

MITTEILUNGEN
des Institutes für Bodenforschung und Baugeologie
Abteilung Baugeologie
Universität für Bodenkultur Wien

Reihe: Angewandte Geowissenschaften



Heft 5

**BAUGEOLOGISCHES
SEMINAR**

Vorträge 1993/1994

Herausgeber:
B. SCHWAIGHOFER
H.W. MÜLLER

Wien, Jänner 1995

MITTEILUNGEN
des Institutes für Bodenforschung und Baugeologie
Abteilung Baugeologie
Universität für Bodenkultur Wien

Reihe: Angewandte Geowissenschaften

Heft 5

**BAUGEOLOGISCHES
SEMINAR**

Vorträge 1993/1994

Herausgeber:
B. SCHWAIGHOFER
H.W. MÜLLER

Wien, Jänner 1995

INHALTSVERZEICHNIS

MOSER, M.:	Das Problem des Talzuschubes am Beispiel der Reppwand-Gleitung, Naßfeld (Kärnten).....	3
GERSTNER, R.:	Die Triebwasserführung KW-Gerlos II Prognose und Vortrieb.....	43
KNITTEL, A.:	Geotechnische Probleme beim Bau des Erkundungsstollen.....	67
MIKURA, E.:	Straßentunnel in Österreich - Vergleichbarkeit aus allgemeiner und geologischer Sicht.....	103
BUNZA, G.:	Geogene Faktoren bei der Kausalanalyse dynamischer Hangprozesse.....	123
HÄUSLER, H.:	Hydrogeologische Untersuchungen zur Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten in der Oststeiermark (Gemeinde Hartberg und Hartberg-Umgebung).....	153

SOYOYE, H.,

OTTNER, F. &

SCHWAIGHOFER, B.: Langzeituntersuchungen an Schmal- und
Schlitzwandmassen unter dem Einfluß von
kontaminierten Wässern und Schadstoff-
lösungen.....201

Das Problem des Talzuschubes am Beispiel der Reppwand-Gleitung, Naßfeld (Kärnten)

M. MOSER

Zusammenfassung

Aufgrund geologischer und hydrographischer Gegebenheiten stellt das Naßfeld/Kärnten eine äußerst sensible Region hinsichtlich der Entstehung von Großhangbewegungen dar. Diese Situation wird noch durch eine seit Ende der 70er Jahre verstärkt einsetzende Bautätigkeit verschärft. Die Großhangbewegungen reichen von ausgedehnten und tiefgreifenden Talzuschüben mit verschiedenen Aktivitätsgraden (Talzuschub Reppwand-Gleitung, Schlanitzenalm-Gleitung) bis hin zu großen Bergzerreißen (Trogkofel, Treßdorfer Höhe). Die Talzuschubsbereiche sind an die Naßfeldschichten (i. S. v. KAHLER & PREY 1963), einer Wechsellagerung inkompetenter und kompetenter Serien gebunden, wobei aber durch langandauernde großräumige Kriech- und Gleitprozesse eine weitgehende Durchmischung stattgefunden hat. Die quantitativen Untersuchungen an der Talzuschubsstirn der Reppwand-Gleitung zeigen hinsichtlich der Bewegungscharakteristik ein sehr heterogenes Bild. Dies wird besonders von der Bewegungsgeschwindigkeit verdeutlicht, die von einigen cm/Jahr bis zu 1 m/Jahr reicht. Durch die im östlichen Bereich der Talzuschubsstirn durchgeführten Sanierungsarbeiten im Jahre 1988 (Schaffung einer Fußschüttung, Verlegen des Oselitzenbaches in einen Felsskanal) gingen die Hangbewegungen bis zum Niveau der Naßfeldbundesstraße stark zurück < 5 cm/Jahr. Eine geringfügige Änderung ist auch oberhalb der übersteilten Stirn seit 1988 eingetreten, wobei zur Zeit mit durchschnittlichen Kriechgeschwindigkeiten der gesamten Masse mit ca. 7 – 8 cm gerechnet werden muß. Eine weitergehende, flächenhafte Beruhigung wird nur mit einem Absenken des Bergwasserspiegels zu erreichen sein.

Diese Maßnahmen, im Projekt der Wildbach- und Lawinerverbauung von 1985 vorgesehen, werden eine komplette Ableitung der Hangwässer ab Bodenseeniveau beinhalten.

