Vortriebsstrecke von 1017 m im fallenden Vortrieb keine außergewöhnlichen Schwierigkeiten oder Überraschungen aufgetreten.

Es hat keine Verbrüche, keine Wassereinbrüche gegeben und es sind glücklicherweise keine Unfälle zu beklagen. Die geotechnischen Messungen bestätigen, daß bisher die richtigen Stützmittel und der richtige Ausbau gewählt worden ist.

Abweichungen von der baugelologischen und hydrogeologischen Prognose sind naturgemäß vorhanden, aber die Prognosen erwiesen sich als grundsätzlich richtig.

Die Zusammenarbeit an der Baustelle ist als „Gut“ zu bezeichnen, trotz manchmal auftretender unterschiedlicher Ansichten, wie man das gemeinsame Ziel erreichen kann.

Wenn Prof. ROKAHR (1995) meint:

„Tunnelbau ist die Kunst, das Verborgene zu errahnen und dieses standhaft zu vertreten.“

dürfen wir den Satz von Prof. CLAR in Erinnerung rufen:

„Die geologische Schätzung lebt von der Möglichkeit des Vergleiches mit ausreichend beschriebenen Erfahrungsbeispielen.“

In diesem Sinn versuchen wir unsere geologische Aufnahme nach dem Motto:

„Der Liebe Gott erfand zuerst den Befund.“

weiterzubetreiben, damit nicht nur die Baugeneration, sondern auch die spätere Erhaltungsgeneration von unserer Arbeit profitiert.

12 NACHSATZ

Bei Redaktionsschluß (April 1996; Anm.d.Red.) wurde die Vortriebsstation 1465 m erreicht.

Wir befinden uns im geotechnischen Gebirgsbereich 3, in den Phylliten.

Der Übergang vom geotechnischen Gebirgsbereich 2 in den geotechnischen Gebirgsbereich 3 erfolgte genau nach Prognose.

Auch in den Phylliten blieben Überraschungen aus.

Nach etwa 500 m werden wir den Schacht Wallersbachgraben erreichen.

Es ist beabsichtigt, von hier aus mit Vorausb Bohrungen die wasserführenden Karbonatgesteine und Quarzite unter dem Wallersbachgraben zu erkunden.

13 LITERATUR

CLAR, E. (1965): Über den geologischen Gegensatz von Gestein und Fels. Mitt. Inst. Grundbau und Bodenmechanik, T. H. Wien, 6, 41-53, 1965.

CORNELIUS, H. P (1936): Geologische Spezialkarte des Bundesstaates Österreich, Blatt Mürzzuschlag, Geologische Bundesanstalt, Wien 1936

CORNELIUS, H. P (1952): Die Geologie des Mürztalgebietes (Erläuterungen zu Blatt Mürzzuschlag 1:75 000). Jb.Geol.B.-A. Sbd. 4, Wien 1952,a.

KAISER, J, MERINGER J. (1994-1996): Geologische Aufnahmen des Semmering Basistunnel Pilotstollens. Eisenbahn Hochleistungsstrecken AG. Wien.

MOHR, H. (1910): Zur Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel (N.Ö.). Mitt.Geol.Ges. Wien 3, Wien 1910.

RIEDMÜLLER, G. (1992): Baugeologischer Bericht, Hochleistungsstrecke Gloggnitz Mürzzuschlag, Semmering Basistunnel Pilotstollen, Eisenbahn Hochleistungsstrecken AG, Wien.

- ROKAHR, R. B. (1995): Wie sicher ist die NÖT? Referat anlässlich des XLIV. Geomechanik Kolloquiums in Salzburg 1995.
- TOLLMANN, A. (1958): Semmering und Radstätter Tauern. Mitt.Geol.Ges. Wien 50 (1957), Wien 1958, b.
- TOLLMANN, A. (1959): Der Deckenbau der Ostalpen auf Grund der Neuuntersuchungen des zentralalpiner Mesozoikums. Mitt.Ges.Geol.Bergbaustud. 10, Wien 1959.
- TOLLMANN, A. (1963): Ostalpen-Synthese. Wien, F.Deuticke 1963.a.
- TOLLMANN; A. (1964): Das Permoskyth in den Ostalpen sowie Alter und Stellung des „Haselgebirges“ N.Jb.Paläont.Abh. 1964,Stuttgart 1964,a.
- TOLLMANN, A. (1964): Exkursion II/6. Semmering-Grauackenzzone. Mitt.Geol.Ges. Wien 57, Wien 1964, e.
- TOLLMANN, A. (1976): Neue Fenster des Wechselsystems am Ostrand der Zentralalpen. Geol.Tiefbau der Ostalpen 3.Bericht, Wien 1976,b.
- UHLIG, V (1909): Der Deckenbau der Ostalpen. Mitt.Geol.Ges. Wien 2,Wien 1909.

Autoren:

Dr. Josef KAISER, Mag. Johannes MERINGER
 Eisenbahn Hochleistungsstrecken AG (HL AG)
 A-8680 Mürrzuslag, Zöchlingweg 202

Baugeologie beim Bau von Kleinkraftwerken in Tirol

E. TENTSCHERT

Zusammenfassung:

Nach einer Einführung über die Definition von Kleinkraftwerken und ihrer Stellung in Tirol werden anhand von Beispielen aus den letzten Jahren die geologischen Arbeiten bei Planung und Bauausführung erläutert.

Dabei kommen vor allem die Problemkreise Kartierung, Vorerkundung, Hangsicherung, Entwässerung, Trassenwahl und Dokumentation zur Sprache.

1. Einleitung, Definitionen:

Kleinkraftwerke blicken in Tirol auf eine lange Tradition zurück. Die Mühlen, vor allem aber die Säge- und Hammerwerke, vorzugsweise an Bächen der Kalkalpen mit relativ guter Winterwasser-Führung errichtet, ließen z.B. am Jenbacher Kasbach Sensenschmieden entstehen, die Vorläufer der heutigen Jenbacher Werke waren. Auch am Schlicker Bach im Stubaital entwickelte sich so eine Kleineisenindustrie, deren Produkte Alpensportlern unter dem Markenzeichen "Stubai" (Eispickel, Karabiner etc.) bekannt sind. Das erste Wasserrad, das auch elektrische Energie erzeugte, ging für eine Gleichstromanlage der Rauch-Mühle am Mühlauerbach in Innsbruck 1898 in Betrieb.

Unter „Kleinkraftwerken“ verstehen wir üblicherweise Anlagen mit einer Leistung von $< 10 \text{ MW}$ ($= 10.000 \text{ kW}$). Im internationalen Sprachgebrauch hat sich eine weitere Unterteilung durchgesetzt:

Small Hydro (<10 MW), mini Hydro (100-2000 kW), micro Hydro (< 100 kW) in manchen Ländern sind allerdings abweichende Grenzen üblich.

In Österreich bestehen etwa 1600 registrierte Wasserkraftwerke, davon liegen 92 % unter der 10 MW-Grenze. Allerdings beträgt die Jahreserzeugung der kleinen nur ca. 10 %.

In Tirol ist die Situation ähnlich: 282 Anlagen bzw. 94 % sind Kleinkraftwerke mit < 10 MW. Aber 82 % der Jahreserzeugung kommen aus den nur 19 Werken mit > 10 MW. „Elektrifizierungsanlagen“ von nur wenigen kW für Wochenendhäuschen, Jagdhütten etc. sind hierbei aber nicht vollständig erfaßt.

Unter den Kleinkraftwerken Österreichs machen die Tiroler 1/5 in der Anzahl aus, liefern aber durch die größeren ausnutzbaren Fallhöhen fast 1/3 der österreichischen Klein-KW-Erzeugung.

siehe Abb. 1: Wasserkraftwerke in Tirol

Grundsätzlich erfordern Kleinkraftwerke die gleichen Anlagenteile wie Großkraftwerke; sie haben aber im allgemeinen keinen Speicher und sind daher als Laufkraftwerke zu betrachten. Die Abmessungen der einzelnen Anlagenteile werden im wesentlichen von der Ausbauwassermenge bestimmt und können daher insbesondere bei kleinen Fallhöhen Größenordnungen wie bei größeren Kraftwerken erreichen. Im Gebirge ist aber - durch die meist größeren Fallhöhen - die Ausbauwassermenge bei Kleinkraftwerken < 3 m³/s. Der Triebwasserweg wird meist als eingeschüttete Rohrleitung (Rohrdurchmesser 400-900 mm) ausgebildet; Stollen werden erst bei Ausbauwassermengen von 3-5 m³/s oder bei besonders schwierigem Gelände in Erwägung gezogen.

Regionalgeologisch ergeben sich somit meist keine so „tiefschürfenden“ Erkenntnisse, wie z.B. bei größeren Staudämmen oder Tunnelbauten. Das tägliche Brot bei Planung und

baugelogeischer Projektbegleitung zeigt aber dennoch die ganze Palette baugelogeischer Arbeiten wie Trassenwahl, Ermittlung der Felstiefe, Materialeigenschaften, repräsentative Probennahme, kritische Zonen (instabile Hänge, größere Hanganschnitte, Feuchtzonen, Quellbeeinflussungen).

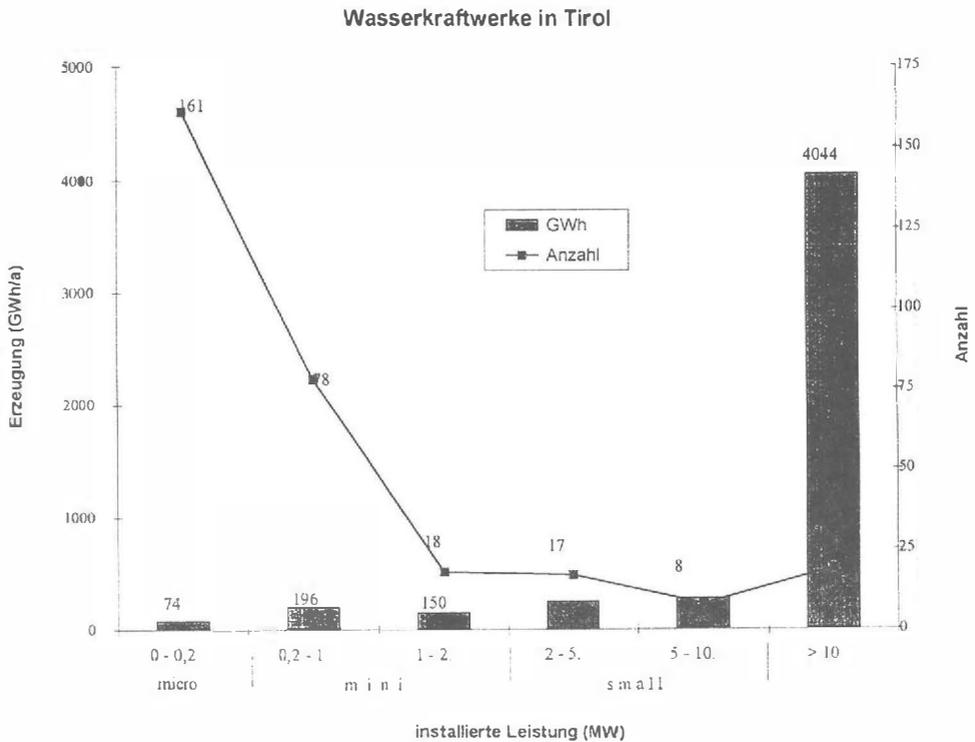


Abb. 1: Wasserkraftwerke in Tirol

An einigen Beispielen werden nachfolgend die geologischen Aufgaben bei Projektierung und Bau von Kleinkraftwerken in Tirol geschildert. Für die TIWAG als Landes-Energieversorger sind erst Projekte mit > 2 MW installierter Leistung interessant, Anlagen mit Leistungen von < 2 MW sind eher für private Nutzer von Interesse (Kleinindustrie, Private wie Hotels, Schutzhütten etc.).

In den letzten 12 Jahren hat die Tiwag fünf Klein-KW mit 2-4 MW Leistung gebaut (Tab. 1) sowie einige weitere Standorte untersucht.

Tabelle I. technische Daten der neuen TIWAG-Kleinkraftwerke

Anlage	Bezirk	Geolog. Einheit	Bauzeit	Fallhöhe (m)	Q (l/sec)	Leist. (MW)	Erzeugung (GWh/Jahr)
Urgbach	Landeck	Silvretta-Kristallin	1984-1986	604	550	2,6	16,5
Leibnitzbach	Lienz	Schober-Kristallin	1986-1988	735	350	2,1	11,1
Leiersbach	Imst	Ötztal-Kristallin	1988-1990	614	550	2,7	16,7
Sidanbach	Schwaz	Quarzphyllit Schieferhülle	1992-1994	734	750	4,4	25,0
Schmirnbach	Ibk.-Land	Schieferhülle	1995-1997	206	2200	3,6	19,3

2. Geologische Vorarbeiten für Kleinkraftwerke

Die geologischen Arbeiten beginnen, wie es der Ahnherr der Ingenieurgeologen Josef Stini formulierte, wie bei allen geologischen Arbeiten mit den „geologischen Vorerhebungen im Amte“ Wenn es gut läuft, beginnt das fast zeitgleich mit der Entwicklung der Projektidee, das heißt, der Geologe soll von Anfang an in die Planung eingebunden werden.

Die allgemeine geologische Karte (wenn überhaupt verfügbar) ist allerdings für so relativ kleinräumige Eingriffe in den Untergrund naturgemäß nur als geologische Übersicht verwendbar. Wenn man bedenkt, daß im Maßstab 1:50.000 ein mm in der Karte 50 m in der Natur entspricht, braucht man nichts mehr hinzufügen. Wenn man Glück hat, gibt es im Projektbereich Kratzspuren von Geologenhämmern, dargelegt in Form von Dissertationen, Diplomarbeiten oder sonstiger geologischer Tätigkeit (z.B. Wildbachverbauung, geologische Untersuchungen für Forstwege, Quellen, Seilbahnen etc.). Der direkt verwertbare Informationsgehalt ist durch andere spezifische Fragestellungen allerdings auch hier meist sehr gering.

Die erste Voraussetzung für die Vorarbeiten sowohl für den Projektanten, als auch für den Geologen ist bei jedem Kraftwerk natürlich eine gute topographische Karte, die aber in der Vorprojektszeit meist noch nicht zur Verfügung steht. Man muß sich daher für die ersten Übersichtbegehungen an eine auf 1:10.000 vergrößerte ÖK 25 halten.

Erste Hinweise geben bereits geomorphologische Unregelmäßigkeiten im Schichtenplan, eine geologische Luftbilddauswertung gibt noch vor der ersten Begehung Hinweise auf tektonische Linien, Hangbewegungen, Hanganrisse, Fclsverlauf, etc.

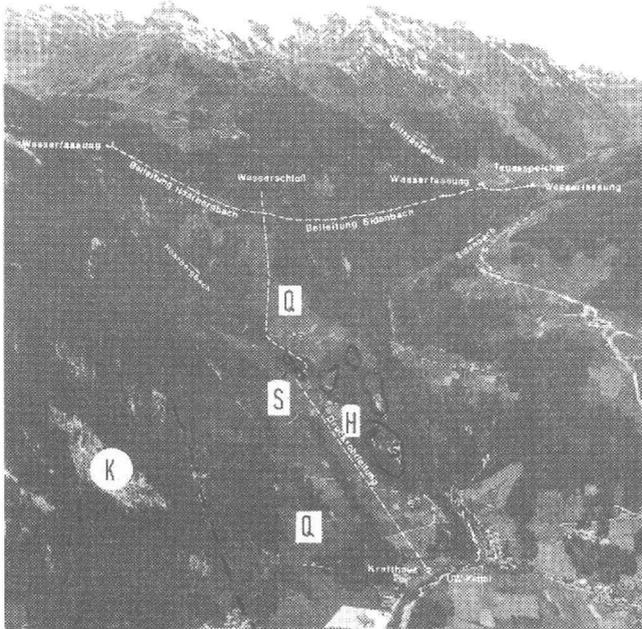
3. Fallbeispiele

KW Sidanbach

Der Sidanbach ist ein linker Zubringer zum Ziller knapp nördlich von Mayrhofen. An der Grenze der Tauern-Schieferhülle zum Innsbrucker Quarzphyllit gelegen, schwimmen hier einzelne tektonisch zerlegte Karbonatblöcke der Tarntaler Serie von mehreren Meterzehnern Durchmesser.

siehe Abb. 2: Projektübersicht Sidan

K–Karbonate der Schieferhülle, *Q*–Innsbrucker Quarzphyllit,
S=Karbonatschollen im Quarzphyllit, *H*=Hoarberg-Wasserfall



Dadurch existiert am Hoarbergbach - geologisch-tektonisch bedingt - ein Wasserfall an einer Karbonat-Steilstufe. Wegen dieses Wasserfalles zog sich das Wasserrechtsverfahren etwas in die Länge, bis sich dann (nach Verzicht einer Entnahme in den Sommermonaten) bei einer Volksabstimmung in der Gemeinde die Kraftwerks-Befürworter mit einer satten 2/3 - Mehrheit durchsetzten.

Die ersten Vorbegehungen und Kartierungen wurden (wie auch bei den anderen Projekten) mit einer Vergrößerung der ÖK 25 auf M=1:10.000 durchgeführt. Nach den behördlichen Vorverfahren und bei Festlegung des engeren Trassenbereiches gab es dann eine eigens ausgewertete Detailkarte im Maßstab 1:2000. Auf dieser konnte dann detailliert projiziert und geologisch kartiert werden.

Es zeigte sich, daß die Moränen- bzw. Hangschuttüberlagerung über weite Strecken der Rohrtrasse geringmächtig ist und die Rohrleitung über große Bereiche im Fels zu liegen kommt.

Der Tagesspeicher (ein eingegrabener Zylinder von 28 m Durchmesser und 12 m Höhe) wurde in umgelagertem Hangschutt- und Moränenmaterial gegründet. Das Sand-Kiesgemisch mit bis zu 20 % Schluffgehalt erlaubte durch den überwiegend trockenen Zustand des Materials eine steile Böschung. Zusätzlich wurde die Böschung durch große gelängte Gneis-Findlinge mit bis zu 7 m Kantenlänge auf natürliche Weise verdübelt. Dadurch konnte nicht nur die Aushub-Kubatur, sondern auch der Aufwand der Baugrubensicherung minimiert werden.

siehe Abb. 3: Tagesspeicher Sidan



Die Künette für die Beileitung Hoarbergbach wurde nach Fertigstellung der Zufahrt zur Wasserfassung mittels einer Grabenfräse aufgedrückt. Überwiegend konnte in weichem und blättrigen, aber in der Künette standfestem Quarzphyllit gefräst werden; dadurch war die Abrasivität des Gesteins sehr gering. Durch eingelagerte dm-m mächtige Quarzadern und -linsen wurde allerdings auf < 1 % der etwa 1 km langen Grabenstrecke gleich viel Werkzeugverschleiß festgestellt wie im übrigen Teil.

*siehe Abb. 4
Grabenfräse
Hoarberg-
Beileitung*

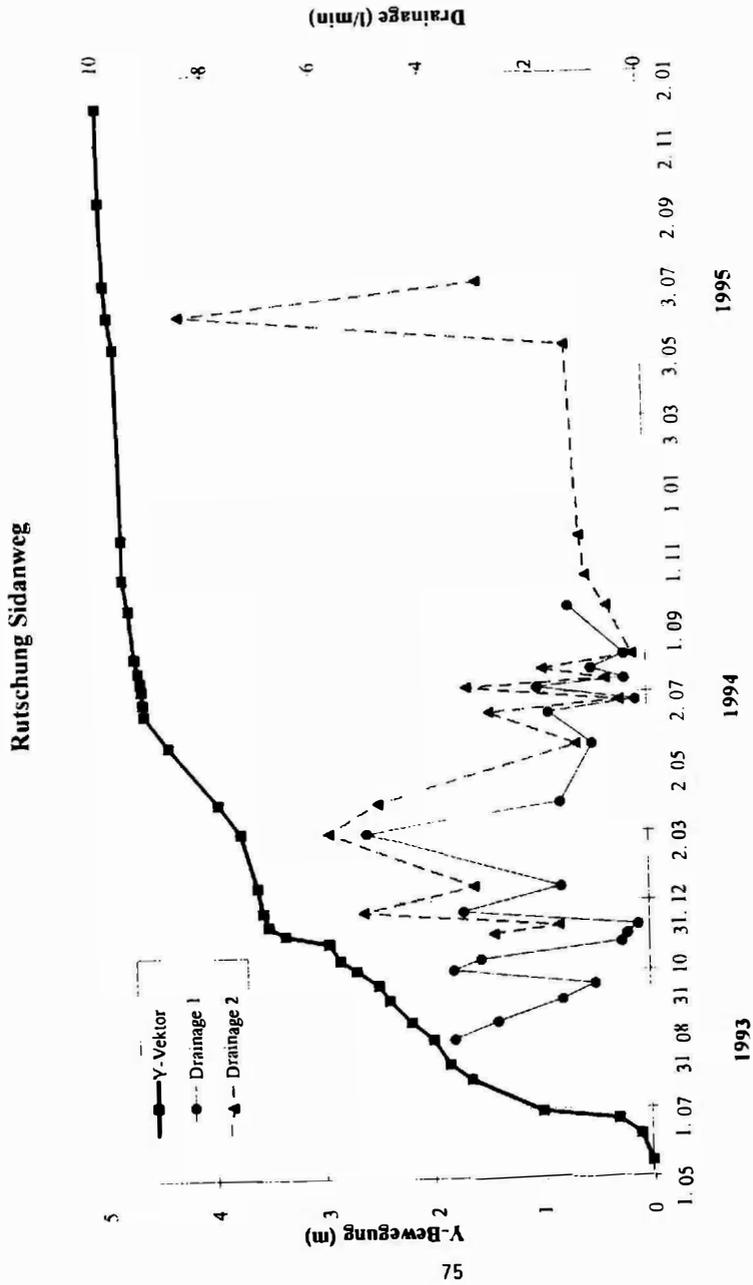


Im Bereich der Beileitung kam es unterhalb des Fahrweges durch Störungen im Hangwasserhaushalt zu Absackungen im Ausmaß von ca. 15.000 m³ (Mächtigkeit aufgrund von Schürfen und Seismik = 3 m).

Das in Bewegung geratene Material (überwiegend Sand und Kies) hatte 35-50 % Schluff mit nahezu fehlendem Tonanteil. Die Rohrleitung selbst liegt hier in Fels. Entwässerungen erfolgten als Drainagen mit Vlies und Grobsteinfüllung.

Erst nach langsamem Entwässern klangen die Bewegungen aus.

siehe Abb. 5: Hangbewegungen Sidan (Ausschnitt Ganglinie)



KW Urgbach

Der Urgbach ist ein linksufriger Zubringer des Inns südlich von Landeck. Hier bestand seit 1924 ein altes Kleinst-KW mit 80 KW Leistung. Wiederholte Felsabbrüche in der engen Schlucht aus Gneisen und Glimmerschiefern des Silvrettakristallins beschädigten die freiliegende Rohrleitung, die provisorisch saniert wurde. Dabei wurden die neuen Rohre teilweise mit Steckeisen und Drahtseilen an den größten Felssturzböcken befestigt. Da eine Generalsanierung des Werkes oder umfangreiche Felsicherungsarbeiten unwirtschaftlich gewesen wären, projektirten wir Anfang der 80er Jahre eine neue Stufe mit 30 x größerer Leistung.

*siehe Abb. 6: Urgbach Übersicht Endzustand
(Man beachte die bereits teilweise zugewachsene Schneise)*

Die Hänge des Inntales zeigen in diesem Bereich ausgedehnte Hangbewegungen, sodaß von 1979-1983 die Talflanke im Projektbereich geodätisch vermessen wurde. Glücklicherweise sind diese Hangbewegungen auf die orographisch linke Bachseite konzentriert und im Abschnitt des Kraftabstieges keine rezenten Bewegungen festzustellen. Die Rohrleitungstrasse - zum Teil in einem bestehenden Forstweg verlegt - war dann auch ziemlich problemlos. Im Bereich der Fassung bestand ausgedehnte Moränenüberlagerung mit Rutschungsarissen. Diese sind z.T erst nach umfangreichen Abholzungen nach einer riesigen Staublawine entstanden (in den alten Luftbildern von 1971 war hier noch alles bewaldet).

siehe Abb. 7: Rutschhang Bereich Wasserfassung mit Entsander

Abb. 6



Abb. 7



An Voruntersuchungen wurden nach der Kartierung durchgeführt: Schürfe, Schlagpegel (zur Beobachtung des Hangwasserspiegels), Materialentnahmen, Laborprüfungen, Geoelektrik und eine geotechnische Stabilitätsanalyse.

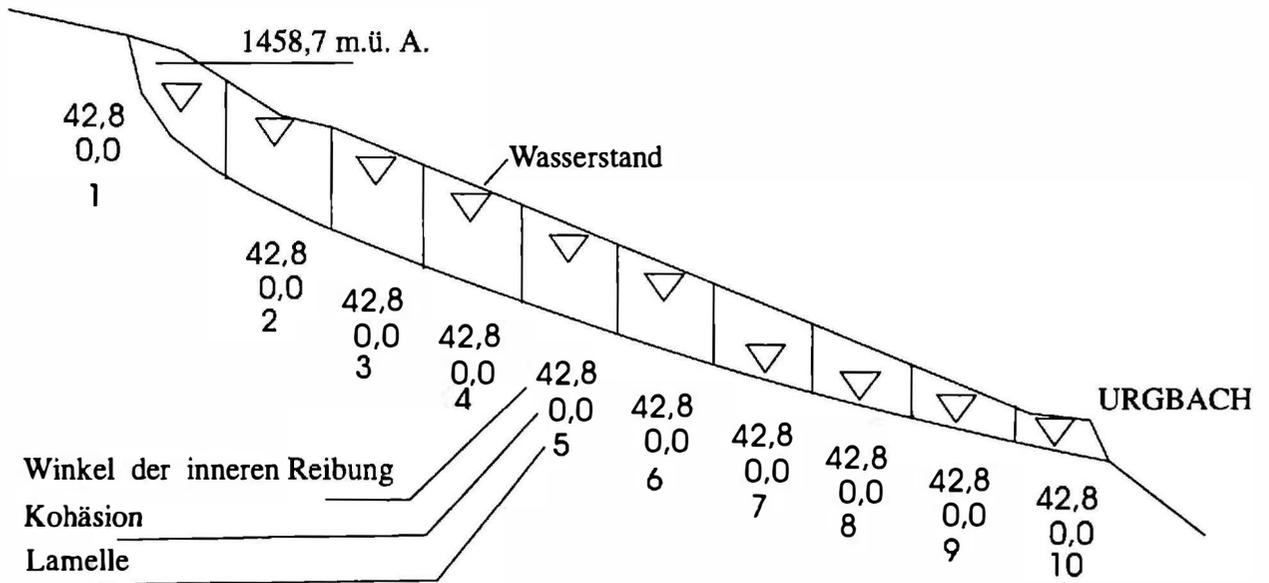
Das Ausgangsgestein für die Lockermassen sind Glimmerschiefer und Gneise des Silvrettakristallins. Der Schluffanteil ist hoch, damit auch die Wasserempfindlichkeit. Geotechnisch definiert handelt es sich um Kies-Schluff-Gemische mit einem Reibungswinkel $\Psi = 35-43^\circ$, Hangwasserspiegel -1 bis -2 m unter GOK und einem spezifischen elektrischen Widerstand von 200-400 Ωm .