1. Einführung

Auffällige und mit dem Auge wahrzunehmende Gestaltänderungen der Erdoberfläche werden gemeinhin mit Erdbeben, vulkanischen Ereignissen und spontanen Massenbewegungen oder einer Kombination dieser Prozesse in Zusammenhang gebracht.

Eine Landschaftsumgestaltung findet aber auch durch langsame und mit dem Auge kaum wahrnehmbare Prozesse statt, die aber nicht nur in säkularen Zeiträumen, sondern auch in 30 bis 50 Jahren einen Landschaftsraum verändern können. Solche sehr langsam ablaufende Prozesse an Talhängen, die zwar mit dem Auge nicht direkt erfassbar sind, deren Folgen sich aber im Bild der Landschaft und den bautechnischen Auswirkungen deutlich bemerkbar machen, können unter dem Begriff des Talzuschubes oder der Sackung zusammengefaßt werden.

Obwohl den Phänomenen des tiefgreifenden Hangkriechens schon seit 40 Jahren nachgegangen wird, sind wir auch heute noch weit davon entfernt, Bewegungsabläufe exakt vorauszusagen. In diesem Zusammenhang sei an das Unglück von Longarone/Italien im Bereich des Staubeckens Vajont im Oktober 1963 erinnert, wo eine schon seit Jahren beobachtete Kriechbewegung in eine Gleitbewegung überging und den Bruch einer gesamten Talflanke verursachte und in deren Folge die Stadt Longarone total zerstört wurde.

Auch in letzter Zeit hat man sich noch sehr pessimistisch über den Kenntnisstand von tiefgreifenden Hangbewegungen geäußert. So schreibt MÜLLER-SALZBURG (1992, Felsbau II. Bd. Teil A): "In Anbetracht der bedauerlichen Tatsache, daß der Pegelstand unserer Kenntnisse und auch der Forschungen über die Mechanik der Talzuschübe weit hinter den Bedürfnissen der Geopraxis zurückgeblieben ist, in Anbetracht auch der Komplexität des damit verbundenen Fragenkreises, wäre es höchst wichtig, wenigstens die Kinematik der zahlreichen Typen von Talzuschüben zu kennen, verstehen und deuten zu lernen."

Die Betonung eines "mangelnden Wissenstandes" ist nicht verwunderlich, da nur quantitative und über längere Zeit durchgeführte Untersuchungen zum Ziele führen.

Nachstehend seien einige hinsichtlich der Kinematik und des Bewegungsmechanismus zielführende Untersuchungen aufgeführt.

Oberflächliche Ausdehnung und Art der Hangbewegung (1)

Morphologische Verhältnisse (1)

Geologisch-geotechnische Ausbildung des Gebirges in den verschiedenen Bereichen der Hangbewegung (1)

Mechanische Eigenschaften des Gebirges in den verschiedenen Zonen der Hangbewegung (1)/(2)

Bewegungsablauf in der Zeit (1)

Bewegungsablauf nach dem Ort (1)/(2)

Einfluß externer Faktoren (1)/(2)

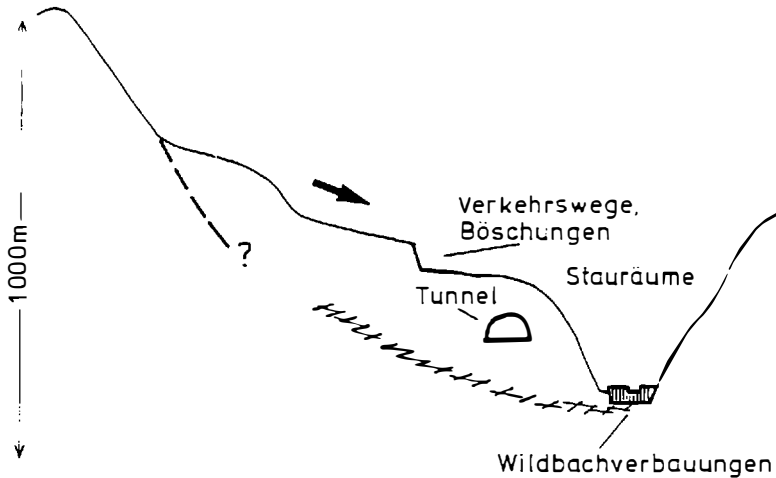
Räumliche Geometrie des Massenkörpers (2)

Anwendungen von Prozeßmodellen (2)

(1) weitgehend abgeklärt

(2) keine oder nur sehr mangelhafte Informationen vorhanden

Solche Untersuchungen sind gerade im Hinblick auf die Praxis wünschenswert, da im Zusammenhang mit solchen tiefgreifenden Hangbewegungen zahlreiche bautechnische Probleme auftreten.