Es stellte sich nun die Frage, wie weit der Hang einen temporären Anschnitt von bis zu 5 m Höhe für die Errichtung der Entsanderkammer verträgt, wobei die Sohlschwellen zur Erosionsverminderung eine stabilisierende Maßnahme darstellen.

Unter Berücksichtigung der geoelektrisch und durch die Schlagpegel gefundenen Randbedingungen wurden Gleitkreise gerechnet, wobei der bestehende Zustand als Sicherheit 1 angenommen wurde.

In Parameterstudien des Ingenieurbüros für Geotechnik Dr. Tropper wurde nachgewiesen, daß sich bei Drainagierung des Hanges 20 m bergwärts des Einschnittes durch die Absenkung des Hangwasserspiegels die Standsicherheit um ca. 20 % erhöht. Zum Aushub der Drainagen war ein 60 m langer Bauhilfsweg erforderlich, welcher wegen des bindigen Bodens und der während der Errichtung fallenden, starken Niederschläge ebenfalls mit Vlies und Frostkoffermaterial gesichert werden mußte.

siehe Abb. 8: Gleitkreisuntersuchung



TIWAG/KW URGBACH
ANHEBUNG DER STANDSICHERHEIT DURCH ENTWÄSSERN
(20m) PROFIL 3

Der Hangwasserspiegel ist unterhalb der Drainagen im Laufe des ersten Monats bereits um 2 m gesunken, obwohl die Schüttung (ohne Niederschlagseinfluß) nur etwa 0,02 l/s betrug.

Wie empfindlich das Material ohne Drainage reagiert, zeigte der Einfluß des stark verregneten September 1984 am weniger hohen Einschnitt zur Errichtung der Wehrschwelle, wo kurz vor der Betonierung 100-150 m³ von der linken Aushubböschung in die Grube nachrutschten. Daraufhin wurden auch hier zusätzliche Drainagen errichtet.

Ansonsten konnten die Aushubarbeiten wie vorgesehen ausgeführt werden.

Nach Inbetriebnahme traten in den Sommermonaten 1986 und 1987 oberhalb der Bachfassung starke Vermurungen auf, welche dort auch alte, bereits verwachsene Hanganrisse wieder freilegten und dadurch den Geschiebeanfall stark erhöhten, was wiederum zu einem hohem Laufradverschleiß der Turbine führte.

Daher wurde 1990/91 zusätzlich noch ein Absetzbecken in Form eines eingeschütteten Stahlbetonzylinders von 23 m lichtigem Durchmesser und einer lichten Höhe von 11m errichtet; das Nutzvolumen beträgt etwa 4000 m³, das auch als Tagesspeicher genutzt wird. Im Winter kann damit eine Umlagerung der Stromerzeugung von der Nieder- in die Hochtarifzeit erfolgen.

Der Speicher liegt bereits außerhalb des eigentlichen Rutschhang-Bereiches.

An Voruntersuchungen lagen vor: Materialkennwerte vom Bau des Entsanders sowie zusätzliche seismische und geoelektrische Profile. Die Seismik zeigte, daß ab einer Tiefe von 3-5 m Laufzeiten von 1500-2000 m/s auftraten, welche auf dichter gelagerte Moräne schließen ließen, wovon wir uns eine halbwegs standfeste Böschung versprochen.

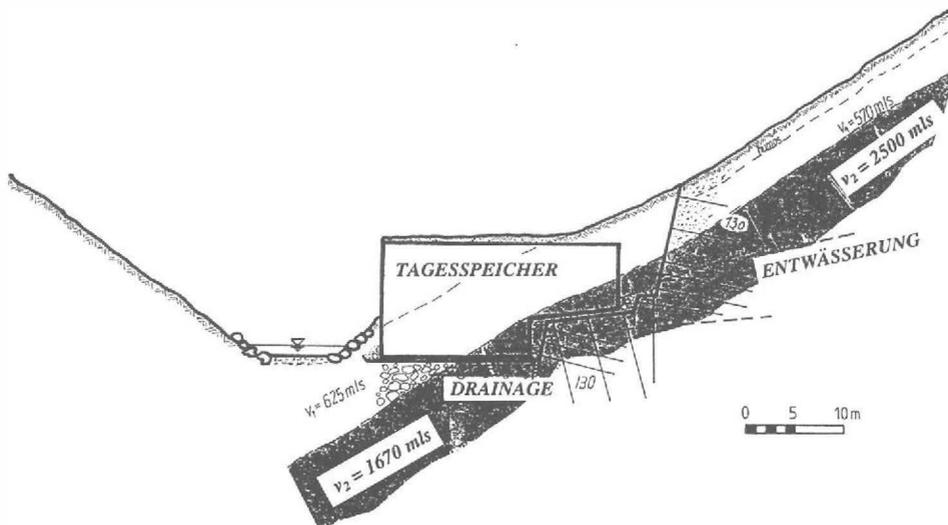
Die Baugrubenböschung von 16 m Höhe in feuchtem Moränenmaterial mit feinkörniger Matrix verlangte besondere

Aufmerksamkeit. Ursprünglich waren vorgespannte Stabanker von 6-9 m Länge vorgesehen.

Der Aushub erfolgte in durchfeuchtem Moränenmaterial (bodenmechanisch als Kies-Schluff-Gemische mit eingelagerten Steinen und Blöcken anzusprechen). Der Feinkornanteil $< 0.063 \text{ mm}$ betrug knapp 10 %. Das zudringende Wasser wurde abgeleitet.

Ab der Mitte des Aushubes traten Gesamt-Verformungen der Aushubböschung von bis zu 40 cm auf, wobei die maximale Geschwindigkeit etwa 6 mm /Tag betrug. Die Bewegungen umfaßten die ganze Aushubwand, Risse im Torkret waren nicht festzustellen.

siehe Abb. 9: Profil Tagesspeicher



Die Bewegungen wurden anfangs wöchentlich, später in größeren Zeitabschnitten gemessen.

Aufgrund der Hangbewegungen wurden folgende Maßnahmen getroffen:

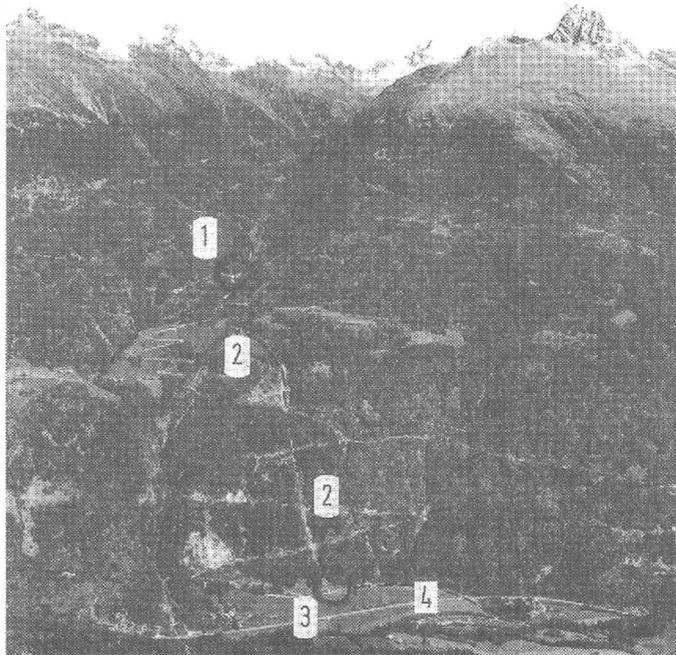
- Abrücken 2 m Richtung Bach
- Errichtung einer Berme in der Böschung
- Eine Abtreppung im Sohlbereich
- zusätzliche Ankerungen (dichter und länger $l=10\text{ m}$)
- Entwässerungsröhre $l=20\text{ m}$, Schüttung max. $0,9\text{ l/s}$

Noch vor der Hinterfüllung sind die Bewegungen abgeklungen.

KW Leibnitzbach

Abb. 10 Leibnitzbach Projektübersicht

- 1= Wasserfassung,*
- 2= Rohrleitung,*
- 3= Krafthaus,*
- 4= UW-Kanal*
(tw. überdeckt)



Geologische Position: Deferegger Kristallin (Schiefergneise und Glimmerschiefer). Es konnte eine natürliche Schneise im Wald genutzt werden, welche von der Holzbringung stammte. Die Gesteine waren tiefgründig verwittert, an der Oberfläche befand sich grobes Blockwerk oder „Anstehendes Blockwerk“ im Sinne von G. HORNINGER, welches aber fast durchwegs reißbar war. Eine schwierige Strecke war die Querung einer Felsstufe, welche aber mit zurückgehängtem Schreitbagger gemeistert werden konnte.

Bei diesem Projekt zeigte es sich, daß die "Findlings"-Definition nach ÖNORM B 2205 nicht praktikabel ist. Dort werden als Findlinge Blöcke mit $> 0,1 \text{ m}^3$ definiert, was einer Kantenlänge von 46 cm entspricht. Größere Findlinge müßten nach ÖNORM als Bodenklasse 7 (Sprengfels bzw. schwerer Fels) abgerechnet werden.

Abb. 11: Blockwerk mit Schreitbagger



Man muß aber auch die Arbeitsweise berücksichtigen (wie es schon SCHWINGENSCHLÖGL & ROCKENSCHAUB 1990 gefordert haben). In unserer Definition haben wir daher Blöcke definiert, bei denen der Arbeitsvorgang unterbrochen werden muß und angebohrt sowie gesprengt werden muß. Das kann bei einem kleinen Bagger und 50 cm Grabenbreite (z.B. ein Schreitbagger) tatsächlich bei den ÖN-gemäßen $0,1 \text{ m}^3$ sein, bei einem stärkeren Bagger und 1 m Grabenbreite können das auch Blöcke mit $0,5 \text{ m}^3$ sein, die mit dem Bagger ohne weiteres entfernt werden können. Noch extremer wäre das in einer Hangböschung, wo mit einem starken Großlöfflbagger auch Blöcke von nahezu 1 m^3 geborgen werden können und noch nicht gesprengt werden muß.

Es ist zu hoffen, daß bei der Neufassung dieser ÖNORM (z.Zt. in Arbeit) diese Problematik berücksichtigt wird.

Beim Leibnitzbachkraftwerk wäre als Besonderheit noch zu erwähnen, daß mit der Rohrleitung für unser KW auch eine Druckleitung für ein Trinkwasser-Kraftwerk der Gemeinde (15 l/s) mitverlegt wurde. Dieses erzeugt mit ca. 80 kW immerhin genug für Beleuchtung und Beheizung des Gemeindehauses und des Kindergartens. Das Trinkwasser geht nach der Turbine in die Gemeindewasserleitung.

Für die Fundierung der nicht sehr tief (um die 5 m) gegründeten Krafthäuser genügten übrigens als Sondierungen zumeist Schürfschlitze oder Felsfreilegungen.

KW Schmirn

siehe Abb. 12: Übersicht KW Schmirn



PROJEKT KW - SCHMIRNBACH

Fallhöhe:	206 Meter
Ausbauwassermenge:	2.200 Liter pro Sekunde
Ausbauleistung:	3,6 Megawatt
Regeljahreserzeugung:	19,3 Gigawattstunden (GWh), davon im Winter 5,5 GWh (28,5 %) im Sommer 13,8 GWh (71,5 %)

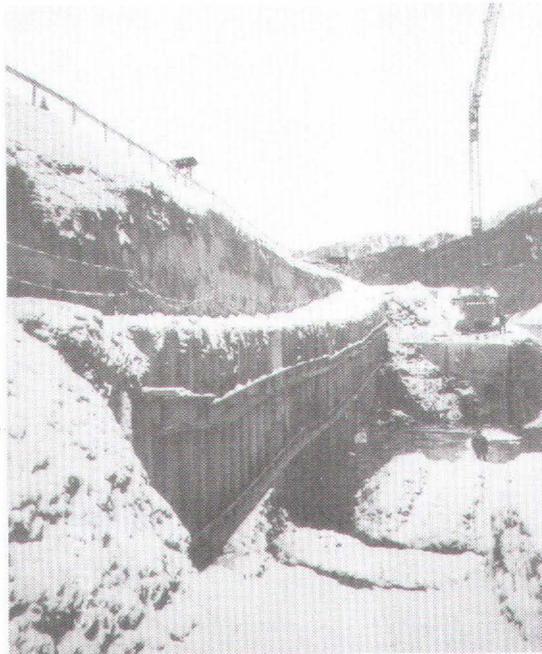
Unser jüngstes Kind befindet sich zur Zeit im Bau. Der Schmirnbach, ein Seitenzubringer der Sill knapp nördlich des Brenners entwässert die NW-Flanke des Opperers, die aus Kalkglimmerschiefern und Phylliten der Tauern-Schieferhülle besteht. Der markante Gipfel des Opperers selbst besteht bereits aus Granitgneisen.

Ursprünglich war eine einfache Sicherung der 10 m tiefen Baugrube mittels Ibo-Alluvialankern und Torkret vorgesehen. Nachdem aber aufgrund der beengten Lage keine Variationsmöglichkeit in Bezug auf Böschungsneigung oder Lage der Fassung bestand, gingen wir auf Nummer sicher, teuften 2 Bohrungen ab und vermaßen 3 seismische Profile. Danach war standfester bzw. ankerfähiger Fels erst in größerer Tiefe zu erwarten.

Der wassergesättigte Hangschutt aus Kalk-Phyllit, mitteldicht gelagert, brachte es aber im Labor nur auf einen Reibungswinkel von 28°. Daher planten wir als Baugrubensicherung eine verankerte Bohrpfehlwand, wobei als angenehmer Nebeneffekt etagenweise eine Entwässerung durch die Ankerlöcher erfolgte.

Abb. 13:
Wasserfassung
Schmirn

Zu Anfang 1996 war der Zustand wie in Abb.13 erreicht und die Betonierarbeiten für Wehr und Entsander konnten beginnen



4. Ausblick

Über die geologischen Fragestellungen hinaus gibt es natürlich eine Fülle von technischen, ökologischen und energiewirtschaftlichen Details, wovon zur Einpassung in ein Gesamtbild ein paar erwähnt seien:

- Die Verlegung von Gußrohren ermöglichen die hangschonende Auf-Zu-Methode: Es wird der Rohrgraben nur für 2 Rohre geöffnet und anschließend gleich wieder hinterfüllt. Dadurch sind nur kurze Abschnitte und über einen kurzen Zeitraum geöffnet was bei Hanganschnitten der Hangstabilität entgegenkommt. Außerdem sind die Gußrohre nicht so empfindlich auf die Qualität des Hinterfüllungsmaterials.
- Bei allfälligen Hangbewegungen haben die Rohre außerdem in jeder Muffe Bewegungsmöglichkeiten von einigen mm in der Längsrichtung und eine Abwinkelung von 1 bis 2 Grad.
- Kleinkraftwerke wie die hier erwähnten stoßen auch auf große Akzeptanz sowohl bei der Bevölkerung als auch bei den Behörden. Die Entnahmestrecken sind in Schluchtstrecken, welche die Steilabfälle der Seitenbäche zum Haupttal überwinden. Diese sind zumeist kaum einsehbar, es gibt kaum Probleme mit der Fischerei, dennoch wird überall ein mit den limnologischen Gutachten abgestimmtes Restwasser abgegeben.
- Bei einigen Projekten konnten die Rohrverlegungsarbeiten mit der Verlegung von Trink- oder Abwasserleitungen für die betroffenen Gemeinden kombiniert werden.
- Die Zufahrtswege sind sehr kurz, durch das dichte Forstwegenetz in Tirol (mehrere 1000 km !!) müssen für ein Projekt nur Adaptierungen an den bestehenden Forstwegen erfolgen und nur wenige 100 m müssen neu angelegt werden.
- Die Dimension der Krafthäuser entspricht etwa der von 2-Familienhäusern.
- Die Rohrleitungstrassen - so nicht in bestehenden Wegen - werden begrünt, durch die spätere Vergrößerung der Baumkronen wird die Schneise etwas verschmälert und ist nur mehr für das geübte Auge und nur aus bestimmten Perspektiven erkennbar.

Selbstverständlich sind im Laufe der Planung und der Bauausführung noch jede Menge von kleineren und mittleren Problemen zu lösen; jede Baumaßnahme ist nämlich eine weitere Sondierung, welche die Kenntnis über den Untergrund erweitert. Optimal läuft es, wenn ein ständiger Kontakt des Baugeologen mit dem Projektanten vom Beginn an stattfindet - da ja oft kurzfristig Entscheidungen getroffen werden müssen. Dieser ständige Austausch ist auch bei Kleinkraftwerken zweckmäßig.

5. Literatur

ÖNORM (1985) B 2205: Erdarbeiten, Werksvertragsnorm (neue Version in Arbeit).

ÖWAV (1990): Umweltbeziehungen der Wasserkraftnutzung im Gebirge Teil 1 (Umweltaspekte, Wasserfassungen, Entnahmestrecken). Schr.Reihe ÖWAV, H. 80, 128 Seiten, Wien.

ÖWAV (1992): Umweltbeziehungen der Wasserkraftnutzung im Gebirge Teil 2 (Talsperren, Wasserweg, Krafthäuser, Ökologie bei Bauausführung, Kleinkraftwerke). Schr.Reihe ÖWAV, H. 87 140 Seiten, Wien.

SCHWINGENSCHLÖGL, R. & ROCKENSCHAUB, M. (1990) Ingenieurgeologische Charakteristika zur Felsklassifizierung. Straßenforschung, H. 380, 196 pp., BM f. Wirtschaftl. Angelegenheiten, Wien.

SOMMER, N. (1994): TIWAG-Kleinkraftwerk Sidan im Zillertal vor Fertigstellung. - VEÖ-Journal Nr. 5/1994, pp. 41-49.

TROPPEL, W (1985): Neue geotechnische Gesichtspunkte bei der Beurteilung der Standsicherheit von Hängen aufgrund EDV-mäßiger Parameterstudien - Geotechnik 1985/1, pp. 2 - 7.

Autor:

Dr. Ewald TENTSCHERT

TIWAG Tiroler Wasserkraftwerke AG

A-6010 Innsbruck, Ed.- Wallnöferplatz 2

TUNNEL JUAN PABLO II

Variantenstudien für einen Tunnel durch die Anden zwischen Argentinien und Chile

A. FASCHING

1. PROJEKTSÜBERBLICK

Die in den letzten Jahren ständig wachsende politische und wirtschaftliche Zusammenarbeit zwischen Chile und Argentinien erfordert die Errichtung eines ozeanverbindenden Verkehrskorridors mit Querung der Anden. Eine Verkehrsverbindung mit gesichert ganzjährigem Betrieb kann aufgrund äußerst schwieriger morphologischer und klimatischer Bedingungen nur durch einen Basistunnel erzielt werden.

Im gegenständlichen Untersuchungsgebiet, das im Bereich der wichtigsten Straßenverbindung zwischen Buenos Aires Mendoza (Argentinien) und Los Andes Santiago de Chile (Chile) liegt, ergeben sich aufgrund topographischer und verkehrslogistischer Bedingungen Tunnellängen zwischen 23,5 km und 28,0 km. Das Projektgebiet mit dem Verlauf der Trassenvarianten ist in Abbildung I dargestellt.

Inhalte der Machbarkeitsstudie waren:

- Verkehrstromanalyse von insgesamt fünf bestehenden Andenquerungen
- Ingenieurgeologisch geotechnische Untersuchungen und Trassenvariantenvergleich
- Technischer Trassenvariantenvergleich
- Bewertung von Betriebssystemen
- Bewertung von Ausbruchsverfahren
- Schätzung der Bauzeit, Baukosten und Gesamtkosten.

2. INGENIEURGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Für die Beurteilung der ingenieurgeologischen Verhältnisse im Projektgebiet wurden folgende Untersuchungsschritte durchgeführt:

Literaturstudium:

Auswertung von Fachliteratur und Publikationen über das Untersuchungsgebiet sowie über projektspezifische Spezialthemen.

- Stereoskopisches Luftbildstudium und Auswertung:
Stereoskopische Auswertung von Luftbildpaaren im Maßstab 1 : 20 000 zur Erfassung von tektonischen Großstrukturen, Abgrenzung von markanten lithologischen Einheiten und zur Vorbereitung der Geländebegehungen.
- Geländebegehungen:
Übersichtsbegehungen im 300 km² großen Projektgebiet zur Charakterisierung und Abgrenzung von Bereichen mit vergleichbaren ingenieurgeologischen Eigenschaften, Überprüfung von Erkenntnissen und Informationen aus dem Literaturstudium und der Luftbildauswertung im Gelände. Ergänzende Untersuchungen bezüglich tektonischer Strukturen und hydrogeologischer Verhältnisse.
- Auswertung der Luftbilder mit photogrammetrischen Methoden:
Flächenhafte computerunterstützte geomorphologische Auswertung von Luftbildpaaren im Maßstab 1 : 10 000 zur Ermittlung von Strukturdichteverteilungen und Hauptstrukturorientierungen.
- Ausarbeitung einer ingenieurgeologischen Karte:
Kompilierung der Informationen aus Literaturstudium, stereoskopischer und photogrammetrischer Luftbildanalyse und Geländebegehungen in einer ingenieurgeologischen Karte des Projektgebietes im Maßstab 1 : 25 000.
Ergänzende Auswertung der geomorphologischen Daten in Form von Strukturdichte- und Strukturorientierungskarten.
- Ingenieurgeologische Beurteilung von Tunneltrassenvarianten:
Abgrenzung von ingenieurgeologischen Beurteilungskriterien für den Bau von Tunnelbauwerken im Projektgebiet. Vergleichende Bewertung von Trassenvarianten zur Ermittlung der ingenieurgeologisch günstigsten Linie.

2.1. Genereller geologischer Überblick

Im untersuchten Bereich zwischen Puente del Inca (Argentinien) und Juncal (Chile) treten hauptsächlich terrestrische sowie marine Sedimentgesteine (Siltsteine, Sandsteine, Konglomerate, Karbonate), Evaporite, Vulkanoklastika, Vulkanite sowie untergeordnet Intrusionsgesteine (Granitoide, Granodiorite, vulkanische Dykes) auf.

Stratigraphisch liegen auf dem präjurassischem Grundgebirge (Formation Alto Tupungato) mesozoische Gesteine der Formationen La Manga, Auquilco, Tordillo, Gesteine der Mendozagruppe, sowie Gesteine der Formationen Cristo Retendor und Juncal.

Regional herrscht ein Nord Süd streichender, gegen Westen einfallender tektonischer Schuppenbau vor. Dadurch treten die ältesten Gesteinseinheiten (Fo. Alto Tupungato) im Osten auf, die jüngsten Festgesteine (Fo. Juncal) dominieren den Gesteinsbestand im Westen. Lokal treten zusätzlich Verfaltungen und Verstellungen auf, die einen komplexen geologischen Internaufbau im Bereich des Andenhauptkammes bedingen.

Strukturgeologisch charakterisiert wird das Untersuchungsgebiet von der, gegen Westen geneigten Schichtung, wobei sich der Einfallswinkel von Ost ($\sim 30^\circ$) gegen West (bis 90°) hin versteilt. Durch eine Ost-West gerichtete Einengungstektonik wurden die Gesteinsserien schuppenförmig zusammengeschoben, wobei die Evaporitgesteine der Fo. Auquilco (Anhydrite, Gipse, möglicherweise auch Salz) als Gleithorizont wirkten. Der dadurch entstandene "Thrust Fault Belt" stellt eine mehrmalige, zum Großteil unvollständige Wiederholung der Gesteinsformationen dar.

Zu diesen, hauptsächlich Nord-Süd verlaufenden "Thrust Faults" kommen als Elemente eines zweiten tektonischen Systems Ost-West streichende Abschiebungen ("Dip-Slip Faults"). Diesen Zonen folgen vor allem das Haupttal des Rio de Las Cuevas zwischen Las Cuevas und dem Zusammenfluß mit dem Rio Tupungato sowie Abschnitte des Tales des Rio Juncal.

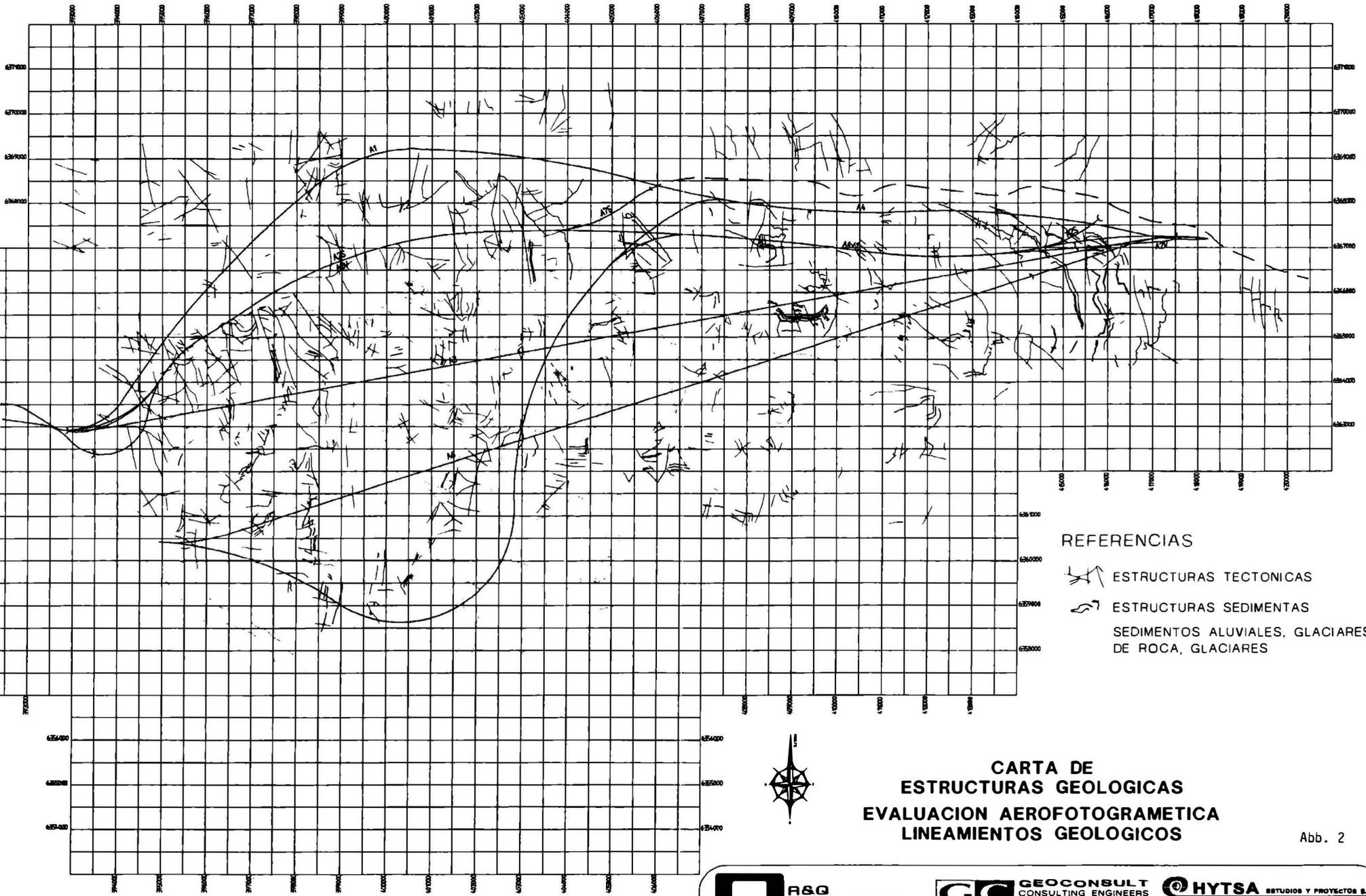
2.2. Ergebnisse der Luftbildanalyse

In einer computerunterstützten Auswertung der Luftbilder, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fernerkundung, Bildverarbeitung und Kartographie an der Technischen Universität Graz erfolgte, wurde eine flächendeckende geomorphologische Untersuchung des Projektgebietes im Maßstab ca. 1 : 10 000 durchgeführt.

Strukturmorphologische Phänomene (Photolineamente) wurden in dieser Analyse genau in ihrer Lage und Erstreckung erfaßt. Aufbauend auf diese Untersuchung wurde eine Strukturdichteanalyse und eine Analyse von Strukturorientierungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellt.

Das Ergebnis der Strukturdichteanalyse, welche die Häufigkeit von Photolineamenten pro Auszählfläche (Quadrate mit 500 m Seitenlänge) erfaßt hat, zeigt, daß sich Bereiche mit sehr festen bis festen Gesteinen deutlich durch höhere Strukturdichtekonzentrationen abgrenzen lassen.

Die Auswertung der Strukturorientierungen erfolgte durch das Messen der Streichrichtung jedes Photolineamentes und das Erfassen von Bereichen mit unterscheidbaren Orientierungsverteilungen. Die Abgrenzung von insgesamt 11 unterscheidbaren Orientierungsverteilungen (Sektor A - Sektor K) erfolgte im allgemeinen entlang von tektonischen Großstrukturen. Zwei Hauptorientierungen mit generellen N - S und E - W Streichrichtungen wurden festgestellt. Diese stimmen mit der Orientierung der regionalen tektonischen Großstrukturen überein. Zwischen den einzelnen Bereichen wurden Unterschiede in der Dominanz der beiden Hauptorientierungen sowie Unterschiede in der Ausrichtung der generell N - S streichenden Strukturen beobachtet. E - W streichende Strukturen zeigen nur geringe Orientierungsunterschiede. Die Ursachen für die Unterschiede sind im Rahmen der nächsten Untersuchungsschritte zu erkunden.



REFERENCIAS

- ESTRUCTURAS TECTONICAS
- ESTRUCTURAS SEDIMENTAS
- SEDIMENTOS ALUVIALES, GLACIARES DE ROCA, GLACIARES

CARTA DE
ESTRUCTURAS GEOLOGICAS
EVALUACION AEROFOTOGRAMETICA
LINEAMIENTOS GEOLOGICOS

Abb. 2



R&G
INGENIERIA LTDA.
SANTIAGO - CHILE

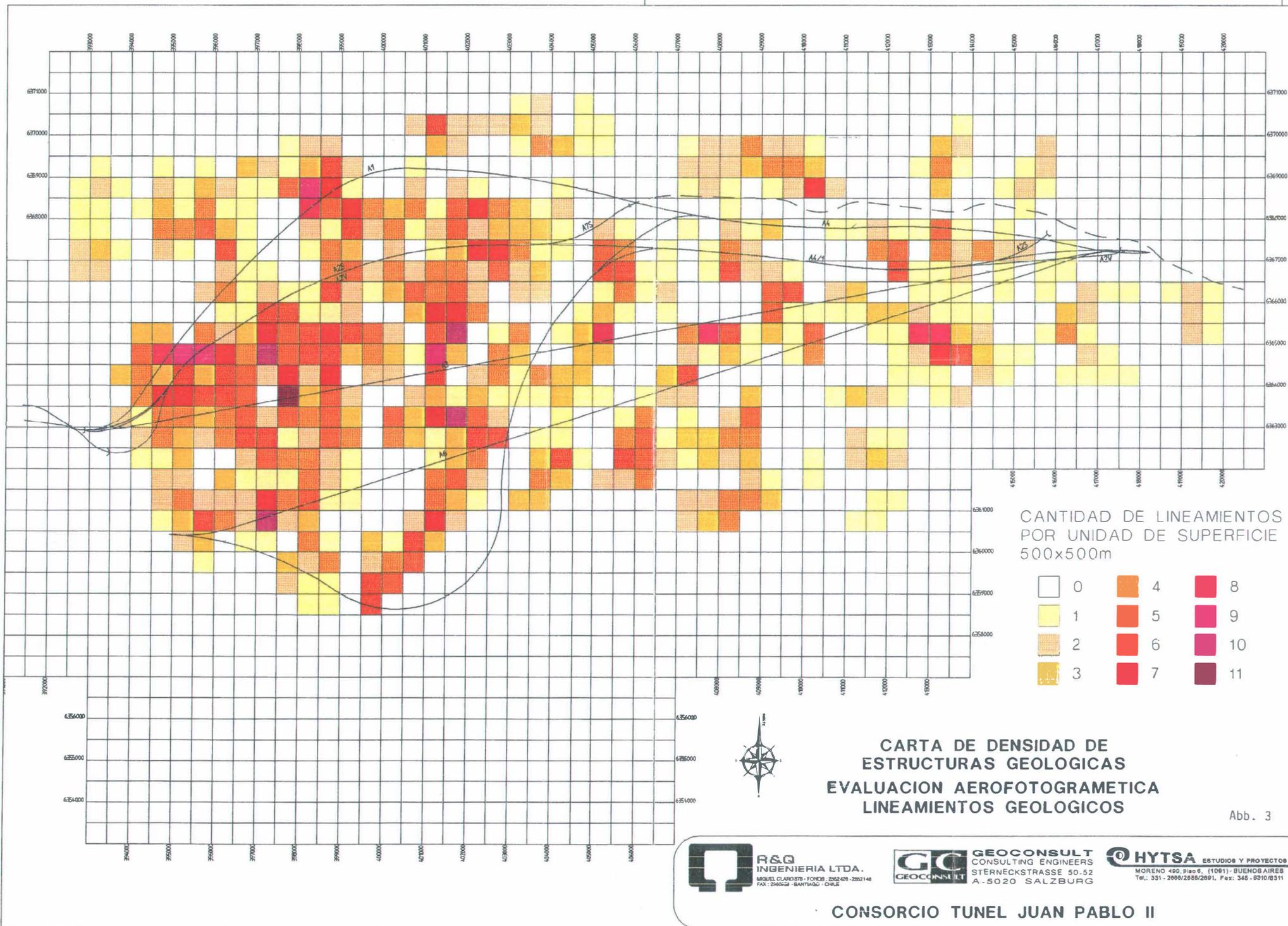


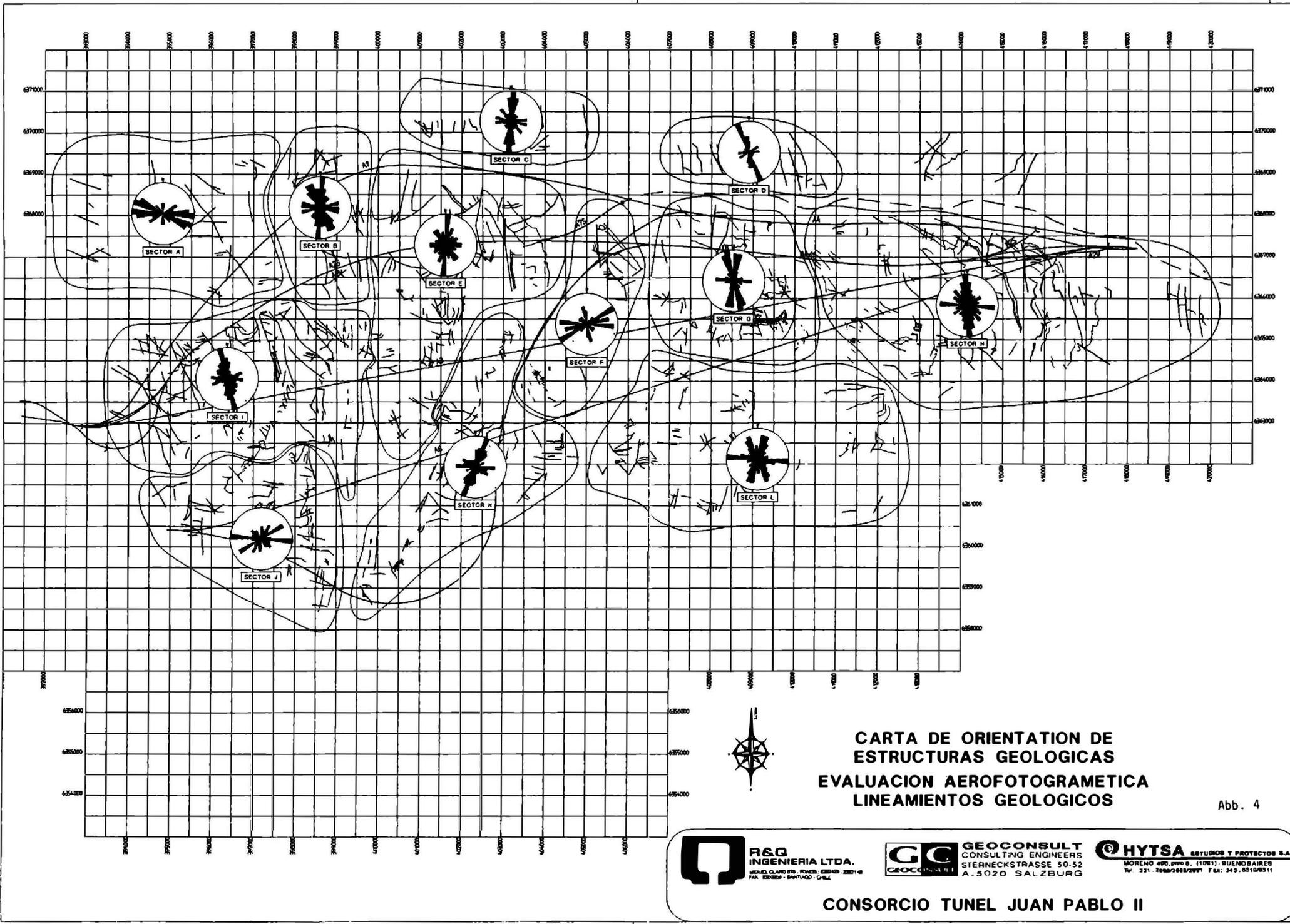
GEOCONSULT
CONSULTING ENGINEERS
STERNECKSTRASSE 50-52
A-5020 SALZBURG



HYTSA ESTUDIOS Y PROYECTORIA S.A.
MORENO 480, piso 6, (1061) BUENOS AIRES
Tel.: 531-2944/2988/2981, Fax: 545-6910/9311

CONSORCIO TUNEL JUAN PABLO II





**CARTA DE ORIENTACION DE
ESTRUCTURAS GEOLOGICAS
EVALUACION AEROFOTOGRAMETICA
LINEAMIENTOS GEOLOGICOS**

Abb. 4

R&G INGENIERIA LTDA.
AV. BELLA VISTA 175 - PUNTO 100 - MONTEVIDEO - URUGUAY

GC GEOCONSULT
CONSULTING ENGINEERS
 STERNBECKSTRASSE 50-52
 A-5020 SALZBURG

HYTSA ESTUDIOS Y PROYECTOS S.A.
MORENO 490, PUNTO 9. (10811) - BUENOS AIRES
 Tel: 351.7000/2000/2001 Fax: 343.6510/0511

CONSORCIO TUNEL JUAN PABLO II

2.3. Erkenntnisse aus den Geländebegehungen

Im Zeitraum vom 9. März 1995 bis 5. April 1995 wurden im Projektgebiet (ca. 300 km²) Übersichtsbegehungen durchgeführt. Aufgrund des hochalpinen Geländecharakters konzentrierten sich diese Begehungen hauptsächlich auf den Bereich der Täler bzw. der Sattel- und Paßregionen (von 2.400 m SH bis 4.500 m SH).

Schwerpunkte während den Geländebegehungen waren die prinzipielle Erfassung, Charakterisierung und Abgrenzung von ingenieurgeologischen Einheiten und Risikofaktoren, die Identifikation bzw. Verifikation von Störungszonen im Gelände, sowie die Erfassung und Differenzierung von Quellgruppen.

Morphologisch wird der gesamte hochalpine Untersuchungsbereich durch eine glaziale Formung charakterisiert. Bei den Talformen handelt es sich durchwegs um Trogtäler. Seitentäler sind zum Teil als Hängetäler ausgebildet. Das Entwässerungsnetz der Haupttäler folgt im Allgemeinen dem großtektonischen System.

Die Talböden und Bergflanken sind mit z.T. mächtigen Lockergesteinskörpern bedeckt. In Hochlagen ab ca. 3.500 m Seehöhe sind sowohl in N - als auch in S - exponierten Tälern mächtige Schuttgletscher ausgebildet. In S - exponierten Bergflanken und Tälern reichen lokale Gletscher bis auf ca. 3.500 m herab.

Die Zuordnung der auftretenden Gesteinsarten, bzw. Gesteinsserien zu unterscheidbaren ingenieurgeologischen Einheiten erfolgte hauptsächlich nach der Gesteinsfestigkeit und den Hauptgefügemerkmalen.

Die vorkommenden Gesteine, bzw. Gesteinsserien wurden generell entsprechend ihren unterscheidbaren Festigkeitseigenschaften unterteilt. Die Angabe von Gesteinsfestigkeiten erfolgte aufgrund von Literaturangaben sowie Festigkeitsabschätzungen aufgrund von Feldmethoden [ISRM 1981].

Tabelle 1 Gruppierung der vorkommenden Gesteinsarten nach ihrer Gesteinsfestigkeit und Gefügemerkmalen

Festigkeitsbereiche	Einachsiale Druckfestigkeit [MPa]	Gesteinsarten	Hauptgefüge- merkmale
Sehr feste Gesteine	> 100	Vulkanite, Intrusivgesteine	massig bis bankig, gering und unregelmäßig geklüftet
Feste Gesteine	25 - 100	Vulkanoklastika, Konglomerate, Sandsteine	bankig, gering und regelmäßig geklüftet
Weiche Gesteine	5 - 25	Siltsteine, Grauwacken, Karbonatgesteine Tuffe	bankig, plattig bis dünnblättrig, mäßig bis stark und regelmäßig bis unregelmäßig geklüftet
Sehr weiche Gesteine	< 5	Evaporitgesteine (Gips, Anhydrit)	kein aktives Trenn- flächensystem ausgebildet

Aufgrund der speziellen geotechnischen Probleme für den Tunnelbau, die durch das Auftreten von Evaporitgesteinen (Gips, Anhydrit, möglicherweise Salz) im Projektgebiet bedingt werden, wurden evaporitgesteinsführende Gesteinsserien gesondert ausgeschieden. Ebenso wurden Bereiche, die durch tektonische Prozesse beeinflusst wurden (Hauptstörungszonen), getrennt dargestellt.

Entsprechend dem jetzigen Wissensstand und der Wechselhaftigkeit der Gesteinsserien mußten Vereinfachungen, bzw. Generalisierungen bei der Abgrenzung von ingenieurgeologischen Einheiten (Gebirgsbereiche) durchgeführt werden.

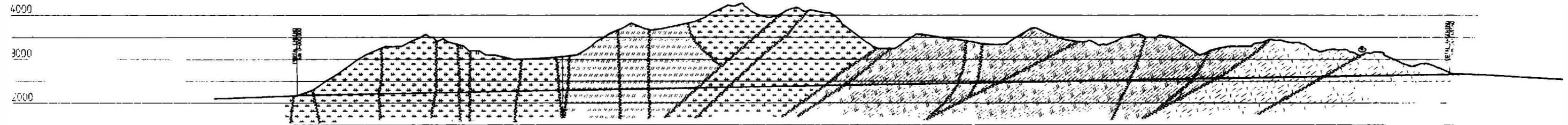
In Abbildung 5 sind die Gebirgsbereiche, die zur Erstellung der ingenieurgeologischen Karte und für die ingenieurgeologische Beurteilung der Tunneltrassenvarianten ermittelt wurden, zusammen mit einem schematischen ingenieurgeologischen Längenschnitt der Alternative A2V dargestellt.

Die Ergebnisse der Übersichtsbegehungen wurden in die ingenieurgeologische Karte (Abbildung 6) eingearbeitet.

ALTERNATIVE A2V

W
↔ LOS ANDES

E
MENDOZA ↔



REFERENCES

-  DOMINATING UNITS: 1, 2, 3, 4
SECONDARY UNITS: 6, 10
-  DOMINATING UNITS: 5, 9
SECONDARY UNITS: 1, 10
-  DOMINATING UNITS: 7, 8
SECONDARY UNITS: 4, 6, 10
-  DOMINATING UNITS: 4, 5, 6
SECONDARY UNITS: 10
-  FAULT ZONE
-  HYDROTHERMAL SPRING

ROCK MASS UNITS:

- UNIT 1: ROCK MASS DOMINATED BY VERY STRONG ROCK
- UNIT 2: ROCK MASS WITH HYDROTHERMAL ALTERATION OF PREDOMINATING VERY STRONG ROCK
- UNIT 3: ROCK MASS WITH HYDROTHERMALLY INFLUENCED VERY STRONG ROCK
- UNIT 4: ROCK MASS DOMINATED BY STRONG ROCK
- UNIT 5: ROCK MASS WITH ALTERATION OF STRONG AND WEAK ROCK
- UNIT 6: ROCK MASS DOMINATED BY WEAK ROCK
- UNIT 7: ROCK MASS DOMINATED BY EVAPORITIC ROCKS
- UNIT 8: ROCK MASS WITH ALTERATIONS OF EVAPORITIC ROCKS AND WEAK ROCK
- UNIT 9: ROCK MASS WITH INTERCALATIONS OF EVAPORITIC ROCKS WITHIN WEAK ROCK
- UNIT 10: ROCK MASS INFLUENCED BY FAULT ZONES

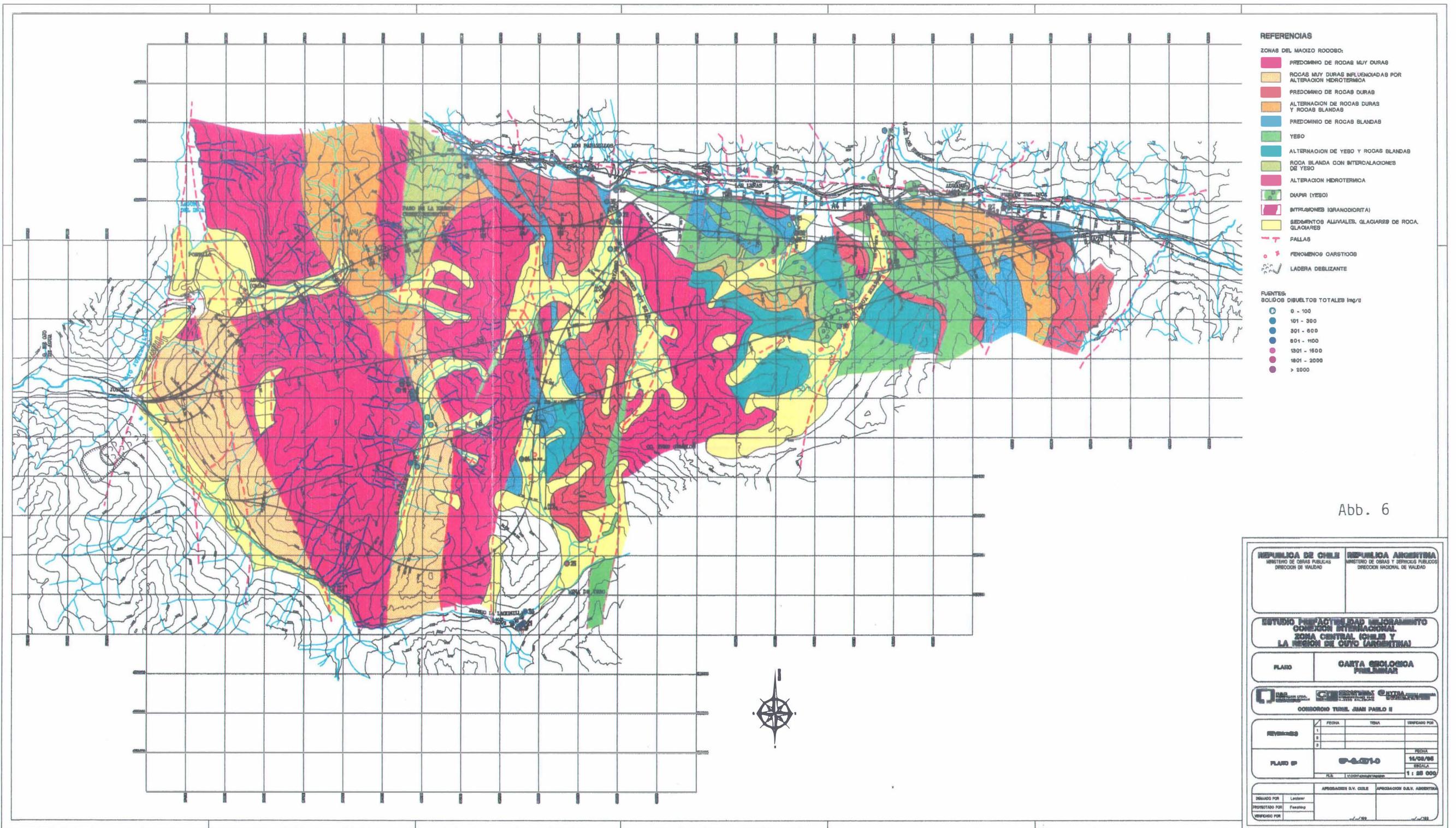


Abb. 6

REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN DE VALDAD		REPÚBLICA ARGENTINA MINISTERIO DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS DIRECCIÓN NACIONAL DE VALDAD	
ESTUDIO PRELIMINAR DE MEJORAMIENTO CORRECCION INTERNACIONAL ZONA CENTRAL (CHILE Y LA REGION DE CUYO (ARGENTINA))			
PLANO		CARTA GEOLOGICA PRELIMINAR	
ODOROSIO TURIB, JUAN PABLO II			
REVISADO	FECHA	TEMA	TRAFICADO POR
1			
2			
3			
PLANO Nº	0-0010		FECHA 14/05/98
			ESCALA 1 : 50 000
DESIGNADO POR Ludmer	APROBACION D.V. CHILE	APROBACION D.N. ARGENTINA	
PROYECTADO POR Fessing			
REVISADO POR			

2.4 Hydrogeologische Beobachtungen

Hydrogeologisch für das Tunnelbauwerk ausschlaggebend sind die erwarteten Wasserwegigkeiten entlang von Hauptstörzonen. Generell ist entlang von "Dip-Slip Faults" mit einer höheren Gebirgsdurchlässigkeit zu rechnen. Konzentrierte hohe Wasserwegigkeiten sind entlang von "Thrust Faults" möglich. Bedingt durch eine mögliche Auslaugung der Evaporite in diesen Bereichen sind große Wassermengen mit hohen hydraulischen Drücken möglich.

Die Tatsache, daß in Puente del Inca heiße, mineralisierte Wässer austreten, sowie daß es im Zentralbereich des Projektgebiet Quellen mit aufsteigenden, hochmineralisierten Wässern gibt, läßt den Schluß zu, daß auch in Bereichen mit hoher Überlagerung wasserführende Zonen angetroffen werden können.

Aufgrund des zur Zeit noch geringen Wissenstandes sind Aussagen zum hydrogeologischen Risikopotential mit großen Unsicherheiten behaftet.

2.5. Ingenieurgeologische Verhältnisse

Ingenieurgeologisch kann das untersuchte Gebiet in drei Großbereiche unterteilt werden.

Im Osten, zwischen Puente del Inca und der Einmündung des Rio de los Horcones, treten hauptsächlich gebankte bis massige, gering feste bis feste Sedimentgesteine auf. Die geotechnisch generell als günstig eingeschätzten Gesteinseinheiten werden auf der Höhe von Puente del Inca von einer Hauptstörung ("Thrust Fault") durchschnitten, entlang der heiße, mineralisierte Wässer aufsteigen (heiße Quellen bei Puente del Inca, 36°C Wassertemperatur). Für den Abschnitt im Einflußbereich dieser Hauptstörungszone werden schwierige bis äußerst schwierige geotechnische Verhältnisse angeschätzt.

Gegen Westen anschließend folgt ein bis zur Quebrada de Navarro reichender Großbereich der durch das Auftreten von bis zu mehreren 100 m mächtigen Evaporiten, sowie einer Vielzahl von Hauptstörungszonen ("Thrust Faults") gekennzeichnet ist. Aufgrund der geringen Gesteinsfestigkeit und leichten Löslichkeit der Evaporite, sowie der Wasserwegigkeit entlang der Störungszonen werden, entsprechend dem jetzigen Wissensstand, für diesen Abschnitt schwierige bis äußerst schwierige geotechnische Verhältnisse angenommen.

Von der Quebrada de Navarro gegen Westen bis Juncal dominieren massige bis gebankte, unterschiedlich geklüftete Festgesteine, die lokal durch Hauptstörungszonen mit Evaporiteinschuppungen, sowie durch hydrothermale Umsetzungen beeinflusst werden. Ausgenommen im Bereich der Landesgrenze, wo gering feste Gesteine mit Evaporiteinschaltungen in Form einer Antiklinalstruktur auftreten (Fo. Cristo Retendor), werden für diesen Abschnitt generell günstige geotechnische Verhältnisse eingeschätzt. In diesem Bereich ist jedoch aufgrund der hohen Überlagerung eine große Unsicherheit in der Aussage zu berücksichtigen.