Wildbachverbauung: anfangs Verschieben der Querwerke in Richtung festes Widerlager, im weiteren Verlauf Abscheren an den Arbeitsfugen und endgültige Zerstörung durch aktiven Gebirgsdruck (z.B. Talzuschub Gradenbach / Kärnten)

Stauräume: Aktivierung der tiefgreifenden Hangbewegung durch Stauspiegelschwankungen (z.B. Talzuschub Gepatschspeicher / Tirol)

Tunnel: starke Querschnittsveränderung der Tunnel- und Stollenbauten (z.B. Talzuschub Millstätter Alpe / Kärnten)

Böschungen: durch hangtektonische Prozesse starke Auflockerung und Zerschering des Gebirgsverbandes; Felsgleitungen (z.B. Talzuschub Reppwand-Gleitung / Kärnten)

Abb. 1: Beeinträchtigung bautechnischer Gegebenheiten durch Talzuschübe

2. Übersicht über die Großhangbewegungen des Naßfeldes

Das ca. 28 km² große Einzugsgebiet des Oselitzenbaches wird von mehreren Großhangbewegungen beherrscht (insgesamt ca. 8 km²), von denen besonders die Talzuschübe Reppwand-Gleitung und Schlanitzenalm-Gleitung sowie die Bergzerreiung Tredorfer Hhe hervorzuheben sind.

Kleinere z. T. beruhigte Großhangbewegungen sind im Hinteren Rudniggraben der Tomritsch-Zuschub und der Madritschen-Zuschub (s. Abb. 2). Bergzerreiungsphänomene, nicht näher bearbeitet, finden sich auch am Trogkofel, am Zweikofel und am Reppwandpfeiler. Die Art und Dynamik der genannten Großhangbewegungen sind eng mit den geologisch-geotechnischen Bedingungen des Schichtverbandes und den hydrographischen Verhältnissen verknüpft. In diesem Zusammenhang sind besonders die Auernig-Schichten und die Rattendorfer Schichten zu nennen, die weite Bereiche der Talzuschubsmassen der Reppwand-Gleitung und Schlanitzenalm-Gleitung einnehmen.