2.6. Bewertung von Tunneltrassen

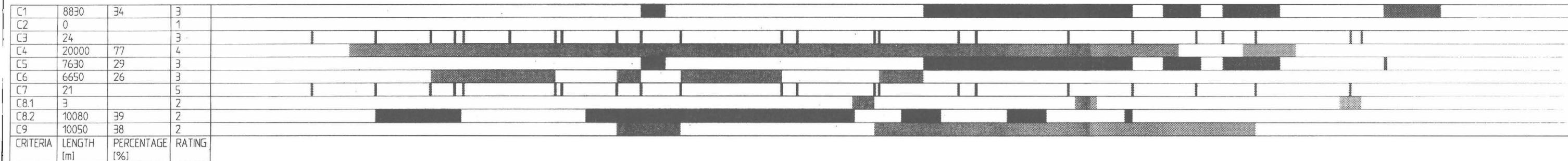
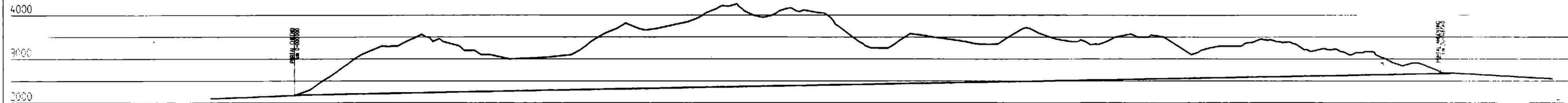
Die ingenieurgeologische Bewertung von unterschiedlichen Tunneltrassenvarianten basiert auf Kriterien, die aufgrund des zur Zeit vorliegenden Kenntnisstandes als entscheidend für den Bau eines Tunnelbauwerkes in diesem Gebiet angenommen wurden. In Abbildung 7 sind diese Kriterien zusammen mit dem ausgewerteten Längenschnitt der Alternative A2V als Beispiel dargestellt.

Den jeweiligen Kriterien werden empirische Wichtungen ("Weight") zugewiesen. Entsprechend den prozentuellen Längenanteilen werden diese Wichtungen mit einfach abgestufte Maßzahlen ("Ratings") multipliziert. Für jede Bewertung wird eine Wahrscheinlichkeit ("Probability", 0,0 - 1,0) angegeben. Bezogen auf die kürzeste

ALTERNATIVE A2V

W
 ↳ LOS ANDES

E
 ↳ MENDOZA



CRITERIA:

- C1: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH EXCAVATED IN SOFT ROCK
- C2: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH RUNNING WITH UNFAVOURABLE ORIENTATION TO MAJOR DISCONTINUITIES
- C3: NUMBER OF FAULTS CROSSED BY THE ALIGNMENT
- C4: PRIMARY STRESS CONDITIONS (HEIGHT OF OVERBURDEN): PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH EXCAVATED WITH OVERBURDEN >700 M

- C5: SQUEEZING POTENTIAL OF ROCK MASS: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH EXCAVATED IN SOFT ROCK WITH OVERBURDEN >300 M
- C6: ROCK BURST POTENTIAL: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH EXCAVATED IN VERY HARD ROCK (UCS >100 MPa) WITH OVERBURDEN >700 M
- C7: MAJOR WATER INFLOWS: NUMBER OF MAJOR N-S RUNNING FAULT ZONES, FRACTURE ZONES AND OVERTHRUSTS CROSSED BY THE ALIGNMENT

- C8.1: GEOTHERMAL RISK: NUMBER OF ZONES BEARING THERMAL WATER
- C8.2: GEOTHERMAL RISK: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH WITH OVERBURDEN >1000 M
- C9: PREDICTABILITY OF GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS: PERCENTAGE OF TUNNEL LENGTH WITH HIGH UNCERTAINTIES

Tunnelvariante und die ermittelten Wahrscheinlichkeiten werden sämtlich Tunnelvarianten korrigiert.

In Tabelle 2 ist das Ergebnis des geologisch-geotechnischen Trassenvariantenvergleiches dargestellt (Trassenvarianten A1, A2, A2/1, A3, A4, A4/1, A6, A7).

Laut ingenieurgeologischer Beurteilung und entsprechend dem derzeitigen Wissenstandes weisen die Trassenvarianten A2 - A2/1, bzw. die dazu parallel verlaufende kurze Tunnelvariante A7 den günstigsten Verlauf auf. Der derzeitige und auch in Zukunft erzielbare Kenntnisstand, Überlagerungsverhältnisse und die Orientierung zu den Hauptstörungszonen wurden bei diesen Varianten als besonders günstig ermittelt.

Die Tunnelvariante A 7, die aus einem 14,57 km langen bergmännischen und einem ca. 9 km langen, in offener Bauweise zu errichten Tunnelabschnitt besteht, ist aufgrund der geringen Tunnellänge und der größtmöglichen Vermeidung der Evaporitgesteinsstrecken die mit Abstand ingenieurgeologisch günstigste Tunnelvariante.

Tabelle 2

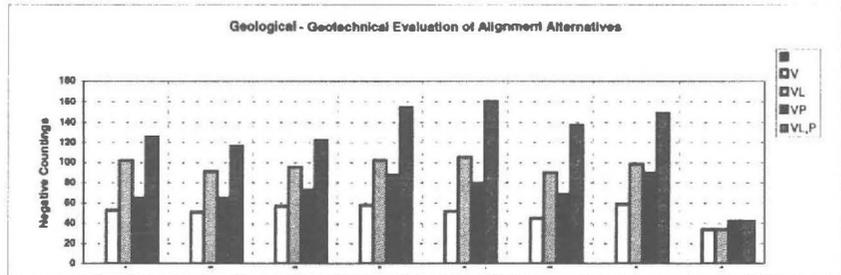
Tunnel Juan Pablo II

GEOLOGICAL - GEOTECHNICAL EVALUATION OF ALIGNMENT ALTERNATIVES																									
CRITERIA	WEIGHT	A 1			A 2 V			A 2 S			A 3			A 4			A 4/1			A 6			A 7		
		R	V	P	R	V	P	R	V	P	R	V	P	R	V	P	R	V	P	R	V	P			
1	2	4	8	0,8	3	6	0,8	3	6	0,8	3	6	0,8	4	8	0,7	2	4	0,6	4	8	0,6	1	2	0,8
2	2	4	8	0,8	1	2	0,8	1	2	0,8	2	4	0,6	3	6	0,6	3	6	0,6	3	6	0,6	1	2	0,8
3	3	3	9	0,8	3	9	0,8	3	9	0,8	3	9	0,7	2	6	0,7	2	6	0,7	3	9	0,7	2	6	0,8
4	1	3	3	1,0	4	4	1,0	5	5	1,0	5	5	1,0	3	3	1,0	4	4	1,0	5	5	1,0	4	4	1,0
5	2	3	6	0,7	3	6	0,7	4	8	0,7	3	6	0,6	4	8	0,6	3	6	0,6	5	10	0,6	1	2	0,7
6	1	2	2	0,6	3	3	0,6	3	3	0,6	4	4	0,8	2	2	0,6	2	2	0,6	3	3	0,6	3	3	0,7
7	3	4	12	0,8	5	15	0,8	5	15	0,8	5	15	0,6	4	12	0,6	3	9	0,6	3	9	0,6	3	9	0,8
8.1	1	2	2	0,6	2	2	0,6	3	3	0,6	2	2	0,6	2	2	0,8	2	2	0,6	2	2	0,6	2	2	0,6
8.2	1	1	1	1,0	2	2	1,0	3	3	1,0	4	4	1,0	2	2	1,0	2	2	1,0	4	4	1,0	3	3	1,0
9	1	2	2	0,8	2	2	0,8	3	3	0,8	3	3	0,7	3	3	0,7	4	4	0,7	3	3	0,7	1	1	0,8
			53			51			57			58			52			46			59			34	

ADJUSTED VALUES					
ALIGNMENTS	V	V _L	V _P	V _{L,P}	L[km]
A1	53	102	65	126	28,15
A2V	51	91	65	117	26,05
A2S	57	96	73	123	24,45
A3	58	103	88	155	25,76
A4	52	105	79	161	29,56
A4/1	45	90	69	138	29,25
A6	59	99	89	150	24,37
A7	34	34	42	42	14,57

LEGEND:

- R : Rating
- v : Value
- P : Probability
- L : Length
- VL : Values adjusted to tunnel length [VL = V x L A1, A2, A3, A4, A4/1, A6, A7/LA7]
- VP : Values adjusted to probability [VP = (V1,2,3,4,5,8,7,8.1,8.2,9/P1,2,3,4,5,8,7,8.1,8.2,9)]
- V_{L,P} : Values adjusted to tunnel length and probability [V_{L,P} = V_P x (L_{A1, A2, A3, A4, A4/1, A6, A7/L_{A7})]}



3. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die ingenieurgeologische Bearbeitung ermöglichte eine grundsätzliche Abschätzung von geologisch geotechnischen Risikofaktoren sowie den Entwurf von Trassenalternativen. Der Variantenvergleich erfolgte anhand von projektspezifischen Kriterien und ermöglichte die Identifizierung von geotechnisch günstigen Alternativen. Anhand einer vorläufigen Abschätzung von Gebirgstypen wurden für ausgewählte Trassenvarianten Kosten- und Bauzeitpläne erarbeitet.

4. LITERATUR

BASTIAS, H., G. E. TELLO, L. P. PERUCCA & J. D. PAREDES, 1993: Peligro sísmico y neotectónica. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza. Geología y Recursos Naturales de Mendoza V.A. Ramos (Ed.), Relatorio, VI (1): 645-658.

CEGARRA, M. I., G. L. LO FORTE & A. S. SANGUINETTI, 1993: La alta cordillera de Mendoza entre Puente del Inca y Lac Cuevas (32°50' Lat.S.). XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas T II: 85-93, Buenos Aires.

GILI, J. P., 1948: Proyecto de perforación de un túnel trasandino entre Juncal (Chile) y Puente del Inca (Argentina). Primera Parte.

ISRM, 1981: Rock characterization, testing and monitoring, ISRM suggested methods. Ed.. E. T. Brown, Pergamon Press.

KOVÁRI, K., Ch. AMSTAD & G. ANAGNOSTOU, 1987: Tunnelbau in quellfähigem Gebirge. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, 115, 19-26.

- KOZLOWSKI, E. E., R. MANCEDA & V. A. RAMOS, 1993: Geología y recursos naturales de Mendoza estructura. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio, I (18): 235-256, Buenos Aires.
- LO FORTE, G. L., 1990: Geología de la quebrada de Agua Blanca, alta cordillera de Mendoza. Decimo Primer Congreso Geológico Argentino, Actas II: 113-116, San Juan.
- MOSCOSO, R. D., H. S. PADILLA & S. G. RIVANO, 1982: Carta geológica de Chile, No. 52, hoja Los Andes, region de Valparaiso. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- PAZOS, J. A., J. L. BESSONE, J. A. VIVAS, A. VACA, C. WETTEN & C. E. VALERO, 1993: Geología y recursos naturales de Mendoza - recursos hidricos subterranos y aguas termales. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos - V.A. Ramos (Ed.), Relatorio, V (1): 551-599.
- RAMOS, V. A., 1986: Descripción geológica de la hoja 23 a ACONCAGUA (Provincia de Mendoza), informe preliminar.
- RAMOS, V. A., 1988: The tectonics of the Central Andes: 30° to 33° S latitude. Geol.Soc.Am., Special Paper 218: 31-54, Boulder.
- RAMOS, V. A., S. RIVANO, M. B. AGUIRRE-URRETA, E. GODOY & G. L. LO FORTE, 1990: El mesozoico del cordón del límite entre Portezuelo Navarro y Monos de Agua (Chile-Argentina). Decimo Primer Congreso Geológico Argentino, Actas II: 43-46, San Juan.
- RAMOS, V. A., 1993 a: Geología y estructura de Puente del Inca y el control tectónico de sus aguas termales. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas T V: 8-19, Buenos Aires.

RIVANO, S., E. GODOY, M. VERGARA & R. VILLARROEL, 1990: Redefinición de la formación Farellones en la cordillera de los Andes de Chile central (32-34°S). Revista Geológica de Chile, Vol.17, No.2: 205-214, Santiago.

RYBACH, L. & M. PFISTER, 1994: Temperature Predictions and predictive temperatures in deep tunnels. Rock Mech. Rock Engng. 27 (2), 77-88.

STEINER, W., 1993: Swelling rock in tunnels: rock Characterization, effect of horizontal stresses and construction procedures. Int.J.Rock Mech. Min.Sci. & Geomech. Abstr., Vol 30, No. 4, pp. 361-380.

Autor:

Mag. Alfred FASCHING

Geoconsult ZT GmbH

A-5020 Salzburg, Sterneckerstraße 52

Fortschritte in der Aufbereitung baugeologischer Daten mit Beispielen aus der Praxis (Galgenbergtunnel, Umfahrung Schwarzach)

W. FÜRLINGER, T. STADLMANN

Vorbemerkungen

Als in der Praxis stehende Geologen sind wir ständig damit befaßt, geologische Daten für verschiedenartigste Aufgabenstellungen zu sammeln. Wie wir diese Daten auswerten, wie wir die geologische Information aufbereiten, weitergeben, damit sie auch von unseren Gesprächspartnern richtig verstanden wird, darin liegt eine große Kunst. Jeder Fortschritt, der in dieser Richtung gemacht wird, wirkt sich unmittelbar auch wirtschaftlich aus. Ein wichtiges Hilfsmittel, um Fortschritte zu erzielen, liegt neben einer sorgfältigen Erhebung von geologischen Daten in den vielfältigen Möglichkeiten, die EDV anbietet.

Als Gesprächspartner stehen uns in der Berufspraxis meist Bauingenieure oder Juristen gegenüber, Personen also, deren geologisches Verständnis allein vom Ausbildungshintergrund her begrenzt ist. Mißverständnisse sind daher nicht ausgeschlossen.

Ein kurioses Mißverständnis konnte ich im Laufe meiner Tätigkeit als gerichtlich beeideter Sachverständiger aufklären. Es ging um einen Streit um Wasser. Eine Bohrfirma hatte in der Molassezone bis in die "Süßwasserschichten" gebohrt darin allerdings kein Süßwasser angetroffen. Der Auftraggeber und dessen Rechtsvertreter waren der Meinung, die Firma hätte das Wasser nicht gefunden und daher nicht die gewünschte Leistung erbracht. Daß der Formationsname "Süßwasserschichten" lediglich auf das Ablagerungsmilieu der Sedimente zurückzuführen ist, wurde bei Gericht aufgeklärt.

Im folgenden wird darauf eingegangen, in welchen Zusammenhängen geologische Daten erhoben werden, wie sie verwendet werden und welchen Stellenwert sie haben.

Bei den meisten Großbauvorhaben kommt es im Verlaufe der verschiedenen Projektphasen, von der Planung bis zur Durchführung, immer schrittweise zu einem Zuwachs an Kenntnissen über den Baugrund. Dies gilt auch für den Tunnelbau. Den einzelnen Projektphasen sind auch entsprechende Schritte in der geologischen Bearbeitung zugeordnet:

Planung - Baugrunderkundung
Ausschreibung - Beschreibung des Baugrundes
Angebot - Einschätzung der Baugrundverhältnisse
(durch den Auftraggeber - durch den Auftragnehmer)
Bauausführung - Dokumentation, geologische Baubetreuung
Darstellung der tatsächlich angetroffenen geologischen
Verhältnisse
(Vergleich Prognose - tatsächlich Angetroffenes)

Nach Beendigung eines Bauvorhabens können die tatsächlich angetroffenen geologischen Verhältnisse jenen gegenübergestellt werden, die aufgrund der Vorerkundung erwartet worden waren. Nicht selten hört man dann in etwas unsauberem Sprachgebrauch: "*Die Geologie hat sich geändert*" Wie wir wissen, ändert sich allenfalls der Kenntnisstand, nicht die Geologie selbst.

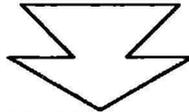
1. BAUGEOLOGISCHES DATENMATERIAL UND ERHEBUNG

Die Abbildung 1 zeigt eine Auswahl der gebräuchlichsten Erhebungsmethoden. Es werden dabei Berichte von Bearbeitern unterschiedlicher Fachdisziplinen erstellt.

BAUGEOLOGISCHES DATENMATERIAL und ERHEBUNGSMETHODEN

Erhebungsmethoden (Auswahl)

- geologische Kartierung, Aufnahme von Aufschlüssen, Ortsbrustaufnahme etc.
- Kernbohrung
- geophysikalische Untersuchungen
- petrograph. /mineral. Untersuchungen
- felsmechanische Untersuchungen



Gewonnene Daten (Auswahl)

- Geologie mit Gesteinsarten, Tektonik
- Gefügemessdaten und Trennflächenparameter
- Verwitterungsgrad
- Zerlegungsgrad, RQD-Index
- seismische Parameter (z.B. Vp, Vs)
- Analysendaten
- felsmechanische Kennwerte

Abb. 1

Wichtig für das Verständnis der Ergebnisse ist eine für alle Gesprächspartner verständliche Sprache und die zusammenfassende Erläuterung der Ergebnisse. Eine kommentarlose Aneinanderreihung von Analysendaten, Meßwerten etc. liegt nicht im Sinne einer fachlichen Kommunikation.

Ein wichtiger Stellenwert kommt nach wie vor den klassischen feldgeologischen Methoden der lückenlosen Kartierung und der möglichst umfassenden Gesteins- und Gebirgsbeschreibung zu.

Nachdem wir den Baustoff "Fels" - das "Gebirge" im Sprachgebrauch der Tunnelbauer - als einen durch tektonische Vorgänge zerbrochenen Baustoff auffassen, dessen mechanische Eigenschaften meist stärker von den Trennflächen als von den Materialeigenschaften des Gesteins bestimmt werden, ist die Gefügebeschreibung besonders wichtig.

Es gibt in diesem Bereich Normen, Normierungsbestrebungen und Quantifizierungsansätze.

Eine konsequente Anwendung der bekannten Charakterisierungsmethoden des Gebirges gewinnt zunehmend an Sinn und praktischer Bedeutung in Anbetracht der Weiterverarbeitungsmöglichkeiten mit EDV. Es geht dabei um die Möglichkeiten der unkomplizierten Nutzung statistischer Methoden, um die Herstellung von Verknüpfungen zwischen Datensätzen (z.B.. RQD, Zerlegungsgrad, Verwitterungsgrad, Charakterisierung von Klüften etc.) nach allen möglichen Kriterien.

Um eine ausreichende Datenbasis zu erlangen, ist allerdings eine verfeinerte, routinemäßige und konsequente Aufnahmetechnik erforderlich. Zum Zweck der vollständigen Datenerfassung werden von uns standardisierte Erhebungsblätter verwendet, die jeweils auf das spezielle Bauvorhaben abgestimmt werden.

Als Beispiel möge ein Musterblatt, wie es bei einem aktuellen Projekt (Galgenbergtunnel) verwendet wurde, dienen (siehe Abb. 2).



ZT - Dr. W. FÜRLINGER
 Ingenieurkonsulent f. Tech. Geologie
 Karlbauernweg 12 5020 SALZBURG
 Tel.: 0662/438645 Fax: 0662/4386454

GZ: 93-31 ÖBB - Tunnel
GALGENBERG
 Geologische Dokumentation

GEOLOGISCHE ORTSBRUSTAUFNAHME

Vortrieb: Leoben Kalotte Station: Datum/Uhrzeit:
 Jassing E Strosse
 Jassing W Sohle Bereich: Bearbeiter:

GESTEIN:

TRENNFLÄCHEN		Meßwert	Wandung	Rauhigkeit	Abstand	x	Füllung, Bestege	Bemerkungen
		Störungen						
Klüfte								
St-Flächen								

VERWITTERUNG:

- unverwittert, frisch
- angewittert (Limonitbestege)
- verwittert (durchgehend limonitisch)
- vollständig verwittert (tonige Umsetzung, entfestigt)

KLUFTKÖRPER

FORM	polyedrisch	prismatisch	plattig	saugig
d (cm)				
> 50				
50 - 20				
20 - 5				
5 - 1				
Mykrot				

BERGWASSER: feucht tropfend rinnend

Ort:

VORTRIEB Sprengvortrieb Tunnelbagger Abschlagslänge:
 Stütz-/Sicherungsmittel: GKKL:
 Gebirgsverhalten:

BEMERKUNGEN:

2. VERARBEITUNG VON BAUGEOLOGISCHEN DATEN

Wie die gewonnenen baugcologischen Daten - mit Mitteln der EDV - aufbereitet und weiterverarbeite werden, soll anhand einiger Beispiele aus dem Tunnelbau veranschaulicht werden. Die Tätigkeit des Geologen auf der Tunnelbaustelle wird im wesentlichen von zwei großen Aufgabenbereichen dominiert:

- **baugeologische Dokumentation des aufgefahrenen Gebirges**
- **baugeologische Beratung des Auftraggebers bzw. dessen Vertreters**

Die **baugeologische Dokumentation** soll eine kontinuierliche und genaue Aufnahme der geologischen Verhältnisse umfassen. Die Ergebnisse sollen rasch auf der Baustelle zur Verfügung stehen. Sie bilden die Grundlage für eine **baugeologische Beratung**. In der Baupraxis wird dabei an den Baugeologen eine Reihe von Anforderungen gestellt, wie etwa

- die Bereitstellung von geologischen Grundlagen für die Interpretation von Verformungsmessungen
- das Erstellen geologischer Grundlagen für die Vortriebsklassifizierung
- die Beratung bei Einsatz und Anordnung diverser Stützmittel, vor allem in geotechnisch schwierigem Gebirge
- die Beratung beim Anpassen von Sprengschemata auf aktuelle Trennflächensituationen (z.B. hinsichtlich Begrenzung von Überprofilen)
- das Erstellen von kurzfristigen Vortriebsprognosen.

Alle diese Einsatzbereiche der Geologie erfordern eine **rasche Verfügbarkeit und Präsentation** baugcologischer Daten. Aufgrund dieser Anforderung ist die Verarbeitung der Daten mittels EDV-Anwendungen heute ein wesentliches Hilfsmittel für den Baugeologen vor Ort. Die Vorteile des EDV-Einsatzes sind dabei in erster Linie in einer raschen Auswertung und Darstellung einer großen Menge von

Datenmaterial für benutzerdefinierte Fragestellungen zu sehen. Weiters sind Daten und Auswertungen austauschbar und mit geringem Aufwand reproduzierbar (Datenkommunikation). Dem Geologen wird es dadurch möglich, mit geringem Zeitverzug auf aktuelle Baustellenerfordernisse zu reagieren und das baugelogeische Datenmaterial anschaulich zu präsentieren.

Vom Büro FÜRLINGER werden seit über 2 Jahren Tunnelbaustellen vor Ort unter Einsatz entsprechender EDV betreut. Die Grundzüge des EDV-Einsatzes sind in Abbildung 3 dargestellt.

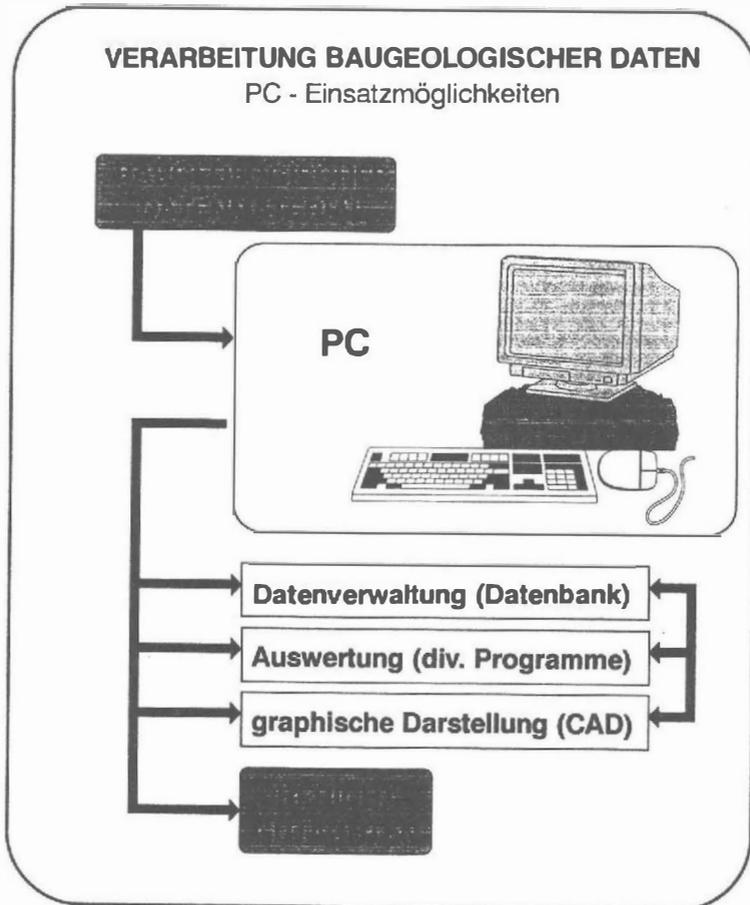


Abb. 3

Im Baustelleneinsatz ist eine **leistungsfähige Datenbank**, die für das jeweilige Projekt eingerichtet ist, das **Kernstück** der EDV-Verarbeitung aller anfallender baueologischen Daten. Aus unseren Erfahrungen bei den vorher genannten Projekten haben sich folgende Abläufe der Datenverarbeitung bewährt (siehe Abbildung 4):

- 1) Datenaufnahme vor Ort (Feldaufnahme Ortsbrustbild u. Datenblatt)
- 2) tägliche Dateneingabe in eine EDV-Datenbank
- 3) tägliche Ausgabe von
 - Schichtprotokoll bzw. Tagesbericht (enthält alle relevanten Baustellengeschehnisse und Vortriebsereignisse des jeweiligen Tages)- Beispiel Abb. 5
 - Geologisches Ortsbrustbild (Vorlageausdruck aus Datenbank, Reinzeichnung) - Beispiel Abb. 6
 - Geologisches Datenblatt (enthält alle Zusatzinformationen zur Ortsbrustaufnahme) - Beispiel Abb. 7

Diese Unterlagen dienen einerseits für eine übersichtliche und kontinuierliche baueologische Dokumentation, andererseits stehen damit auf der Baustelle die neuesten geologischen Daten in Form von EDV-Datensätzen rasch zur benutzerdefinierten Auswertung und Interpretation - je nach Fragestellung - zur Verfügung (siehe Abb. 8).

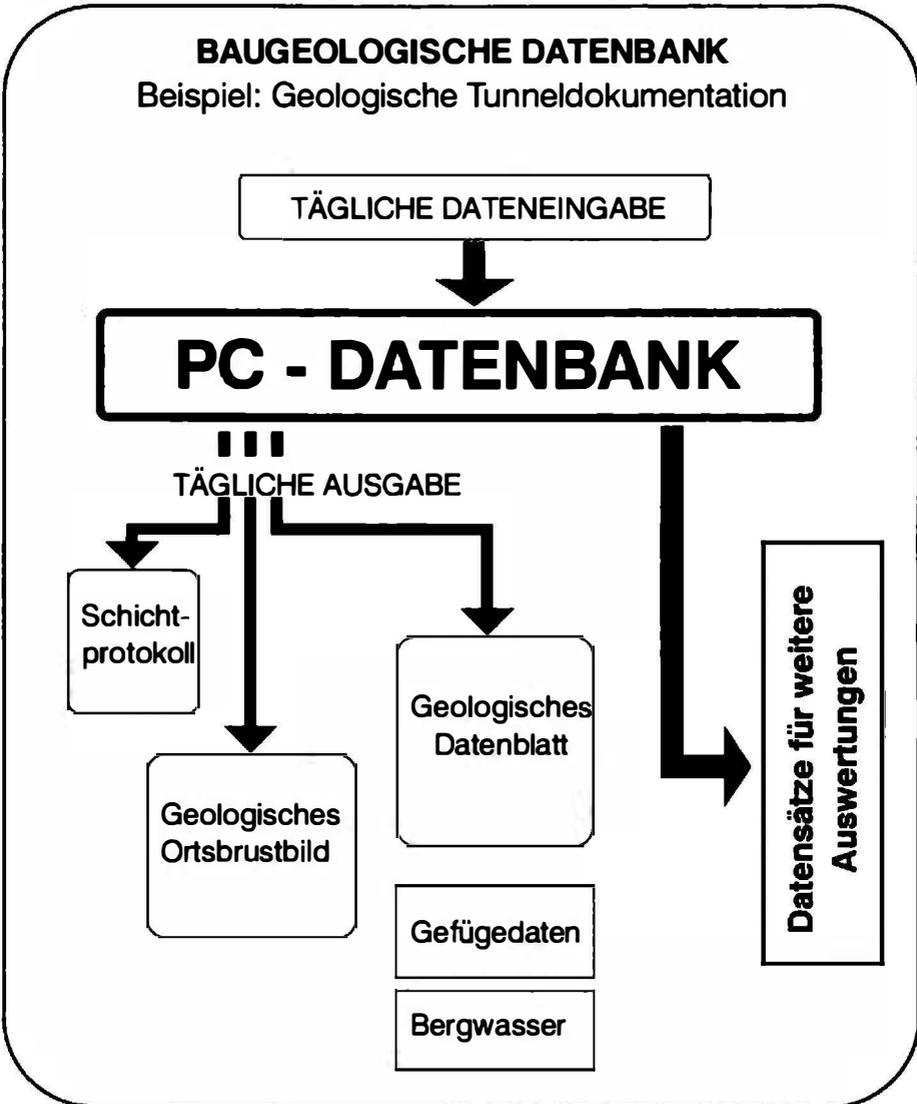


Abb. 4

B 311 - Umfahrung Schwarzach
SCHÖNBERGTUNNEL - Erkundungsstollen
Geologische Dokumentation

Schichtprotokoll

DSN: Datum:

Bearbeiter:

Schicht:

Baustelle von: Uhr Baustelle bis: Uhr Summe:

Baustelle von: Uhr Baustelle bis: Uhr Summe:

Stollen von: Uhr Stollen bis: Uhr Summe:

Stollen von: Uhr Stollen bis: Uhr Summe:

Stollen von: Uhr Stollen bis: Uhr Summe:

Vortrieb:

Gesamt Baustelle:

Gesamt Untertage:

Aufnahmeart:

Aufnahme von Station: Aufnahme bis Station:

Bemerkungen:

Probennahme Stat. 2045, 2072 und 2075m. Besprechung mit N.N. betreffend Nachsicherung einzelner Abschnitte, wo augenscheinlich Handlungsbedarf besteht (Ablösungen, Ausbrüche). Begehung mit N.N. und N.N. für 6.9.95 vormittags vorgesehen. Vorlage eines Nachsicherungsvorschlages zur Baubesprechung Do. 7.9.95 geplant. Nachsicherung sollte laut N.N. in der nächsten KW erfolgen.



ÖBB - DIE NEUE BAHN

Knoten Obersteiermark - Galgenbergtunnel

Geotechnisches Datenblatt

Lf.Nr.: 525

Vortrieb: Leoben

Typ: Kalotte

Station: 503,10 m

Projekt-km: 6,895

GGKL: 5.2

Datum: 23. Jan. 94

Uhrzeit: 10:30

Blatt Nr.: 238

Bearbeiter: Stadlmann

Vortriebsdaten

DSN: 525

Abschlagslänge: 1,00 m

Vortriebsart: Sprengv./TBagger

Stützmittel: siehe Ausbaufestlegung

Gestein: 1. GRÜNSCHIEFER-KALKMARMOR-Wechselfolge 2. KALKSCHIEFER, dunkelgrau
3. KALKMARMOR, weiß 4. GRÜNSCHIEFER, stark tekt. 5. KALKSCHIEFER (mittelgrau)-
QUARZPHYLLIT stark tektonisiert 6. KALKMARMOR-KALKSCHIEFER (dunkelgrau, stark
tektonisiert) 7. GRAPHITPHYLLIT

Gebirgsverhalten: große Festigkeitsunterschiede der einzelnen Gesteinsbereiche, platige Nachbrüche aus
linkem Kämpfer, Störungszone stark gebüch

Bergwasser: tropfend

Bergwasser Austritt: Karstspalten im Kalkmarmor (weiß)

Kluftkörper: polyedrisch/plattig

d: 20-5cm

Verwitterung: angewittert

V1-V2:

V2-V3:

V3-V4:

Z1-Z2:

Z2-Z3:

Z3-Z4:

Bemerkungen: Harte Kalkmarmorsteinse (mehrere Meter Durchmesser) im linken Kalottenfußbereich.
Rechter Fußbereich weiche, stark gestörte Kalkschiefer und Graphitphylite. Annähernd
parallel zur TA streichende Störungsbahnen

Trennflächen

DSN	Typ	Meßwert	Wandung	Rauhigkeit	Abstand [cm]	Füllung-Bestege	Bemerkung
525	s	218/55	eben	rau	10-30	keine	undeutlich, KM weiß
525	s	215/65	eben	glatt	<1-4	keine	GRS-KM Wechselfolge
525	s	210/55	wellig	glatt	<1-5	tw. tonig	Störungszone
525	k	072/45	eben	rau	10-15	keine	KM weiß
525	k	128/65	eben	rau	5-10	keine	KM weiß
525	kt	354/45	stufig	rau	5-15	keine	offen (cm) Karst, Tropfwasser
525	k	101/60	eben	glatt	10-20	keine	Störungszone
525	k	308/70	eben	glatt	5-10	keine	Störungszone
525	st	128/60	wellig	poliert	2-5	Mylonit	Grenze GRS- KSCH/QPH
525	st	145/75	wellig	poliert	2	Mylonit	

3. VERARBEITUNG UND DARSTELLUNG BAUGEOLOGISCHER DATEN - TUNNELBAUSTELLE

Für die weitere Verarbeitung und Darstellung baugeoologischer Daten bilden die in der Datenbank enthaltenen Datensätze ein wichtige Grundlage. Beispiele für diese Weiterverarbeitung gehen aus der Abbildung 8 hervor.

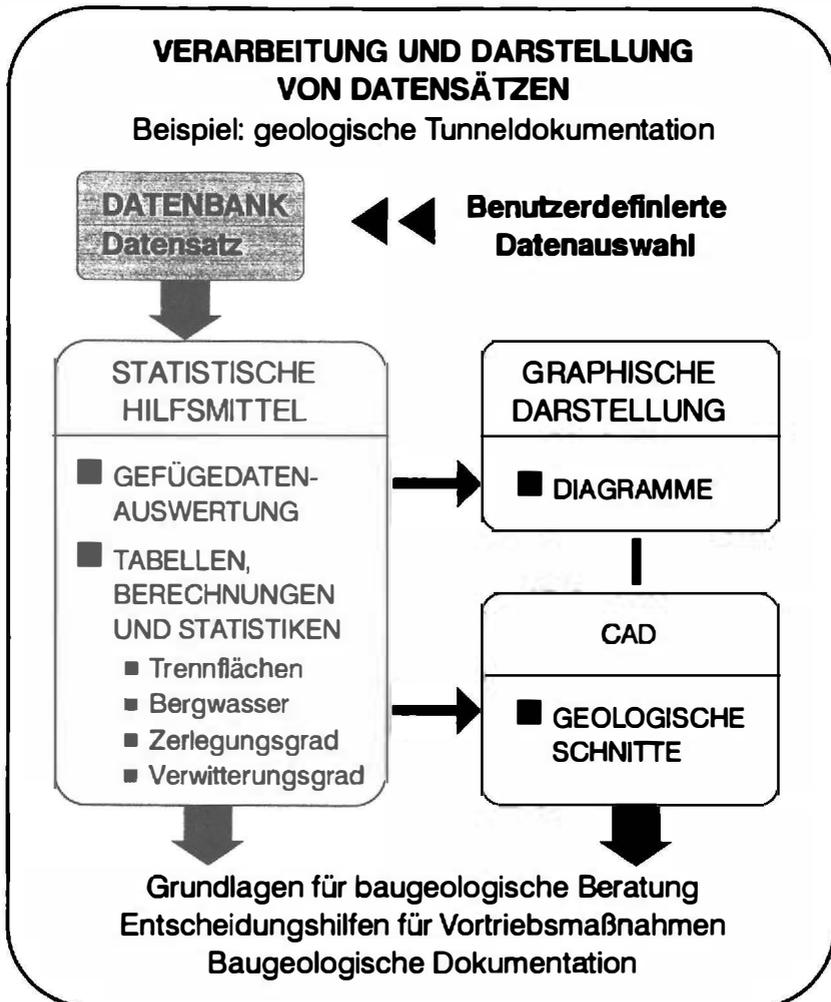


Abb. 8

Ein wesentliches Hilfsmittel für den Baugeologen ist die **statistische Auswertung von Gefügedaten**. Die Trennflächen sind im Baumedium Fels bekanntermaßen ein wesentlicher, die Gebirgsfestigkeit und damit die Standfestigkeit von Hohlraumbauten beeinflussender Faktor. In der Baupraxis kommt damit einer raschen Verfügbarkeit von Gefügedatenauswertungen große Bedeutung zu. Das baugeologische Hilfsmittel "Gefügedatenauswertung" ist jedoch nur dann voll ausschöpfbar, wenn eine benutzerdefinierte Auswahl der Trennflächendaten erfolgen kann. Die Auswertung mittels EDV aus einer Datenbank erfüllt diese Anforderungen. Beispielsweise ist eine Auswahl der Datensätze nach

- Station (also für einen ganz bestimmten Tunnelabschnitt)
- Typ (S-Flächen, Klüfte, Störungen, b-Achsen)
- Beschaffenheit der Wandungen
(z.B. Abfrage aller polierten Trennflächen)
- weiteren eingegeben Parametern
wie Bestege, Trennflächenabstände etc.

für unterschiedliche Fragestellungen sinnvoll. Abbildung 9 zeigt eine Gefügedatenauswertung mit statistischer Darstellung der Flächenpolpunkte, der eine Auswahl der Datensätze nach Station und Typ zugrundeliegt. Es wurde hier die Trennflächensituation eines 100m langen Stollenabschnittes nach Schieferungsflächen, Klüften und Störungen (Harnischflächen) ausgewertet.

Diese Darstellungsweise erlaubt dem Betrachter einen schnellen Einblick in die Orientierung der einzelnen Trennflächentypen. Aus den Lagenkugeldiagrammen geht neben der Lage der einzelnen Trennflächen zum Stollenvortrieb (Sta = Stollenachse) auch die Stellung der Trennflächentypen zueinander hervor. So läßt die Auswertung beispielsweise eine vorwiegend schieferungsparallele Zerschneidung des betrachteten Gebirgsbereiches anhand der meist gleichen Raumlage von S-Flächen und Störungen erkennen.



VERARBEITUNG UND DARSTELLUNG VON DATENSÄTZEN

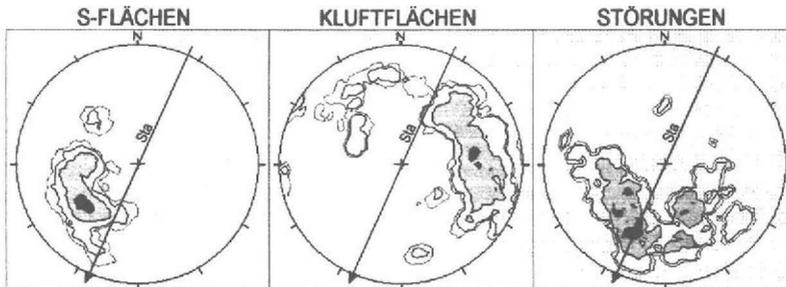
Gefügedatenauswertung (Stollendokumentation)

ASLR
B 311 - Pinzgauer Straße
Umfahrung Schwarzach

SCHÖNBERGTUNNEL - Erkundungsstollen
Geologische Dokumentation

Gefügedaten - Lagenkugeldiagramme

Stollenmeter 2400 - 2500m



Daten: 96
Maximum: 27 bei 060/45

Daten: 144
Maximum: 10 bei 261/48

Daten: 58
Maximum: 7 bei 057/30

Statistische Auswertung der Flächenpolpunkte

- getrennt nach Schieferungs-, Kluffflächen und Störungen
- ausgewertet für einen benutzerdefinierten Stollenabschnitt

Abb. 9

Als Hilfestellung zur Klärung detaillierter baugeologischer Fragestellungen können weiters einfache **statistische Auswertungen** von Datensätzen herangezogen werden, die der Geologe je nach Problemstellung auswählt. Abbildung 10 zeigt eine sehr einfache und rasch erstellbare zusätzliche Auswertung zu den in der Abbildung 9 dargestellten Trennflächen eines 100m langen Stollenabschnittes. In dieser Abbildung sind die Schieferungsflächen nach Beschaffenheit der Trennflächenwandung und der Bestege ausgewertet und in unterschiedlichen Diagrammen anschaulich präsentiert. Die in den Diagrammen ersichtliche, vorwiegend glatte bis polierte Ausbildung mit schwach tonigen bis tonig-graphitischen Bestegen gibt weitere Hinweise auf die in Abb. 9 bereits erkennbare schieferungsparallele Zerscherung des Stollenabschnittes. Diese Darstellung der Gefügedatenauswertung mittels differenzierter Lagenkugeldiagramme sowie Diagrammen mit Auswertung weiterer Trennflächenparameter erlaubt einen raschen Vergleich der Gesamt-Trennflächensituation in einzelnen Gebirgsbereichen bzw. Tunnelabschnitten.

Die wesentlichen Ergebnisse der baugeologischen Tunnelaufnahme und deren Auswertung werden in **geologischen Schnitten graphisch** dargestellt. Geologische Schnitte sind vorerst, meist in vereinfachter Form, als baubegleitende Auswertung zur Präsentation der aktuellen geologischen Situation erforderlich. Die Gesamtdarstellung des durchörterten Gebirges in einem kompletten geologischen Schnitt ist letztendlich, zusammen mit dem Abschlußbericht über die geologische Dokumentation, das Endprodukt der Arbeit eines Baugeologen auf der Tunnelbaustelle.

Abbildung 11 zeigt einen **baubegleitend erstellten geologischen Arbeitsschnitt**, der in vereinfachter Form die aufgefahrene geologische Schichtfolge, die vorher durchgeführten Erkundungsbohrungen und die Ergebnisse eines Refraktionsseismik-Profiles enthält. Weitere wichtige Zusatzinformationen (die fortlaufende Nummer des Gebirgsabschnittes, die Vortriebsklasse, Scherzonen und Zerlegungsgrad des Gebirges) wurden, aus der Datenbank stammend, als Balkengraphik bzw. als Gefügedaten-Lagenkugeldiagramm eingetragen. Über die

Gebirgsabschnittsnummer sind alle geologischen Einträge, die im jeweiligen Vortriebsbereich aufgenommen wurden, im Detail aus der Datenbank abrufbar. Die so erstellten Schnitte sind auf der Baustelle relativ rasch verfügbar und bilden die Grundlage für eine anschauliche Präsentation der aktuellen geologischen Situation.

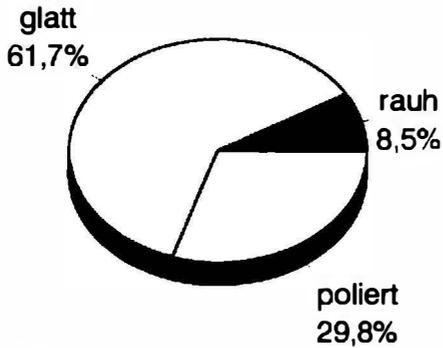
Ein weiteres Beispiel eines auf der Baustelle erarbeiteten CAD-Schnittes (Horizontalschnitt) zeigt die Abbildung 12. Die Fragestellung an den Baugeologen lautete, eine Prognose des ca. 30m langen, noch nicht aufgefahrenen Gebirgsbereiches zwischen zwei gegenläufigen Tunnelvortrieben zu erstellen, um den Durchschlagspunkt in den geotechnisch günstigsten Bereich zu legen.

Zur Verfügung standen jeweils die bis dahin durchgeführten Ortsbrustaufnahmen beider Vortriebe und deren baugeologische Auswertung, sowie die Aufnahme von drei Brustankerbohrungen. Aufgrund dieser Prognose konnte der geotechnisch ungünstige Bereich mit Graphitphylliten und Schwarzschiefern vermieden, und der Durchschlag in den günstigeren Bereich der Quarzphyllite und Grünschiefer gelegt werden.

Im unteren Bild der Abb. 12 ist der beim nachfolgenden Vortrieb kartierte Gebirgsaufbau zum Vergleich gegenüber dem prognostizierten Gebirge abgebildet. Die Schnitte zeigen, daß die wesentlichen Schichtglieder bei der Prognose richtig erfaßt wurden.

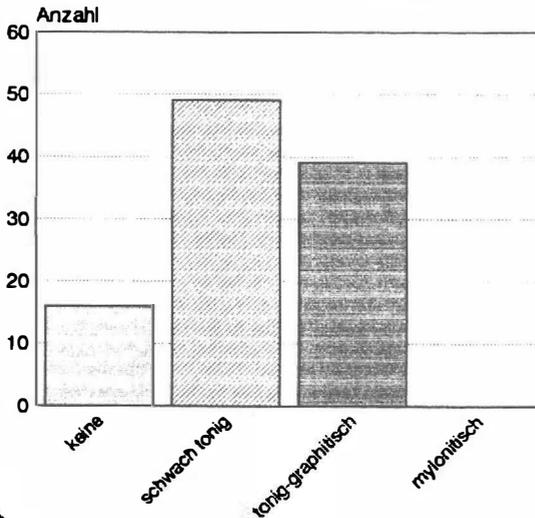
VERARBEITUNG UND DARSTELLUNG VON DATENSÄTZEN

Trennflächenauswertung (Stollendokumentation)



Beispiel:
S-FLÄCHEN
Stat. 2400 - 2500m

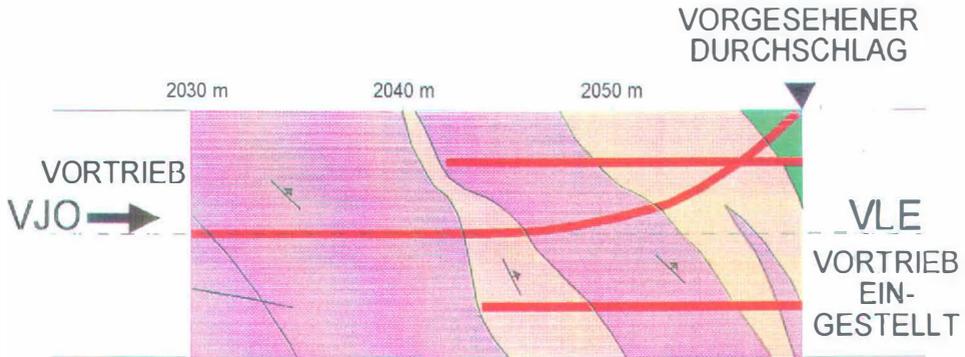
**TRENNFLÄCHEN-
WAND**



**TRENNFLÄCHEN-
BESTEGE**

Abb. 10

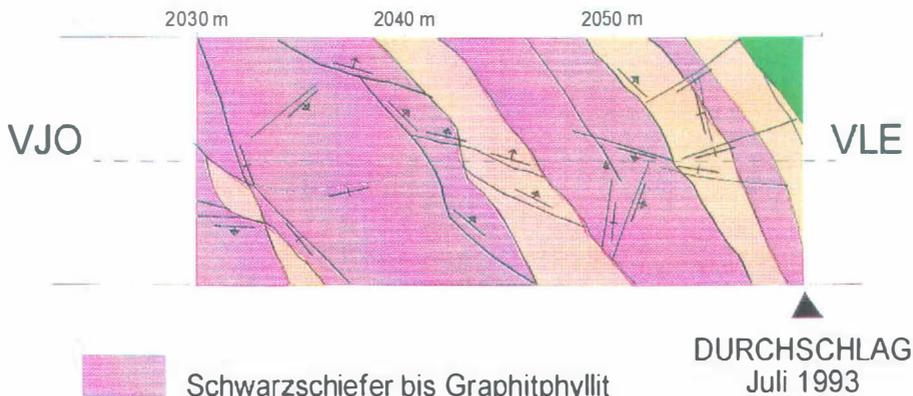
BAUBEGLEITENDE PROGNOSE für Durchschlag Galgenbergtunnel



Grundlagen für Prognose:

- letzte Ortsbrustaufnahmen (VLE Stat. 2341m, VJO Stat. 2030m)
- geol. Aufnahme von 2 Brustankerbohrungen VLE
- geol. Aufnahme einer Tastbohrung von VJO Stat. 2030m
- laufende Gefügedatenauswertung

TATSÄCHLICHE SITUATION NACH ERFOLGTEM DURCHSCHLAG



-  Schwarzschiefer bis Graphitphyllit
-  Quarzphyllit
-  Grünschiefer

4. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION

Wir haben gesehen, in welcher übersichtlicher Weise die Darstellung geologischer Daten mit Hilfe der EDV gelingen kann. Die Mitarbeiter des Büros haben es in dieser Hinsicht schon auf eine beachtliche Meisterschaft gebracht.

Die Grundlage jeder geologischen Prognose für ein Tunnelbauwerk ist die sorgfältige Aufnahme und Dokumentation baugelogeischer Geländedaten sowie deren fachgerechte Auswertung (geologische Vorerkundung). Steht zur geologischen Erkundung ein Pilot- oder Sondierstollen zur Verfügung, bietet uns dessen baugelogeische Dokumentation eine wesentliche Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte, die für die Ausschreibung des zu errichtenden Tunnels notwendig sind.

Es sind dies die Schritte von der **Dokumentation** über die **Auswertung** der Daten zur **Prognose** der Gebirgstypen. Man kann einen Sondierstollen quasi als eine horizontale Bohrung betrachten, die begehbar ist, aus der Proben an beliebigen Stellen entnommen werden können, in der seismische Untersuchungen gemacht werden können, in der felsmechanische Versuche und Messungen gemacht werden können, aus der also alle möglichen Informationen im Hinblick auf den Vollaussbruch gewonnen werden können.

Anhand eines aktuellen Tunnelprojektes in der Nördlichen Grauwackenzone von Salzburg kann gezeigt werden, wie wir eine Prognose der für den Tunnelausbruch erwarteten Gebirgstypen erarbeitet haben. Gegenüber den bisher gezeigten geologischen Arbeitsschritten sind im endgültigen geologischen Schnitt alle wesentlichen Informationen möglichst übersichtlich zusammengestellt. Die Dokumentation eines Sondierstollens enthält alle "objektiv" zu beobachtenden, zu messenden Daten. Im geologischen Schnitt des Stollens dem **Endprodukt der baugelogeischen Dokumentation** sind diese in Form von fortlaufenden Balkendarstellungen eingetragen (siehe Abb. 13):

Der Plan enthält folgende Informationen:

Geologischer Längsschnitt - Horizontalschnitt

Grafische Darstellung der Verteilung der verschiedenen Gesteinsarten im geologischen Längs- und Horizontalschnitt, mit tektonischen Elementen (Stellung der Hauptgefügeelemente, Trennflächengefüge, Störungen, etc. Gefügesymbole, Fallzeichen).

Vortriebsklasse

Dokumentation der beim Stollenvortrieb aufgefundenen Vortriebsklassen. Diese Spalte zeigt, wie sich das Gebirge unter den Bedingungen des Fräsvortriebes präsentiert hat. Sie ist nicht frei von gewissen persönlichen Wertungen, stellt jedoch die einvernehmlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festgelegte Klassifizierung dar.

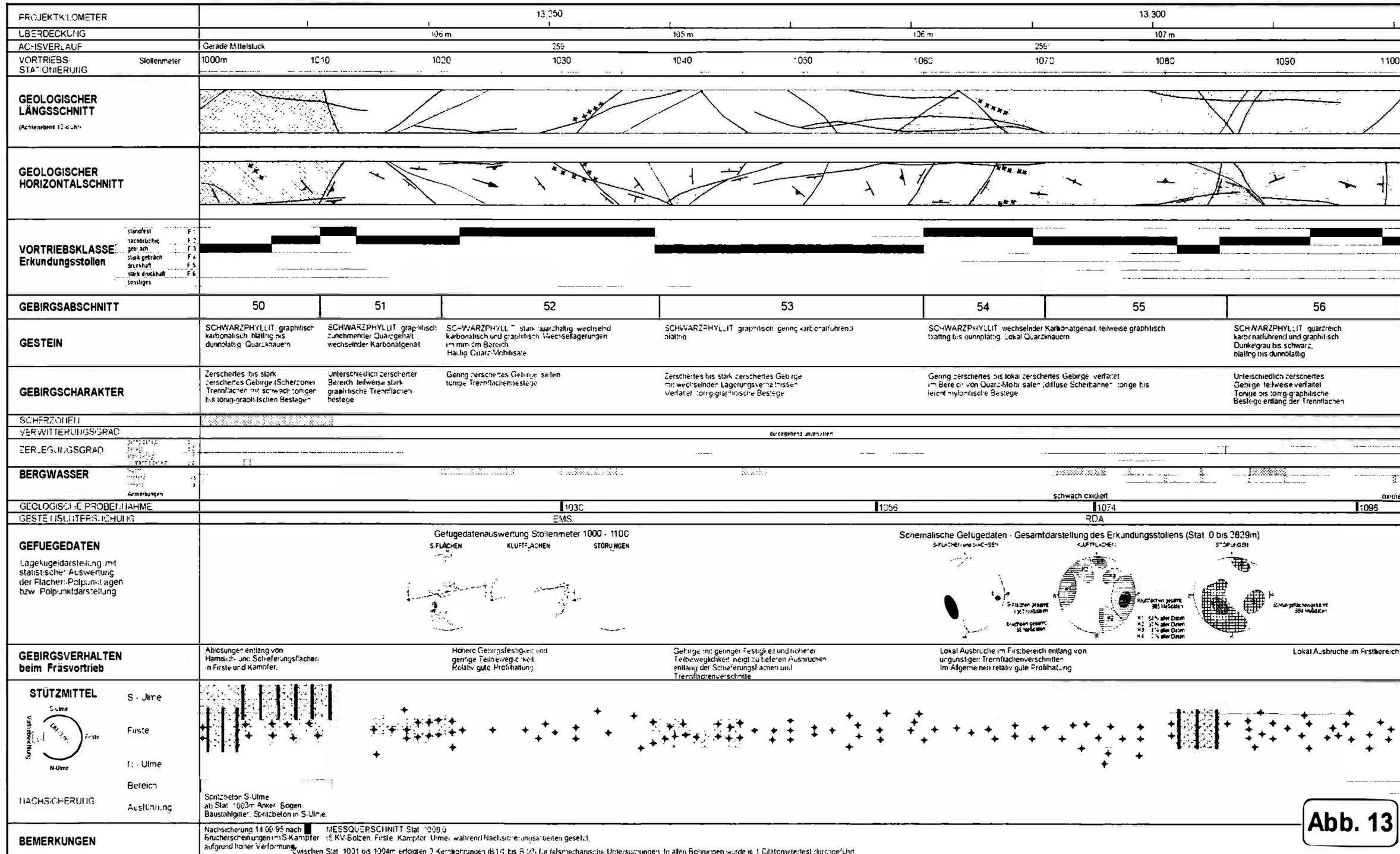
Diverse geologische Balkendarstellungen:

Beschreibung der Gesteine und des aufgefundenen Gebirges, Verwitterungsgrad-, Zerlegungsgrad- und Bergwasser-Eintragungen, Gefügedaten-Lagenkugel-diagramme sowie eine Beschreibung des Gebirgsverhaltens beim Sondierstollenvortrieb.

Stützmittel

Im Zusammenhang damit ist auch die Dokumentation der eingebauten Stützmittel interessant. Sie drückt aus, was das Gebirge beim Sondierstollenvortrieb sozusagen an Stützmaßnahmen "gebraucht" hat. Auch die nachträglich eingebauten Sicherungen sind hier von Interesse, da sie Rückschlüsse auf das Gebirgsverhalten im zeitlichen Verlauf erlauben. Der Zeitfaktor kommt hier ins Spiel.

Die **Auswertung** (enthält das Wort "*Wertung*") dieser Sondierstollendokumentation enthält Zusammenfassungen von geologischen Daten, Gruppierungen in diverse Klassen, Klassifizierungen und auch Bewertungen. In der Abbildung 14 wird beispielhaft eine solche Auswertung dargestellt. Sie enthält im vorliegenden Fall als erstes Kriterium den allgemeinen Balken "Geologie" mit Bewertung in "gut mittel -schlecht" mit verschiedenen Farben (bzw. Signaturen) dargestellt.



Stollenmeter 1000 - 1100

LEGENDE:
Die Gesteinsarten können aus Darstellungsgründen vom tatsächlichen Einfallen der Schichten abweichen!

GESTEINSARTEN:

- PHYLIT im Allgemeinen Schwarz-Karbonat- und Senz(phyllit)
- quarzreicher PHYLIT / QUARZPHYLIT (Karbonatfrei bis karbonatarm)
- graphische PHYLIT / GRAPHITPHYLIT (wechselnder Karbonat-Quarzgehalt)
- PHYLIT / KARBONATSCHIEFER Wechselfolge (kennraumige Wechselagerung)
- KARBONATSCHIEFER (geringe phyllitische Anteile)
- QUARZ-KARBONATSCHIEFER, braungrau (varierende Quarz- / Karbonatgehalte)
- MARMOR mit KARBONATSCHIEFER wechselnd (varierende Karbonatgehalte)
- DERBOJARZ Quarz-(Karbonat-)Mobilisate

STÖRUNGEN / SCHERZONEN:

- Störung (stark zersichert bis mylonitische Fels)
- Störung (Scherbahn, Harnisch mit geringer Mächtigkeit)
- Stark zersichertes Gebirgesteigen

FALLZEICHEN:

0 5 6 30 3 60 61 84 85 90 b Achse

BERGWASSER:

- während TBK-Vortrieb
- nach Vortriebsende Stand Ende Nov. 95
- während Vortrieb und nach Vortriebsende

STÜTZMITTEL:

- Anker (Swellex oder SN Länge 1,2 bis 2,1m)
- Baustahlgitter (AQ 42)
- Spritzbeton (d=3 bis 10cm)
- Baustahlgitter (AQ 42) und Spritzbeton (d=3 bis 10cm)
- Streckenbogen U 100 (Bogenabstand schematisch)

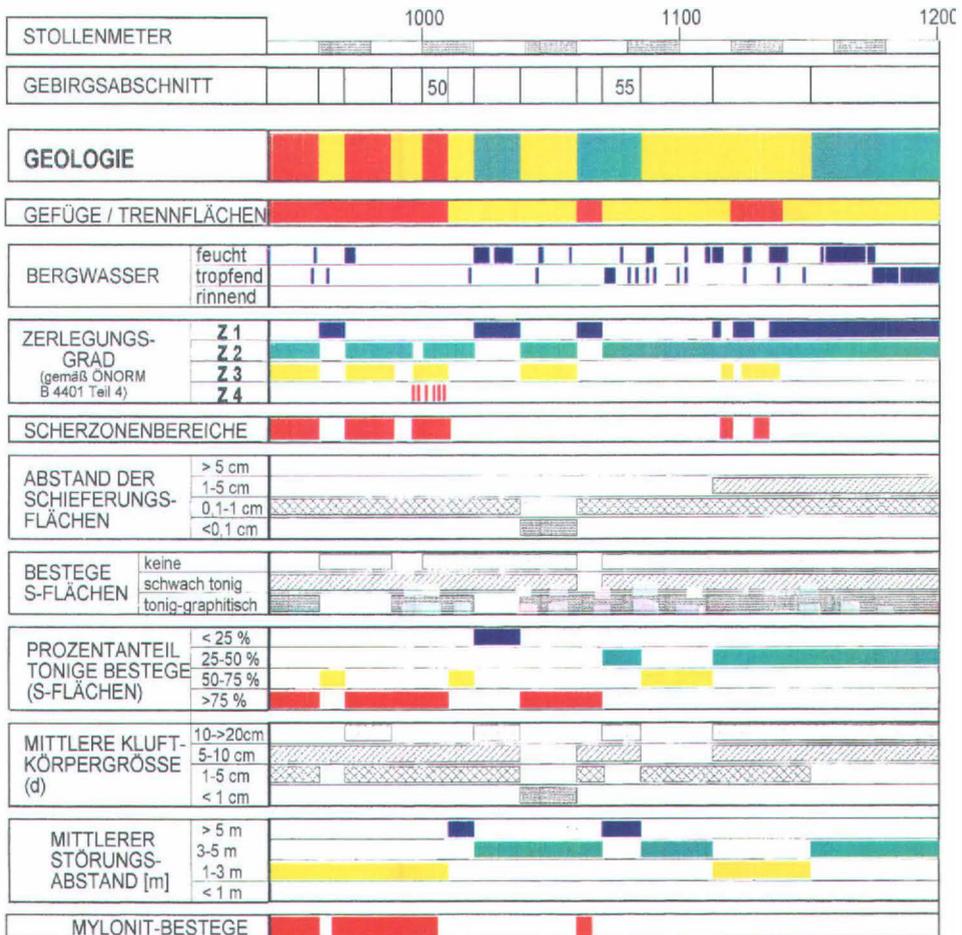
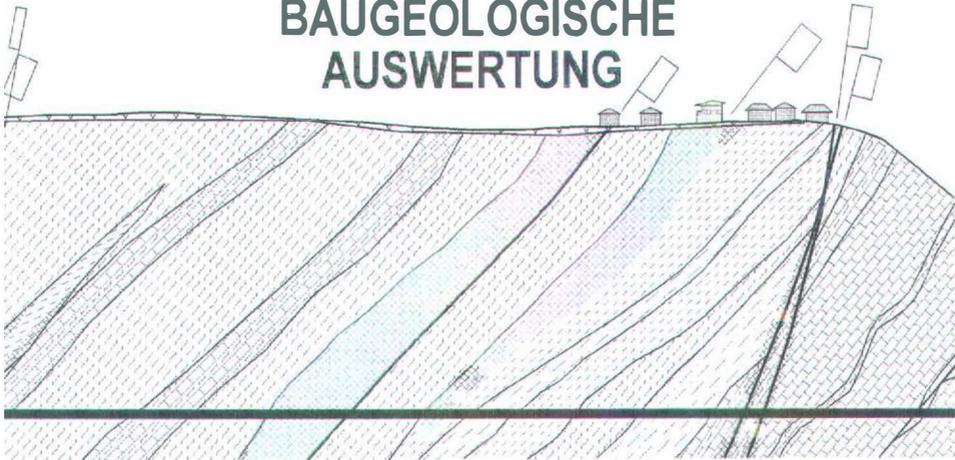
ZT Dr. Werner FÜRLINGER
Ingenieurkonsultant f. Tech. Geologie
Karlbaumweg 12 50229 SALZBURG
Tel. 0662 435845 Fax 0662 4358454

Stand Nov 1995
GZ 95-07
Mafstab 1:200
Bearb.: Stachmann
Aufgenommen: Sekyra / Stadtmann

**B 311 - Pinzgauer Straße
Umfahrung Schwarzach
SCHÖNBERGSTUNNEL -
Erkundungsstollen**
Geologische Dokumentation
Stollenmeter 1000 - 1100

Abb. 13

BAUGEOLOGISCHE AUSWERTUNG



Weiters wurden die baugelologischen Daten der Dokumentation aufbereitet und in Balkendarstellungen umgesetzt. Die Darstellung erlaubt eine Zusammenschau verschiedener wichtiger baugelologischer Daten auf einen Blick. Zum Beispiel für den Bereich um 1000m (siehe Abb. 14):

Eine Häufung von "schlechten" Gebirgseigenschaften führt zum Beispiel zu einer Zuordnung zu ungünstigen Gebirgsklassen:

- Geologie rot ("schlecht")
- Zerlegungsgrad mittel bis hoch.
- Scherzonen vorhanden, Mylonit-Bestege vorhanden
- Abstand der Schieferungsflächen klein.
- Bestege tonig, hoher Prozentanteil toniger s-Flächen,
- mittlere Klufkörpergröße klein, geringer mittlerer Störungsabstand

Für die Beurteilung des voraussichtlichen (prognostizierten) Gebirgsverhaltens wurden auch noch andere Kriterien herangezogen (siehe Abbildung 15). Eine durch den ganzen Stollen gezogene seismische Untersuchung gibt hier wertvolle zusätzliche Anhaltspunkte. In der Verteilung der P-Wellen kommen zum Beispiel kompakte und weniger kompakte Gebirgsabschnitte gut zum Ausdruck. Diese gesamten Bewertungen führen zu einer Zuordnung des entsprechenden Tunnelabschnittes zum jeweiligen Gebirgstyp. Im hier gezeigten Beispiel Stat. 1000m zum Gebirgstyp C2.2 "druckhaft" (siehe Abb. 15).

Die endgültige Prognose wurde gemeinsam mit dem projektierenden Bauingenieur und mit den Vertretern des AG, die vor Ort die Bauleitung haben werden, erstellt. Hier finden schließlich auch noch "nicht geologische" baubetriebliche Aspekte Eingang.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wir haben versucht, zu zeigen, wie die verschiedensten Hilfsmittel herangezogen werden können, um damit große Datenmengen mit geringem Personalaufwand in relativ kurzer Zeit aufzubereiten, darzustellen und zu interpretieren. Hier sehen wir die großen Vorteile, die uns mit den modernen EDV-Methoden und mit leistungsfähigen Geräten heute zur Verfügung stehen.

Diese Arbeitsweise ist von einer modernen Tunnelbaustelle nicht mehr wegzudenken.

Um den geologischen Input, also die sorgfältige Erhebung der Daten und die zweckmäßige Eingabe kommen wir allerdings nicht herum.

Erleichterungen könnten eventuell noch erzielt werden, zum Beispiel durch die Verwendung von elektronischen Gefügekompassen, oder die digitale Auswertung von elektronischen Ortsbrustbildern. Daran wird gearbeitet.

Erspart bleibt uns auf keinen Fall die geologische Knochenarbeit der aufmerksamen Beobachtung des Gebirges beim Vortrieb. Allein an diesen Anforderungen kann erlassen werden, daß auf Tunnelbaustellen sehr hoch qualifizierte Baugeologen zum Einsatz kommen müssen.

Mittelfristig und langfristig wird es unser Ziel sein, auch fachübergreifend integrierte Darstellungen zu erarbeiten. Es ist anzustreben, die geotechnischen Messungen (Konvergenzen, Setzungen etc.) gemeinsam mit den baugeologischen Daten anschaulich darzustellen.

Es müßte interessant sein, das Gebirge, das wir durchörtern wollen, mit seinen wichtigsten Eigenschaften in einer 3-D Darstellung so zu

modellieren, daß wir jeden Abschlag im Voraus sozusagen schon virtuell vorwegnehmen können. Ständige Rückkoppelungen mit den auf der Baustelle gemachten Erfahrungen werden das Modell verfeinern und für kurzfristige Vortriebsprognosen brauchbar machen.

Mit jedem neuen Projekt, das wir in der Praxis auf diese Weise betreuen können, werden wir uns diesem Ziel ein weiteres Stück annähern.

Autoren:

Dr. Werner FÜRLINGER, Mag. Thomas STADLMANN

Büro Dr. Werner Furlinger

A-5020 Salzburg, Karlbauernweg 12/20

**Die Abwasserreinigungsanlage
"CAVERNA CLOACA"
in Hinterstoder/OÖ**

Ingenieurgeologische Projektierungs- und Bau-Begleitung

D. KREYSLER

Erste Projekte

Um die Probleme der Abwasserentsorgung des Stodertales, dem Oberlauf der Steyr in Oberösterreich, zu lösen, beschloß die Gemeinde Hinterstoder im Jahre 1979 die Errichtung einer Kanalisation und einer Abwasserreinigungsanlage. Unter Berücksichtigung des Anschlusses der Gemeinde Vorderstoder sowie den durch den Fremdenverkehr vor allem im Winter zusätzlich anfallenden Abwassermengen wurde eine erforderliche Kapazität von 9000 EGW (Einwohnergleichwerten) bestimmt. Mit der Projektierung des gesamten Systems wurde das Zivilingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft Dipl.-Ing. Inno ALBER/Villach beauftragt.

Anfang der Achzigerjahre wurden Standorte im Ortsgebiet von Hinterstoder (Jaidhauser Au, Prielkreuzbrücke) untersucht, aber aufgrund der begrenzten Flächennutzungsmöglichkeiten und der Umweltschutzaspekte wieder verworfen (Bild 1). In weiterer Folge konzentrierten sich die Untersuchungen auf den Standort "Strombauer" außerhalb des besiedelten Talbodens rund 1,5 km die Steyr flußabwärts.

Zunächst standen drei Zuleitungsvarianten der Abwässer zur Kläranlage zur Diskussion: eine Freispiegelleitung entlang des Steilufers der Steyr, eine Pumpdruckleitung der Stodertaler Landesstraße folgend und ein Freispiegelstollen durch den Poppenberg.

Im Zuge der Überlegungen hinsichtlich dieser Zuleitungsmöglichkeiten wurde das Ziviltechnikerbüro Dr. Walter NOWY, Ingenieurkonsulent für Technische Geologie/Klosterneuburg, als ingenieurgeologischer Berater hinzugezogen. Nach einer Vorauswahl wurde lediglich die vorgesehene Trasse des Freispiegelstollens durch eine Geländekartierung und Bohrungen erkundet. Noch während dieser Untersuchungen wurde die Idee geboren, den gesamten Kläranlagenkomplex in einem Kavernensystem im Poppenberg unterzubringen. Die endgültige Entscheidung für diese Lösung wurde unterstützt durch diesbezügliche Eindrücke des Projektanten aus dem skandinavischen Raum, vergleichende Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Stollen- und der Kavernenvariante, die Möglichkeit, eine in einer sensiblen Tourismusregion weitgehend unauffällige Anlage zu errichten sowie die ausgezeichneten Gebirgsverhältnisse am Fuße des Poppenberges.

Die Kavernenanlage im Poppenberg

Zur tiefgreifenden Erkundung des Gebirges in bezug auf petrographische Verhältnisse, Gefügeinventar, Ausbruchverhalten und Bergwassersituation wurde Anfang 1991 ein 60 m langer Sondierstollen mit einem Querschnitt von 8,5 m² ausgeführt. Nach einem refraktionsseismischen Erkundungsprogramm zur Ermittlung der festen Felsoberfläche unter der Hangschuttschwarte folgte eine Optimierungsphase der Lage und Querschnittsgeometrie der Kavernen, in der anlagen- und verfahrenstechnische Anforderungen und Ziele mit felsbaulichen Randbedingungen in Einklang gebracht werden mußten. Letztendlich wurde ein System von zwei Zugangstollen (Sand-Fettfang und Zufahrt), einer vorderen Querkaverne (Gebläseraum, Schlammbehandlung), zwei Hauptkavernen für das Belebungsbecken (Querschnitt 108 m²) und das Nachklärbecken (146 m²) und einer hinteren Querkaverne

(Dükerleitung) gewählt (Bild 2). Insgesamt waren dazu ca. 15.000 m³ Material abzubauen.

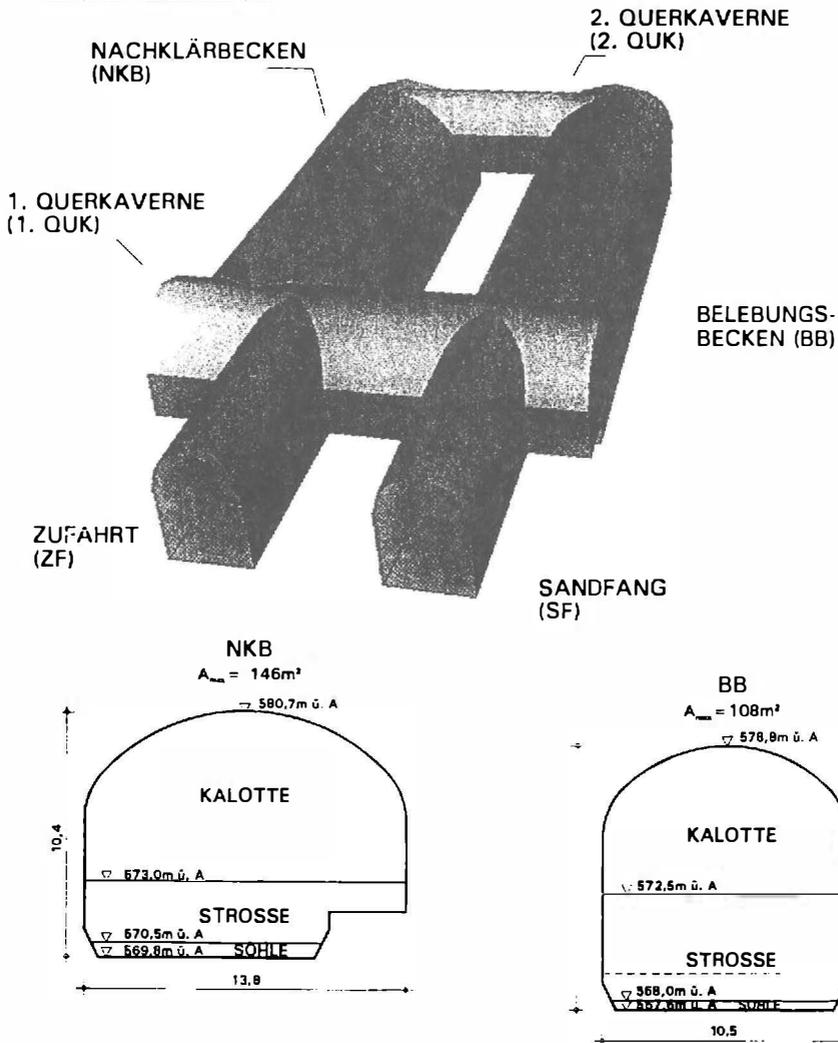
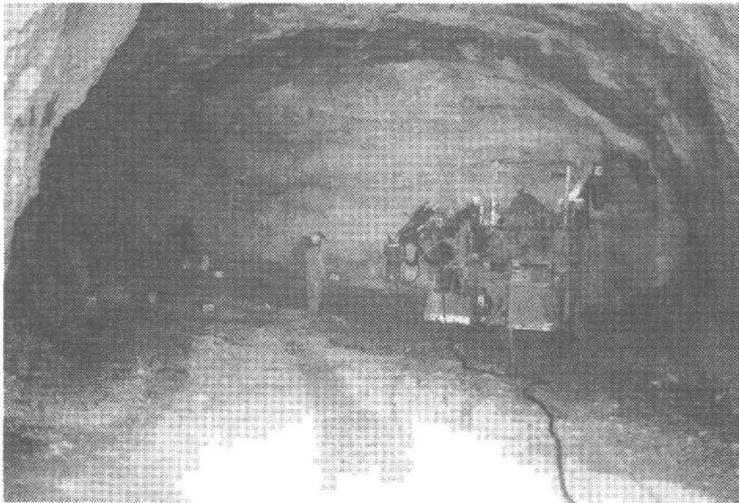


Bild 2: Schematische räumliche Darstellung der Kavernenanordnung mit Bezeichnungen ohne Maßstab sowie Querschnitte der Hauptkavernen mit Vortriebsunterteilung

Der konventionelle Ausbruch der Kavemen begann im August 1991 und erfolgte im Zwei-Schicht-Wochenbetrieb in den drei Teilabschnitten Kalotte - Strosse - Sohle in Richtung E bis ESE (100°). Aufgrund des äußerst standfesten Gebirges reichten als Sicherungsmaßnahmen vereinzelte Ankerungen absturzgefährdeter Felskörper mittels 3m langen Ankern des Systems SWELLEX sowie örtliche Spritzbetonversiegelungen zur Vermeidung von Auflockerungen aus, sodaß die Ausbruchsarbeiten bereits nach acht Wochen beendet werden konnten (Bild 3). Zur Kontrolle des Ausbruchsverhaltens wurden Extensometer- und Konvergenzmessungen vorgenommen.

Bild 3: Bohrarbeiten an der Kalottenbrust im Nachklärbecken (Foto: N. HEIM)



So wie bereits beim Sondierstollen erfolgte eine permanente ingenieurgeologische Baustellenbetreuung und Dokumentation. Bei den am Projektstandort angetroffenen Gesteinen handelte es sich primär um den hellen, dickbankigen sogenannten Mittleren Hauptdolomit (TOLLMANN, 1985) mit Übergängen und

Einlagerungen des dunklen, engschichtigen teils bituminösen Unteren Hauptdolomits sowie dunkler, zerscherter bzw. zerrütteter Mergelbänder. Diese für die Trias (mittleres Karn bis mittleres Nor) der Nördlichen Kalkalpen typischen Gesteine gehören der Ötscherfazies, einer Subfazies der Dachsteinkalkfazies an. Tektonisch gesehen liegt der Standort in der Totengebirgsdecke des Tirolikums wenig nördlich der Stirnfront der nächsthöheren von Süden aufgeschobenen Warschneckdecke.

Von größerer Variationsbreite und für die Ausbruchsverhältnisse maßgebend war erwartungsgemäß das Gefügeinventar. Aus der Gesamtheit aller durchgeführten Messungen konnten neben dem Schichtflächenkomplex (SS) fünf Kluftsysteme (K1-K5) identifiziert werden.

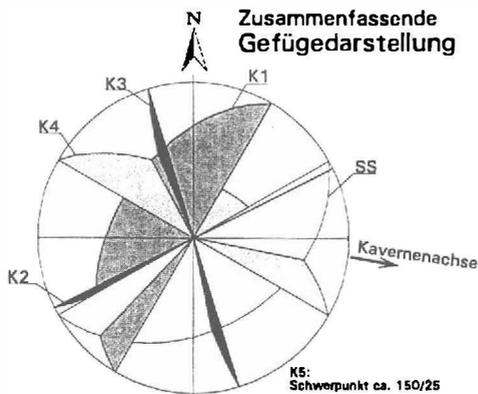


Bild 4: Zusammenfassende Gefügedarstellung

Die während des konventionellen Vortriebs, verlaufend in Richtung E bis ESE (100°), getätigten Messungen des Schicht- bzw. Bankungsgefüges (SS) ergaben mittelsteiles Einfallen gegen SSE. Der Großteil dieser wiederholt suturierten Flächen war von einem schwarzen, schluffig-tonigen, teils zerscherten Belag gekennzeichnet. In den dunklen, mergeligen Bereichen traten diese sonst eher weitständigen Trennflächen in dm- bis cm-Abständen auf und bewirkten eine linsige Zerlegung dieser Pakete. Die Kluftscharen (parallel zur Hangoberfläche, normal und subparallel zum Schichtflächengefüge) zeigten häufig deutliche Anzeichen eines Oberflächeneinflusses in Form von ockerfarbenen, teilweise oxidierten, sandig-grusigen bis lehmigen Füllungen.

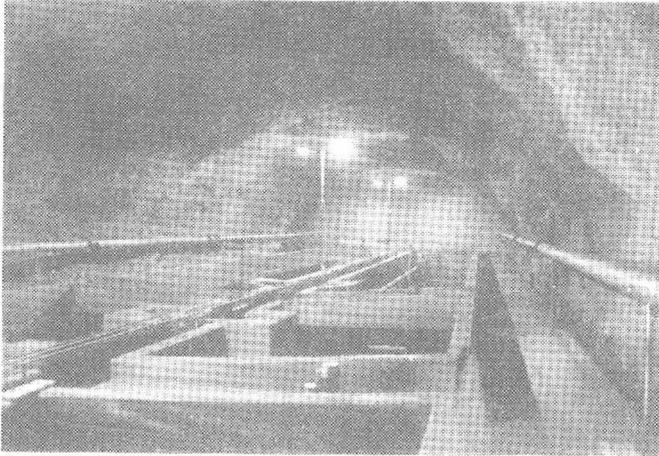
Nach dem Zerlegungsgrad konnte das Gebirge grob in drei Zonen unterteilt werden. Bis ca. 10 m hinter die Hangoberfläche reichte eine Auflockerungszone, in der sowohl massige als auch plattig-bankige Dolomite durch die Kombination mehrerer Kluftsysteme intensiv zerlegt waren. Im mittleren Bereich des Ausbruchs bis Station ca. 40 m dominierte das Schichtgefüge sowohl des linsig verfäلتelten als auch des regelmäßig und ruhig gebankten Dolomits, während im hintersten Abschnitt weitgehend der massige Dolomit mit Einlagerungen von mergeligen Bänken angetroffen wurde.

Nennenswerte Wasserzutritte waren im oberflächennahen Bereich entlang einer markanten, intensiv ss-parallel zerlegten Zone, am Firstverschnitt der vorderen Querkaverne mit dem Belebungsbecken, an der hintersten Ortsbrust des Nachklärbeckens aus einer mylonitischen, grusig-sandig verfüllten Kluft und punktuell aus der Sohle beider Hauptkavernen zu beobachten. Um diesen Wasserzutritten dauerhaft zu begegnen, wurden eine Folienauskleidung des Kalottengewölbes, eine Sohlankerung sowie Fassungen und Abpumpvorrichtungen angeordnet.

Im Januar 1992 begannen die Baumeisterarbeiten in den Kavernen, die aufgrund der beengten Raumverhältnisse und der komplizierten Geometrien der herzustellenden Betonelemente eine besondere Herausforderung an die Baufirma TIEFBAU Ges.m.b.H./Wien stellten

(Bild 5). Teilweise schon während dieser Arbeiten wurde mit der anlagen- und maschinentechnischen Ausrüstung begonnen.

Bild 5: Begehbare Kronen im fertiggestellten Belebungsbecken



Das Portalbauwerk

Das Bauwerk vor den Portalen des Zufahrt- und des Sandfangstollens sollte die Siebanlage, die Schlammpresse sowie die Schaltzentrale, die Werkstatt und das Labor beherbergen. Dessen Gründung im Übergang des Abhanges des Poppenberges zum Flußbett der Steyr ließ inhomogene, nur mit Sonderbaumaßnahmen zu bewältigende Verhältnisse erwarten.

Zu deren Erkundung wurden zwei Erkundungsbohrungen und ein Refraktionsseismikprogramm ausgeführt. Das sich ergebende Bild des Untergrundes zeigte unter einer Überdeckung aus reinem Hangschutt

eine Zone, in der sich der Hangschutt mit fluviatilen Sedimenten der Steyr verzahnte. Darunter wurde die Oberfläche des Dolomits in einem unruhigen Verlauf mit Rippen und Kolken prognostiziert.

Während des Baugrubenaushubes mußte der Hangschutt bis zu 15m hoch mit einer Neigung von 3:1 angeschnitten werden. Die Sicherung erfolgte mittels einer Bodenvernagelung. Die Oberflächen der einzelnen Aushubetagen wurden flächenhaft durch Baustahlgitter und Spritzbeton abgedeckt. Anschließend wurden in einem versetzten, doppelten Raster von 3,0x2,0m Bodennägel (GEWI-Stähle in mörtelverfüllten Bohrlöchern) hergestellt (Bild 6). Zusätzlich wurden mit geschlitzten PVC-Rohren bestückte Entwässerungsbohrungen angesetzt.



Bild 6: Bohrgerät auf der ersten Aushubetage

Da die Fundamentplatte teils auf Fels und teils auf Lockergesteinen zu liegen kam, wurde, um schädliche ungleiche Setzungen zu vermeiden, beschlossen, die Plattenränder über dem Hangschutt bzw. den fluviatilen Sedimenten über GEWI-Pfähle ebenfalls auf den festen Fels zu gründen (Bild 7). Auf dieser nun durchgehend unnachgiebigen Basis wurde schließlich das Portalbauwerk errichtet, dessen Rohbau Anfang Juni 1993 fertiggestellt war.

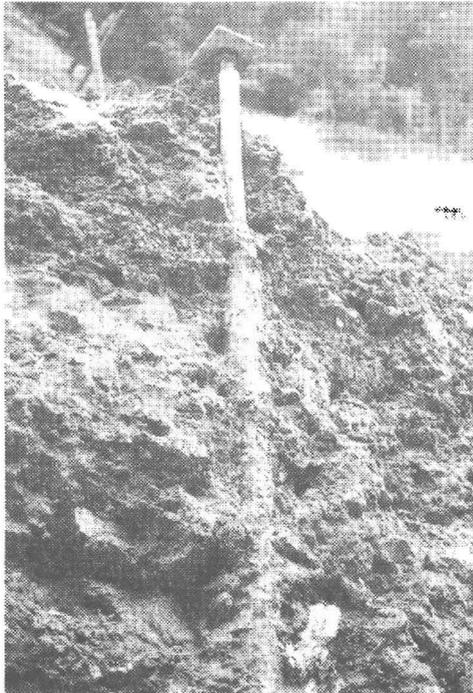


Bild 7: Freigelegter GEWI-Pfahl im Verbund mit dem umgebenden Boden

Die Abwasserreinigungsanlage

Der Weg des Abwassers im Reinigungssystem (Bild 8) beginnt mit dem Durchlaufen der Rechenanlage (2) und des Sand/Fettfangs (6). Die abgezogenen Feststoffe werden einer Entsorgung oder Wiederverwertung zugeführt. In der südlichen Hauptkaverne befinden sich die Belebungsbecken Anaerobie (7), Denitrifikation (8) und Nitrifikation (9), wo in dem leistungsfähigen und gleichzeitig raumsparenden sogenannten LINPOR-CN-Verfahren in Schaumstoffwürfeln angesiedelte Bakterienkulturen den Abbau der Kohlenstoffverbindungen und die Umwandlung von Ammoniumstickstoff in Nitratstickstoff übernehmen. Im Nachklärbecken (12) setzt sich der mitgeführte Schlamm ab, wird der Schlammbehandlung (18-22) zugeführt und durch Entwässerung für die Abgabe an die Landwirtschaft vorbereitet. Das von allen Rückständen gereinigte Wasser wird abschließend über einen Ablaufmeßschacht (16) in den Vorfluter, die Steyr abgeführt.

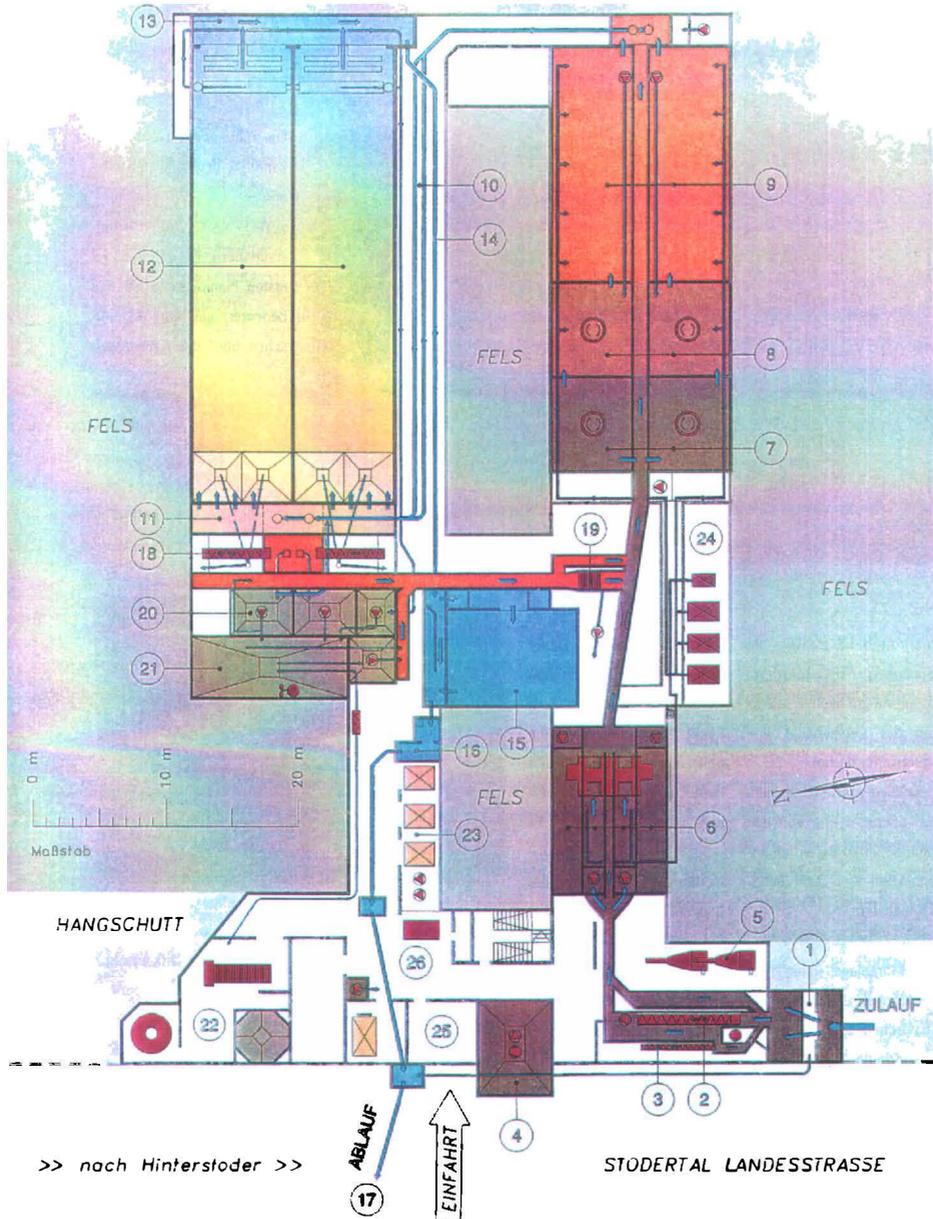


Bild 8: Anlagenschema (aus der Festschrift zur Eröffnung)

Nach dem Probetrieb im Dezember 1993 konnte die erste Anlage dieser Art in Österreich, die sich auch durch ihre architektonische Gestaltung schonend in die sensible alpine Landschaft integriert, am 17. September 1994 ihrer Bestimmung übergeben werden.

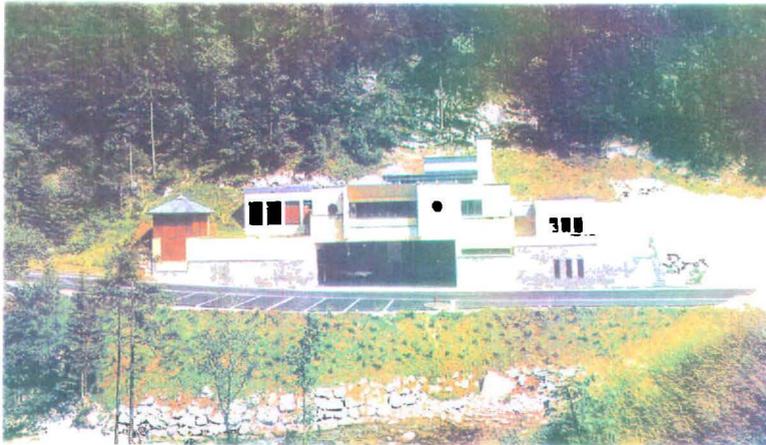


Bild 9: Panoramaansicht des fertigen Portalgebäudes
(aus der Festschrift zur Eröffnung)

Zusammenfassung

Bei der Errichtung der ersten Untertagekläranlage Österreichs mit dem Vulgonamen "Caverna Cloaca" in Hinterstoder/OÖ konnten felsbauliche, grundbauliche und anlagentechnische Projektierungs- und Herstellungsmethoden in einem konstruktiven Dialog der verschiedenen fachspezifischen Projektanten und ausführenden Firmen vereinigt werden. Die Ingenieurgeologie konnte sich als geowissenschaftlich-technische Fachdisziplin hervorragend in das Projektsteam integrieren und einen wesentlichen Beitrag zur Realisierung des komplexen Bauwerkes leisten.

Literatur

GEMEINDE HINTERSTODER (Hrsg.) (1994):
Abwasserreinigungsanlage und Kanalisation der Gemeinden
Hinterstoder und Vorderstoder Festschrift anlässlich der
Eröffnung am 17. September 1994. Hinterstoder 1994

KREYSLER, D. (1996): Die Abwasserreinigungsanlage "Caverna
Cloaca" in Hinterstoder/OÖ - Ingenieurgeologische Bearbeitung
und Betreuung des Projektes. Diplomarbeit am Institut für
Angewandte Geologie der Universität für Bodenkultur/Wien.
Wien 1996

ÖSTERREICHISCHER ALPENVEREIN (1971): Topographische
Karte Totes Gebirge Mitte, 1:25.000. Wien 1971

TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Bd.2,
Außerzentralalpiner Teil. Wien 1985

Autor:

Dipl.-Ing. Dietmar KREYSLER

Büro Dr. Nowy

A-3400 Klosterneuburg, Hermannstr. 4

Geologie und Geotechnik um die Altlast Langkampfen

S. EDER

1. Einleitung

1.1 Entwicklung der Altlast Langkampfen

Die Altlast Langkampfen, auch unter dem Namen „Deponie Elferbauer“ bekannt, liegt auf der orographisch linken Talseite des Inn. Sie stellt die Verfüllung einer ehemaligen Sand - Kiesgrube in einer Terrasse auf 480 505 m Seehöhe dar. Die genaue geographische Lage ist in Abb. 1 zu erkennen.

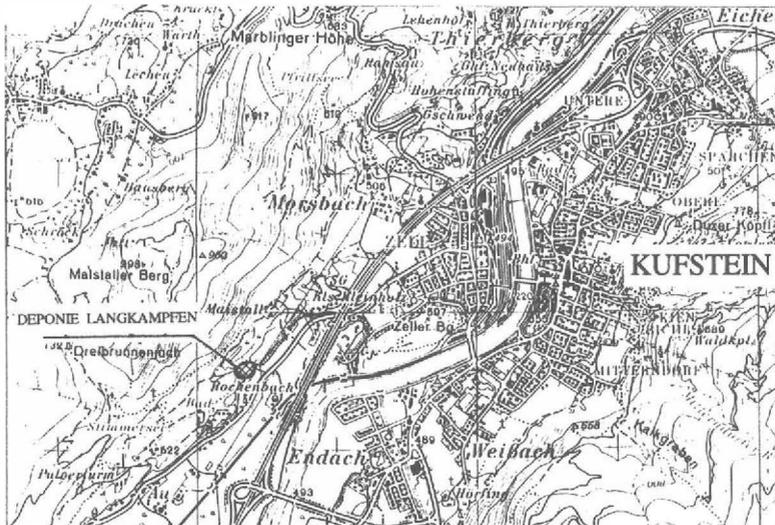


Abb. 1: Lagekarte

Abb. I: Geographische Lage

Nach Beendigung des Abbaus wurde eine 12 cm starke Sohlplatte betoniert und die unteren Bereiche mit Spritzbeton gesichert. Weiters wurde eine Hang- und eine Sickerwasserdrainage hergestellt. Von 1979 an wurde die Stadtgemeinde Kufstein zur Gänze auf besagte Deponie entsorgt. Es wurden vor allem Hausmüll und Klärschlamm, sowie in geringeren Mengen Industrie- und Gewerbemüll abgelagert. Die Deponie erreichte gegen Ende des Ablagerungszeitraums eine Fläche von ca. 15 000 m². Die Fläche der Sohlplatte betrug hingegen nur 5800 m². Es wurde stellenweise Müll direkt auf den gewachsenen Boden abgelagert. Bereits 1990 wurde eine Grundwasserkontamination durch die Deponie vermutet. Es wurden daher Pegel gebohrt und verschiedene hydrochemische Untersuchungen durchgeführt. Chemischer und biologischer Sauerstoffbedarf entsprachen den bei Hausmülldeponien üblichen Werten. Erhöhte Schwermetall- und Kohlenwasserstoffkonzentrationen wurden nicht festgestellt. Allerdings wurde eine stark erhöhte Leitfähigkeit durch Ammonium und Nitrationen beobachtet. Ein Vergleich mit unbelasteten, oberstromigen Pegeln ergab eindeutig eine Kontamination des Grundwassers und des in unmittelbarer Nähe befindlichen Rothenbachs durch die Deponie. Die Deponie Elferbauer wurde daraufhin mit Prioritätenklasse 2 in den Verdachtsflächenkataster des Umweltbundesamtes aufgenommen.

1.2 Sanierungs- und Sicherungsvarianten

Es gilt zunächst zwischen Sanierung und Sicherung zu unterscheiden. Bei einer Sanierung wird der die Umwelt gefährdende Stoff entweder aus dem Untergrund entfernt oder durch chemische, biologische oder physikalische Verfahren in einen ungefährlichen Stoff umgewandelt. Eine Sanierung war in Langkampfen aus technischen Gründen nicht möglich. Ein Aushub mit anschließender Umlagerung wäre zu teuer gekommen. Eine Nachnutzung wäre nur in Form einer Inertstoffdeponie möglich gewesen, da kein wasserstauer Untergrund vorhanden war.

Es kamen daher nur Sicherungsvarianten in Frage. Bei der Sicherung einer Altlast wird der Schadstoff zwar im Boden belassen, jedoch

werden alle mögliche Kontaminationspfade - Boden, Wasser, Luft, unterbrochen. Der Schadstoff wird von seiner Umwelt abgekapselt, man spricht von einer Einkapselung. Dazu gehören in Langkampfen vertikale Dichtwände, eine Oberflächenabdichtung und eine Entgasungsanlage. Diese war nur zu Sicherungszwecken, nicht zur Energiegewinnung vorgesehen, da hierfür eine permanente Wasserzugabe in den Müllkörper („Reaktor“) erforderlich wäre, um eine Gasproduktion über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht zu erhalten.

1.3 Erkundungsmaßnahmen

Nach der Projektierung der Einkapselung mittels vertikaler Dichtwände galt es, einen stauenden Horizont für die Einbindung der Dichtwand zu erkunden. Man ging von einer Einbindung der gesamten Wand in Fels aus, da andere Stauhorizonte in den ersten Erkundungsbohrungen nicht erkannt worden waren. Diese ersten Erkundungsbohrungen hatten jedoch alle auf Höhe der Sohlplatte geendet. Um den Verlauf der Felsoberkante erfassen zu können, wurden weitere fünf Bohrungen mittels Airliftverfahren und später mittels Im-Lochhammer abgeteuft. Daher waren die Aufschlußmöglichkeiten im überlagernden Lockermaterial begrenzt. Bei diesen Bohrungen wurde in etwa 30 m Tiefe ein Horizont aus Feinsanden und Schluffen entdeckt. Um diese Schicht, die im weiteren als Seeton bezeichnet wird, exakter zu erfassen, wurde eine zusätzliche Kernbohrung abgeteuft. Zusätzlich wurden geoelektrische und refraktionsseismische Untersuchungen durchgeführt. Bei den seismischen Erkundungen machten sich eine ungünstige Geophonaufstellung, die für eine Erfassung der Felsoberfläche ausgelegt war, und eine Störung der Wellen durch den Müllkörper unangenehm bemerkbar.

Die abgeteuften Bohrungen wurden sämtlich zu Beobachtungspegeln ausgebaut, um über die Grundwasserverhältnisse genauere Aufschlüsse zu gewinnen.

1.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Durch diese Pegelmessungen wurden drei getrennte Grundwasserhorizonte entdeckt.

1. Auf der Nordseite der Deponie befindet sich im Terrassenkörper eine Eintiefung. In dieser Senke liegt der Grundwasserspiegel an der Oberfläche. Bei einer ersten Geländeaufnahme zeigte sich, daß der Rothenbach bereichsweise auf einer Geländekuppe fließt. Durch umgestürzte Bäume oder durch Baumaßnahmen wurde der Bach bei Hochwasserereignissen in jene Senke umgeleitet, um stromabwärts liegende Gehöfte vor Überschwemmungen zu bewahren. Im letzten Jahrhundert befand sich in jener Senke ein See. Im Zweiten Weltkrieg wurde hier Torf gestochen. Der Torf bildet auch den Stauhorizont. Bei größeren Niederschlagsereignissen entspringt in der heute weitgehend trockengelegten und landwirtschaftlich genutzten Senke eine Wallerquelle.
2. Unter der Torfschicht fließt in einem mächtigen Sand - Kieskörper der Hauptgrundwasserstrom im Deponiebereich. Es handelt sich um einen flach geneigten Grundwasserkörper, der in nordöstlicher Richtung fließt und im Talboden in den Grundwasserbegleitstrom des Inn mündet. Durch die relativ geringe Durchlässigkeit dieser Schichten (k_f ca. 10^{-6} m/s) kommt es zu einem Einstau von Teilen der Deponiesohle. Bei Grundwasserhöchstständen steht sogar die gesamte Deponiesohle unter Wasser. Dieser Hauptgrundwasserstrom wird im Liegenden durch den besagten Seeton begrenzt.
3. Unter dem Seeton wurde in mehreren Bohrungen ein weiterer Horizont mit gespanntem Wasser entdeckt. In zwei Bohrungen kam es zu einer Aufspiegelung von 6 m über die Oberkante des Seetons. Dieses gespannte Wasser belegt eine völlige Trennung der beiden tieferen Grundwasserhorizonte. Daraus, sowie aus der großen Mächtigkeit des Seetons bis zu 15 m und seiner großen lateralen Verbreitung wurde auf eine großflächige Auflage des

Seetons auf die Felsoberfläche geschlossen. Weitere Untersuchungen ergaben günstige Bedingungen für eine Einbindung der Dichtwand in den Seeton.

2. Bautechnische Grundlagen

2.1 Verfahren zur Herstellung vertikaler Umschließungen

Vertikale Dichtwände können auf verschiedene Arten hergestellt werden als Bohrpfahlwände, Schmalwände, Spundwände, Injektionswände oder als Schlitzwände. Man unterscheidet Verfahren, bei denen der Boden verdrängt (z.B. Schmalwände) oder bei denen der Boden ausgetauscht wird (z.B. Schlitzwände).

Bodenaustauschverfahren bieten den Vorteil, Materialien mit genau definierten Eigenschaften in die Dichtwand einbauen zu können. In diesem Fall handelt es sich um sogenannten Erdbeton - ein Beton, dem Bentonit beigegeben wurde, um einen k_f -Wert von 10^{-8} m/s zu erreichen. In besonderen Fällen können auch spezielle Dichtfolien (Geotextilien) eingebaut werden. Die Schlitzwandtechnik bietet durch spezielle Aushubwerkzeuge (Schlitzwandfräse) die Möglichkeit, auch in Festgesteine einbinden zu können, während bei Spundwänden bereits Findlinge größere Probleme bereiten. Weitere Vorteile sind, daß bei Schlitzwänden ständig Material an die Oberfläche gefördert wird und von einem Geologen untersucht werden kann. Diese ständige Kontrolle der Einbindehorizonte gehört zu den Hauptaufgaben einer geotechnischen Bauaufsicht. Weiters kann bei Schlitzwänden die Vertikalität permanent überprüft werden. Auch diese Aufgabe wurde in Langkampfen von der geotechnischen Bauaufsicht wahrgenommen.

2.2 Grundlagen der Schlitzwandtechnik

Schlitzwände werden bereits seit dem letzten Jahrhundert eingesetzt und erlebten ihren bisher größten Einsatz im Talsperrenbau. Grundprinzip ist der Aushub des Bodens mittels Greifer oder Fräse. Während des Aushubs wird der Schlitz durch eine Stützsuspension

aus Bentonit gestützt. Bentonite gehören zu den hochquellfähigen Tonmineralen der Smektitgruppe und entstehen u.a. bei der Verwitterung vulkanischer Aschen. Nach dem Aushub wird ein Schüttrohr in den Schlitz eingeführt und von unten nach oben betoniert. Die steigende Betonsäule verdrängt bei diesem Zwei-Phasen System die Suspension, die abgepumpt und regeneriert wird. Beim Ein-Phasen System wird der Suspension Zement beigefügt. Ein gravierender Nachteil bei diesem System ist eine Vermengung von Dichtwandbeton und kontaminiertem Material. Eventuelle dichtwandaggressive Materialien können so ins Innere der Wand gelangen und den Beton von innen her zermürben. Weiters wird der Aushub bei tiefen Schlitzten langwierig und bei eventuellen Unfällen kann es zu einem Verlust des Aushubwerkzeugs kommen.

2.3 Fugenproblematik bei Schlitzwänden

Die Herstellung einer Schlitzwand erfolgt abschnittsweise in Elementen und Stichen. Ein Stich umfaßt immer die Länge des Aushubwerkzeugs. Zunächst werden zwei Primärstiche und in einem Schritt der verbliebene Steg ausgehoben. Der ganze Aushub wird in einem Zug betoniert, man spricht von einem dreistichigen Element. Zwischen zwei Primärelementen bleibt wiederum ein sogenanntes Sekundär- oder Finalelement übrig, welches wiederum ein oder dreistichig sein kann. Beim Betonieren werden eventuell in der Suspension abgesessene Sande und Feinteile durch die steigende Betonsäule an den Rand des Schlitzes gedrängt. Bei Finalelementen bildet sich so eine Fuge. Bei der Sanierung der Altlast Laakirchen in Oberösterreich wurden in 6 m Tiefe noch bis zu 30 cm mächtige Fugen aus Feinteilen und Sand angetroffen. Über deren Vorhandensein in größerer Tiefe und deren Langzeitverhalten konnten keinerlei Aussagen gemacht werden. Um solche Fugen in Langkämpfen von vornherein zu verhindern, wurden verschiedene Maßnahmen getroffen. Sämtliche Finalelemente wurden einstichig hergestellt, da es die Zeit zwischen Aushub und Betonieren möglichst zu minimieren gilt, um den Feinteilen keine Möglichkeit zum Absetzen zu geben. Weiters wurde vor dem Betonieren die Arbeitssuspension gegen eine Betonier-suspension ausgetauscht, da

eine alte, bereits lange eingesetzte Stützsuspension die Entstehung von großen Fuginhomogenitäten begünstigt. Die Qualität dieser Suspension wurde ständig vor der Freigabe zum Betonieren durch die geotechnische Bauaufsicht kontrolliert. Die Suspension wurde in ein bis zwei Tiefenstufen auf insgesamt sechs Parameter (Dichte, Sandgehalt, Viskosität, Fließgrenze, pH-Wert und Filtratwasser) untersucht.

2.4 Fräswerkzeuge

Der Felsaushub erfolgte mit einer Schlitzwandfräse. Die Fräse wurde aus Erfahrungen im Tunnelbau entwickelt. Zwei Fräsräder, welche mit verschiedenen Fräsworkzeugen bestückt sein können, lösen permanent Material vom Boden des Schlitzes. Größere Brocken werden zerbrochen und am Saugkasten durch starke Pumpen im Suspensionsstrom aus dem Schlitz befördert und zur Separationsanlage transportiert. Hier werden die mitgeführten Materialien auf zwei Sieben in Sand- und Kiesfraktion getrennt aus der Suspension entfernt. Die Suspension wird dann wieder zurück zum Schlitz befördert. Der Suspension kommt beim Fräsbetrieb eine dreifache Bedeutung zu: Materialtransport aus dem Schlitz heraus, Stützwirkung des Schlitzes und Kühlung der Fräsräder. Dabei wird die Suspension stark belastet und immer dünnflüssiger. Sand setzt sich sofort ab, die Stützwirkung nimmt ab, die Gefahr von Bentonitstürzen steigt. Nimmt der Boden wenig Suspension auf, nimmt die Gesamtmenge also nicht ab, muß Bentonit entsorgt werden. In Langkampfen wurden mittels einer Zentrifuge die Tonminerale und das Wasser getrennt. Erstere kamen auf die Deponie, letzteres wurde in kleinen Mengen, wegen seines hohen pH-Werts, ins Kanalnetz entsorgt.

In Langkampfen kamen zwei völlig verschiedene Fräsworkzeuge zum Einsatz. Einerseits diverse Arten von konventionellen Fräsworkzeugen, andererseits Rollmeißel, welche für Hartgesteine entwickelt worden waren. Mit den Zähnen können neben z.B. Schlier auch Konglomeratbänke o.ä. problemlos durchörtert werden. Der in

Langkampfen angetroffene Dolomit machte sich jedoch durch einen erhöhten Verschleiß und einen durch Reparaturen stark reduzierten Fräsfortschritt bemerkbar. Bei den Rollmeißeln wurden im Laufe der Bauarbeiten vom Entwicklerteam der Firma Bauer in Schrobenshausen/Deutschland laufend Verbesserungen vorgenommen. Insgesamt kamen in Langkampfen vier verschiedene Versionen von Rollmeißeln zum Einsatz. Bei der ersten Version traten zum Teil gravierende Probleme auf. Obwohl die Schneidelemente aus Hartstahl unbeschädigt waren, brachen die Rollen und die Meißel gingen im Schlitz verloren. Obwohl sie zum Teil geborgen und regeneriert werden konnten, war der Beginn der Bauarbeiten durch lange Stehzeiten, erhöhten Verschleiß und äußerst geringen Fortschritt gekennzeichnet. Die weiteren Rollmeißelversionen waren mit seitlichen Schneidrollen, verschieden großen Entlastungsrollen und bei einer letzten Version mit doppelten Lagern ausgerüstet. Diese Fräswerkzeuge zeigten sich den vorherrschenden geologischen Bedingungen gewachsen.

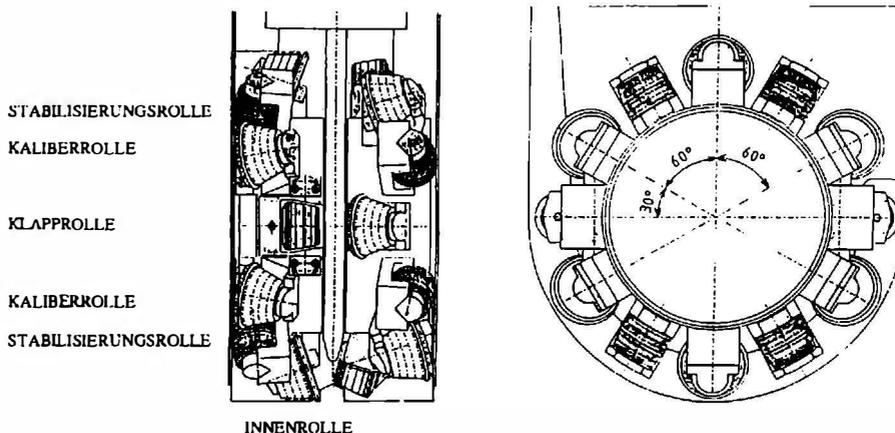


Abb.2: Neuentwickelte Rollmeißel der Fa. Bauer

3. Geologie

3.1 Geologisches Umfeld

Die Deponie Langkampfen liegt im Bereich der Nördlichen Kalkalpen. Der Inn durchbricht diese Barriere zwischen dem Kaisergebirge im Osten und den Ausläufern des Brandenberger Gebirges und der Thierseer Berge im Westen. Zu diesem Gebiet zählt auch jener Felsrücken, in dem ein Teil der Dichtwand eingebunden wurde.

Der Bereich westlich des Inns wird, eine Bezeichnung Tollmanns (1985) übernehmend, als Guffert-Pendling Antiklinale bezeichnet. Sie wird aus steilgestelltem Wettersteinkalk im Kern und ebenfalls steilgestellten Schichten aus gebanktem Hauptdolomit aufgebaut. Die Schichten des Karns (Raibler Schiefer) wurden tektonisch ausgequetscht. Der Wettersteinkalk baut die imponierende Nordwand des Pendlings und kleinere Wände am Maistaller Bergs auf. Der Hauptdolomit ist intensiv geklüftet und bereichsweise intensiv verwittert. Weiters treten noch Neokome Mergel der Thierseer Mulde und bereichsweise Gosaukonglomerate auf, die posttektonisch über Hauptdolomit und Wettersteinkalk abgelagert wurden. Diese Gesteine spielen allerdings für die geotechnische Betrachtung der Baustelle keine Rolle und werden daher hier nicht weiter beschrieben.

3.2 Einbindehorizonte

3.2.1 Hauptdolomit

Es handelt sich um graue bis hellbeige Dolomite, mit einer einachsialen Druckfestigkeit von ca. 80-100 kN/m². Problematisch war weniger die Härte als die bereichsweise starke Neigung der Schichten. Im Längenschnitt betrug die maximale Neigung 55°. In Bohrungen waren stellenweise mylonitisierte Zonen angefahren worden. Da nur unverwitterter, d.h. ungeklüfteter Fels eine ausreichende wasserstauende Eigenschaften besitzt, wurde die Einbindetiefe zunächst mit 5 m festgesetzt. Da die Felsqualität über

größere Strecken besser als erwartet war, wurde die Einbindetiefe im Verlauf der Bauzeit auf 3 m reduziert. Eine weitere Reduktion war wegen diverser Unsicherheiten nicht möglich.

Die Ansprache des Materials erfolgte anhand des auf dem Grobsieb der Separationsanlage angelieferten Materials. Je nach eingesetztem Fräswerkzeug unterschied es sich erheblich voneinander, was die Beurteilung erschwerte. Die Fräszähne lieferten bis zu faustgroße Brocken. Beim Rollmeißelbetrieb wurden nur mehr etwa schillinggroße, flache Cuttings, sogenannte Chippings gefördert. Die Fräszeiten dienten ebenfalls der Beurteilung der Felsqualität, allerdings hängen sie neben dem Abnutzungsgrad des Werkzeugs auch sehr stark vom Fahrstil des Gerätefahrers ab. Im Durchschnitt wurden für 10 cm Fräsfortschritt etwa 10-15 min. benötigt. Die Zeiten konnten allerdings auch bis zu einer Stunde für 10 cm betragen. Ein einmal genannter Richtwert, wonach 5 min. Fräsdauer für 10 cm Fortschritt einen kompakten, gesunden Fels anzeigen, konnte in Langkämpfen in keiner Weise festgestellt werden, da dieser Richtwert sogar im Lockermaterial (Seeton oder Sande-Kiese) um bis zu 5 min. überschritten wurde und zwar sowohl mit Zahnbesatz als auch mit Rollmeißelbesatz.

3.2.2 Seeton

Beim Seeton handelt es sich um eine Abfolge aus Feinsanden und Schluffen. Als Kriterium für die Einbindung wurde ein Schluffgehalt von mindestens 30 % in einem Element festgelegt. Die Beprobung erfolgte direkt in einer Mulde, mit der das Material auf die Halde befördert wurde. Etwa alle Meter, ab Erreichen des Seetons, wurde eine Probe gezogen. Drei Proben wurden durch ein Labor in Langkämpfen auf Schluffgehalt und Wassergehalt untersucht. Kontrollmessungen wurden durch die Materialprüfanstalt Tauernplan in Straß oder direkt auf der Baustelle durch die geotechnische Bauaufsicht durchgeführt. Pro Probe wurde ein Mindestschluffgehalt von 25 % gefordert. Bis auf eine Probe wurde dieser Wert von allen Proben erreicht. Der Durchschnittswert aller Proben von 30 % Schluff wurde in allen Fällen erreicht. In den Seeton wurde 5 m tief eingebunden. Bei einer Zwischenschaltung von mächtigeren

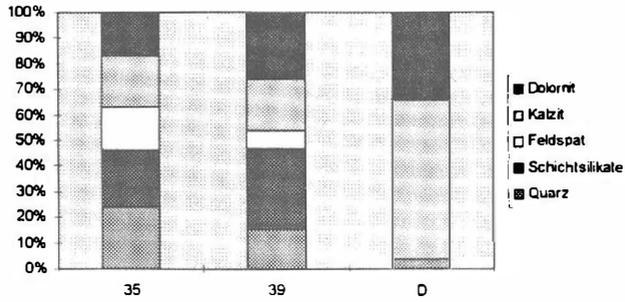
sandigeren Schichten wurde diese Einbindetiefe gegebenenfalls erhöht.

Die schluffigen Anteile des Seetons zeichneten sich durch eine rötlichbraune oder graublaue Färbung je nach Verfügbarkeit von Sauerstoff aus. Überlagert wurde er von bereichsweise festgelagerten Sanden und Kiesen. Während des Baustellenbetriebs und im Zuge der Geländekartierung wurde in mehreren Aufschlüssen eine Kreuz- und Schrägschichtung in den Sanden und Kiesen beobachtet. Weiters fiel bei den, den Seeton überlagernden Schichten das unmittelbare Nebeneinander von feinsandigen bis grobkiesigen Schichten auf. Eine Gradierung wurde nicht festgestellt. Vermutlich entstanden diese Schichten im Zuge der letzten Eiszeit, als der Inn in der Enge von Kufstein gestaut wurde. Hier verbleibt dem Inn nur wenig Raum zwischen dem Festungsberg von Kufstein und dem Zeller Berg, die beide aus Hauptdolomit aufgebaut werden. Zusätzlich münden in diesem Bereich mehrere Bäche in den Inn, die mit ihren Schwemmkegeln den Hauptfluß zusätzlich gestaut haben dürften. Im ruhigen Bereich dieses Stauwassers wurde der Seeton abgelagert und später durch gröberklastische Sedimente überdeckt. Durch das Abschmelzen der Eismassen stieg die Schuttproduktion stark an. Diese Sande und Kiese stellen die Füllung des Beckens dar. Die Kreuzschichtung dürfte durch das Verfüllen von Gerinnen (Channel filling) zustande kommen. Danach ließ die erhöhte Schuttproduktion wieder nach und der Fluß begann sich sein heutiges Bett zu graben, indem er Teile der Ablagerungen wieder erodierte und so die heutige Gliederung in drei Terrassen schuf.

Der Seeton (Proben 35, 39) wurde nach Abschluß der Baustelle im Labor des Instituts für Angewandte Geologie der Universität für Bodenkultur Wien auf seinen Bestand an Mineralien allgemein und Tonminerale im Speziellen untersucht. Weiters wurde eine röntgendiffraktometrische Untersuchung von Grundmoränenmaterial (Probe D) durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den folgenden Abbildungen graphisch dargestellt.

Gesamtmineralbestand



Tonmineralanalyse

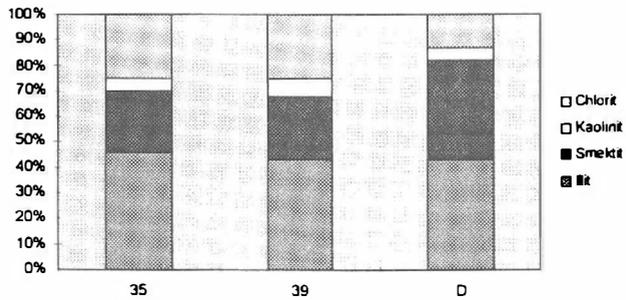


Abb.3: Ergebnisse der mineralogischen Untersuchungen

4. Bauablauf

4.1 Eingesetzte Maschinen

Die ausführende Firma stellte den Antrag, den Bereich der Seetoneinbindung mit einem Seilgreifer mit der Öffnungsweite von 4,2 m herzustellen. Für die Herstellung der für die Fräse notwendigen Mindestdiefe von 4 m wurde ein zweiter Seilgreifer mit einer Öffnungsweite von 2,8 m eingesetzt. Erst nach diesem sogenannten Vorgreifern konnte die Fräse, eine Bauer BC 30, zum Einsatz kommen. Für diese Aushubgeräte standen drei Trägergeräte zur Verfügung. Es handelte sich um zwei Liebherr 852 mit 56 t Gewicht für die beiden Greifer und um einen Liebherr 882 mit 95 t Gewicht, der das enorme Gewicht der Fräse (bis zu 43 t) zu tragen hatte.

4.2 Bauablauf

Die Bauarbeiten begannen im Oktober 1995. Zunächst wurden zwei Probeabschnitte, bestehend aus je zwei Primärelementen und einem Sekundärelement, hergestellt. Beim Greiferbetrieb für die Seetoneinbindung gab es keinerlei Probleme. Der Seeton wurde im großen und ganzen in der erwarteten Tiefe angetroffen. Aufgrund seiner steigenden Tendenz in Richtung der Felsoberfläche konnten mehrere zusätzliche Elemente mit dem Greifer hergestellt werden. Einziges Problem war der Suspensionsaustausch. Der zunächst eingesetzte Schlauchwagen besaß eine zu geringe Pumpenleistung. Erst im Laufe der Baustelle wurde eine zufriedenstellende Methode entwickelt. Zunächst wurde der Austausch mit der Fräse bewerkstelligt.

Größere Probleme traten beim Fräsbetrieb auf. Wie bereits erwähnt, gelang es zu Beginn der Bauarbeiten nicht, die technischen Probleme im bereichsweise stark geneigten Fels zu lösen. Die Neigung der Felsoberfläche wechselte stark. Zwischen relativ flach geneigten Bereichen traten in zwei Elementen Steilstufen von über 70° auf. Verbunden mit den technischen Problemen der ersten Rollmeißelversion und mehreren Schäden kam es bei der

Felseinbindung nur zu relativ geringen Fortschritten. Hinzu kam, daß es nicht gelang, die geforderten Kriterien bezüglich der Vertikalität zu erfüllen.

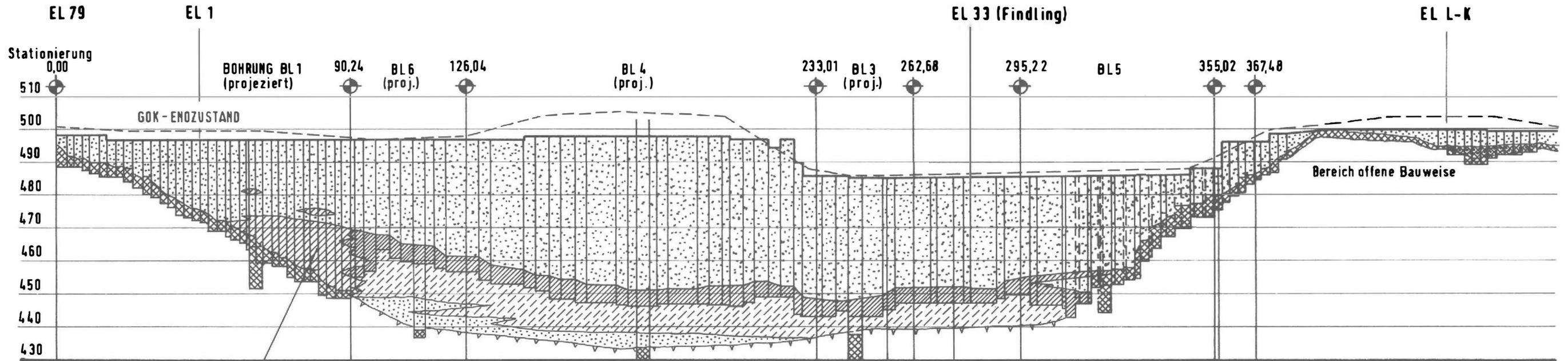
Die Überprüfung der Vertikalität erfolgte mittels eines sogenannten Kodengeräts. Dieses Gerät japanischer Bauart wurde ursprünglich für den Pfahlbau entwickelt. Es zeichnet die Reflexionen eines Ultraschallimpulses auf und liefert so ein Bild der Wände des Schlitzes. Als Minimalkriterium wurde festgelegt, daß die Wandstärke 20 cm an keiner Stelle unterschritten werden dürfe. Dazu konnte es kommen, wenn bei tiefen Elementen ein Stich extrem nach außen und der zweite extrem nach innen abwich. Um dem vorzubeugen, durfte kein Schlitz mehr als 0,4 % seiner Tiefe aus der Vertikalen abweichen. Beim Fräsbetrieb in geneigtem Fels war dieses Kriterium nicht zu erfüllen. Sobald die Fräse auf den Felsen auftraf, rutschte sie ab. Es wurde daraufhin vereinbart, dieses Kriterium immer nur in Relation zu seinem Nachbarlement zu sehen. Bei gleichgerichteter Abweichung wurde die geforderte Wandstärke an allen Stellen bei weitem erreicht.

Der Fortschritt beim Fräsbetrieb wurde erst besser, als nach der Weihnachtspause neue Rollmeißel und stärkere Fräsgetriebe montiert wurden. Um der Fräse ein ruhigeres Laufen zu ermöglichen, wurde der Ballast erhöht. Das Gewicht der Fräse erhöhte sich von 33 auf über 40 t.

Beim Greiferbetrieb kam es nur zu einem einzigen größeren Zwischenfall. Im El. 33 biß sich der Greifer 4 m unter der Seetonoberkante in einem Hindernis fest und ließ sich nicht mehr heben. Als er nach mehreren Versuchen geborgen wurde, brachte er Brocken aus Dolomit an die Oberfläche. Das Hindernis wurde als Driftblock im Seeton interpretiert.

Nach einwöchiger Pause, in der die neueste Version der Rollmeißel mit doppelten Lagern montiert wurde, kam auch der Fräsbetrieb rasch zum Abschluß und im März 1996 war die Einkapselung vollendet.

Längenschnitt der Deponie Langkampfen entlang der Dichtwandachse



Übergangsbereich Seeton/Fels

Schluff- und feinsandreicher Kies, lagig-linsige Ausbildung, sehr dicht gelagert, durch Fräsbetrieb homogenisiertes Material.

LEGENDE:

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--------------------------------|
|  | SAND, KIES |  | MORÄNE |
|  | SEETON (aufgeschlossen) |  | ÜBERGANGSBEREICH SEETON / FELS |
|  | SEETON (nicht aufgeschlossen) | | |
|  | FELS (Dolomit) | | |

4.3 Alternativbauweise auf der Westseite der Deponie

Auf der Westseite der Deponie wurde der Fels bereichsweise direkt an der Oberfläche oder knapp darunter angetroffen. Da die Fräse 4 m Überlagerung für ihren Einsatz benötigte, mußte in diesem Bereich eine Alternativmethode gefunden werden.

Man beschloß mittels gefrästen Elementen zu arbeiten, um über den Grundwasserschwankungsbereich hinauszukommen. Wo der Fels nahe der Oberfläche lag, sollte die mineralische Dichtschicht direkt an den Felsen angebunden werden. Der Übergang sollte mittels dreiecksförmigen, geschalteten Elementen hergestellt werden.

Das überlagernde Lockermaterial wurde entfernt , lockeres verwittertes Felsmaterial abgeschremmt und in den festen, ungeklüfteten Fels eingebunden. Um den Verlauf der Felsoberkante zu erkunden, wurden mehrere Suchschlitze mit einem Löffelbagger hergestellt. Beim Aushub kamen bis zu zwei Meter lange, gerundete Blöcke aus Kristallin und Dolomit zum Vorschein.

Einige waren zu sogenannten Geschiebeleichen verwittert. Die einzelnen Mineralkörner ließen sich mit der bloßen Hand aus dem Verband lösen. Auch bot diese großflächige Felsfreilegung die Möglichkeit, die Felsqualität vor Ort zu begutachten. Man kann in keiner Weise davon sprechen, daß im ganzen Gebiet nur guter Fels vorhanden war. Stellenweise mußte sogar das Schremmen reduziert werden, da sich im spröden Dolomit immer neue Klüfte zu öffnen drohten.

REGELQUERSCHNITT IM PROFIL P3
M 1:100

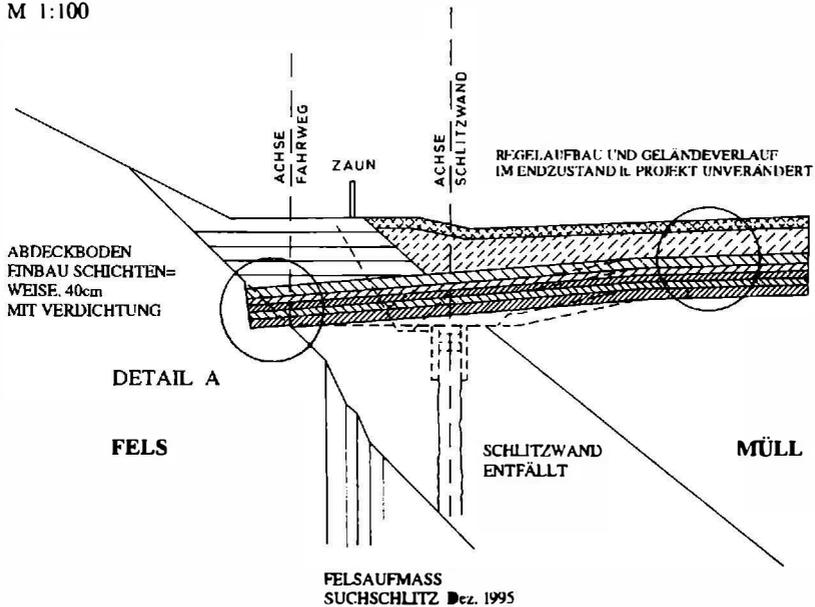


Abb. 4: Planliche Darstellung der Alternativbauweise

Auch zeigte sich das ausgeprägte Relief der Felsoberkante. Der Fels tauchte in einer Rinne ab, sodaß noch weitere 12 gefräste Elemente eingefügt werden mußten. In dieser Rinne war Grundmoränenmaterial eingetragen worden, welches mit ca. 50 % Schluffgehalt die Abdichtung erhöhte.

Anfang März wurden aber auch diese Arbeiten vollendet und die Dichtwandherstellung endgültig abgeschlossen.

**DETAIL ÜBERGANGSBEREICH
GEFRÄSTE SCHLITZWAND -
MINERAL. OBERFLÄCHENABDICHTUNG
M 1:100**

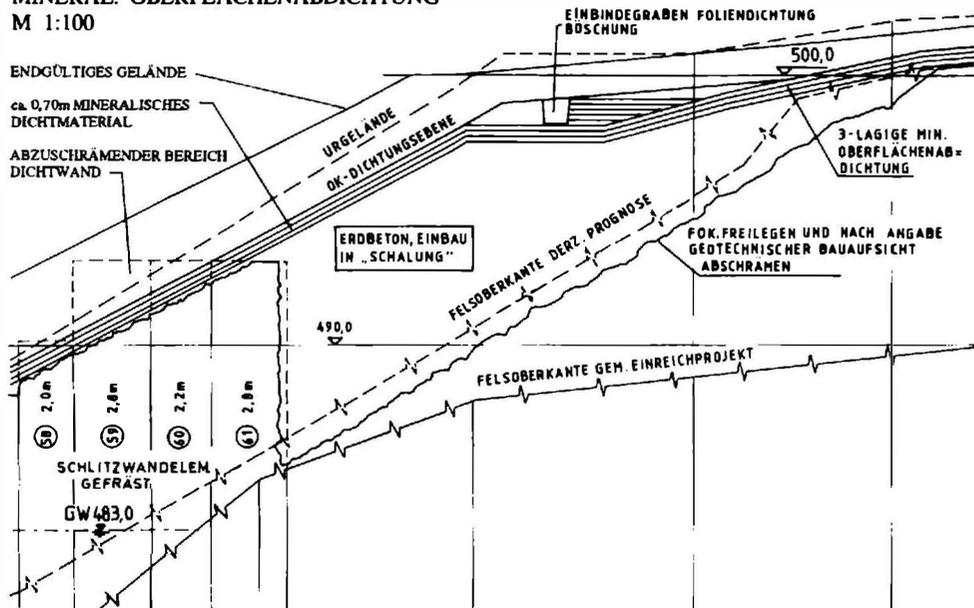


Abb. 5: Planliche Darstellung der Übergangselemente

5. Resümee und Ausblick

Nach dem Ende der Dichtwandarbeiten wurde im Frühjahr 1996 mit den ersten Pumpversuchen begonnen. Obwohl auf der Nordseite der Deponie das erwartete direkte Aufliegen des Seetons auf die Felsoberfläche nicht beobachtet werden konnte, zeigten die ersten Versuche doch einen Erfolg der gesetzten Maßnahmen. Es ist wahrscheinlich, daß stauende Feinsandschichten durch die Homogenisierung des Materials beim Fräsbetriebs nicht als solche angesprochen werden konnten. Auch ein Aufliegen des Seetons in größeren Tiefenstufen ist möglich. Dies konnte nicht festgestellt werden da, die Reichweite der Fräse auf ca. 48 m begrenzt war. Es ist also am wahrscheinlichsten, daß an der Übergangszone zum Fels eine feinklastische Schicht existiert, die als solche durch die Art des Aushubs nicht erkannt werden konnte. Die geologischen Verhältnisse sind in dem beiliegenden Längenschnitt ersichtlich.

Drei Freilegungen von Schlitzwandfugen zeigten, daß die gesetzten Maßnahmen zur Reduktion der Schlitzwandfugen ein voller Erfolg waren. Eine rückblickende Betrachtung der fast 200 Suspensionsbeprobungen ergab, daß die geforderten Werte in den allermeisten Fällen erreicht wurden.

Auch bezüglich der Vertikalität zeigte die permanente Überprüfung, daß die geforderten Kriterien schließlich in allen Elementen erfüllt wurden und so das endgültige Ziel - eine erfolgreiche Einkapselung und damit Sicherung der Deponie Elferbauer- erreicht wurde.

5. Literatur

Bauer Spezialtiefbau 1996: *Geräteprogramm*

Din 4126 und 4127: Schlitzwandtonc für stützende Flüssigkeiten

Fritsch, E. 1993: *Technischer Bericht zur Sanierung der Mülldeponie Langkampfen*, Unveröffentlichter Bericht, Ingenieurbüro Passer, Innsbruck 1993.

Mesek, H. 1984: *Dichtwände-Historischer Überblick und Stand der Technik*, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Hcft. Nr 23 ,Braunschweig.

Ottner, F 1991 *Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tonigen Barrieregesteinen von Deponieanlagen* - Dissertation, Inst.f. Bodenforschung und Baugeologie, Univ.f.Bodenkultur, Wien.

Plöchinger, B. 1980: *Die Nördlichen Kalkalpen.*(in: OBERHAUSER, R. (Red.): *Der geologische Aufbau Österreichs.* -700 S., 164 Abb.), 144ff., herausgegeben von der geologischen Bundesanstalt Wien, Springer Verlag Wien - New York, Wien 1980

Riepler, F 1993: *Endbericht über geologisch-hydrogeologische und geophysikalische Untersuchungen*, Unveröffentlichter Bericht, Firma Geoconsult, Salzburg 1993.

Riepler, F 1994: *Geologischer Bericht zu den Bodenerkundungen*, Unveröffentlichter Bericht, Firma Geoconsult, Salzburg 1994

Riepler, F 1995: *Bericht zur Sanierung der Mülldeponie Langkampfen Geologie. Hydrogeologie und Bodenmechanik*, Unveröffentlichter Bericht, Firma Geoconsult, Salzburg 1995.

- Schultz, I.W 1964: *Quantitative Interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical parts for the Pierre shale*, Geological Survey, Washington 1964
- Schönlaub, H.P. und Tenschert, E. 1994: *Erkundung und Modellierung im Grundwasserfeld Langkampfen, (Tirol)*, Hydrogeologie, Tagungsband der Geologischen Bundesanstalt, Wien 1995
- Tollmann, A. 1985: *Geologie von Österreich, Band 2: Außerzentralalpiner Anteil.- XV+711 S., 286 Abb., 27 Tab.*, Deuticke, Wien.
- Wilmers, W. 1982: *Geologie des Ostendes der Thierseer Mulde*, Mitteilungen der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft Nr.43
- Zach, D. 1994: *Tonmineralogie für den Dichtwandbau Geotechnische Probleme im Deponie- und Dichtwandbau*, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig Heft. Nr. 43, Braunschweig.

Autor:
Mag. Stefan EDER
A-4802 Ebensee, Bahnhofstraße 29

Functional Mineral



NL **Luzenac**
NAINTSCH

NAINTSCH MINERALWERKE GmbH, A 8045 Graz, Statteggerstraße 60
Telefon (0316) 69 36 50, Telefax (0316) 69 36 55

ISO 9002 **EBI** APPROVED