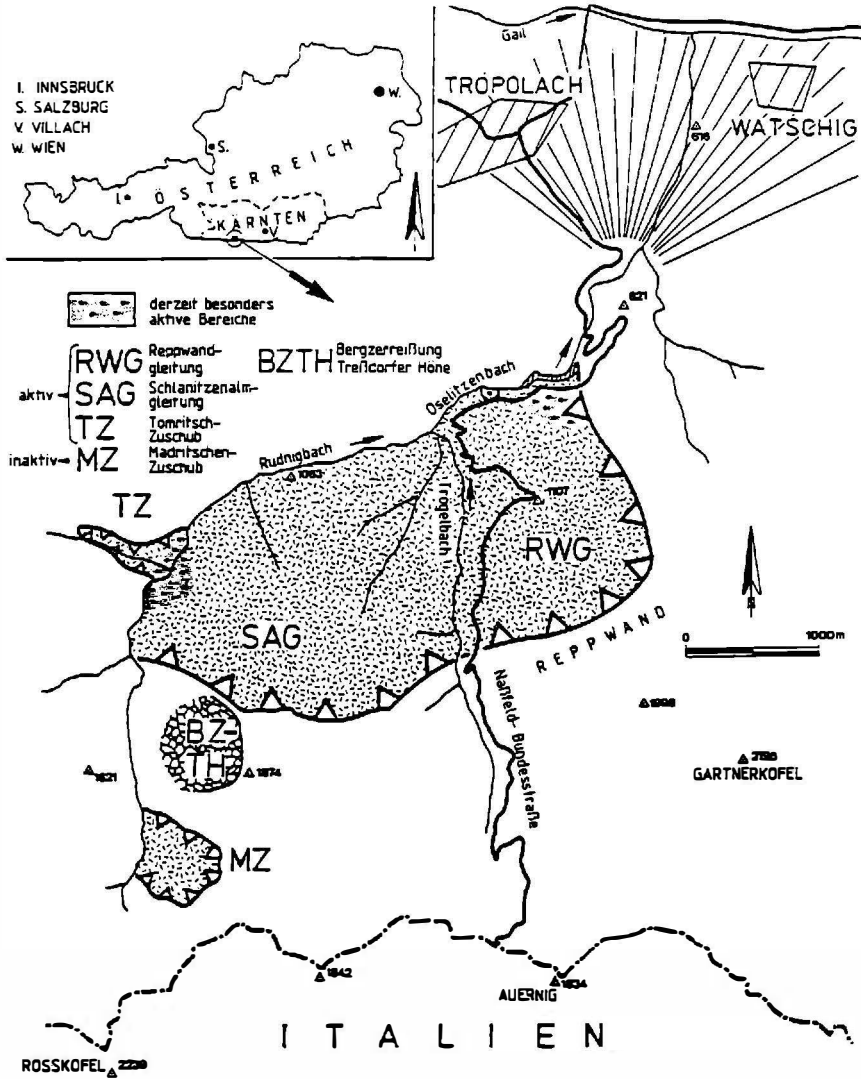


Abb. 2: Übersicht über die wichtigsten Großhangbewegungen des Naßfeldes/Kärnten (RWG = Reppwand-Gleitung)

Der ursprüngliche Schichtverband der oberkarbonen Auernig-Schichten, welcher aus einem regelmäßigen Wechsel von Karbonaten mit klastischen Gesteinen besteht, wurde in diesen Bereichen intensiv gestört. Diese weitgehend hangtektonisch bedingte Gebirgszerlegung kann so weit gehen, daß eine stratigraphische Untergliederung in Auernig-Schichten und Rattendorfer Schichten nicht mehr sinnvoll ist. Diesen Umstand berücksichtigten schon KÄHLER & PREY (1963), in dem sie bezüglich dieser Gesteine innerhalb der Talzuschubsmasse von Naßfeldschichten sprechen.

Neben den geomechanischen Voraussetzungen (Wechselagerung von inkompetenten und kompetenten Gesteinsserien) sind im Naßfeldgebiet auch die hydrographischen Gegebenheiten für das Entstehen von Großhangbewegungen sehr förderlich. Hohe jährliche Niederschlagssummen (ca. 2.500 mm) und extreme Zwei- bis Dreitagesniederschläge (bis zu 400 mm) bedingen nicht nur eine dauernde Durchfeuchtung sondern auch intensive Unterschneidungsvorgänge an den übersteilten Talzuschubstirnen.

Ausgehend von geologischen und geotechnischen Untersuchungen im Rahmen des Verbauungsprojektes Oselitzenbach des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien, sollen hier Ergebnisse zur Reppwand-Gleitung mitgeteilt werden, die die strukturelle Gliederung der Talzuschubsmasse, den Bewegungsablauf an der Talzuschubstirn, den Bezug der Bewegung zu externen Faktoren und den Tiefgang und die Dynamik einer solchen tiefgreifenden Hangbewegung betreffen.

3. Talzuschub Reppwand-Gleitung

3.1 Geographische und geologische Übersicht

Die Reppwandgleitung wird im W vom Tröglbach und im N vom Oselitzenbach sowie im NE von der Schlanitzenklamm begrenzt. Das Talzuschubsgebiet ist ca. 1,75 km lang und reicht im S bis an den Fuß der großen Anbruchsnische der Reppwand.

Die Breite des Talzuschubes wächst von 1 km im unteren Bereich bis auf 1,5 km unterhalb der Reppwand. In seinem Ostteil besitzt er als Folge gehäuft auftretender und unterschiedlicher sekundärer Massenbewegungen eine sehr unruhige Morphologie, während der Westteil nur geringe Anzeichen derzeitiger Aktivität aufweist.

Die Schichtfolge im Bereich der Reppwandleitung beginnt mit den altpaläozoischen Bänderkalken und den Hochwipfel-Schichten des variszischen Grundgebirges. Darüber folgen die oberkarbonischen Auernig-Schichten und die Schichtgruppe des Perms mit den Rattendorfer-, Trogkofel-, Grödener- und Bellerophon-Schichten. Vom Mesozoikum sind die Werfener Schichten und das Muschelkalk-Konglomerat der Trias, aus dem der Gipfel der Kammleiten aufgebaut wird, vorhanden. Zu den jüngsten Ablagerungen gehören Moränen, Bildungen von ausgedehnten subrezentem bis rezentem Massenbewegungen und Wildbachschutt (s. Abb. 3).

In einem Längenschnitt können Position und Dimension der Reppwandleitung nach den Vorstellungen von KÄHLER & PREY (1963) entnommen werden (s. Abb. 4).

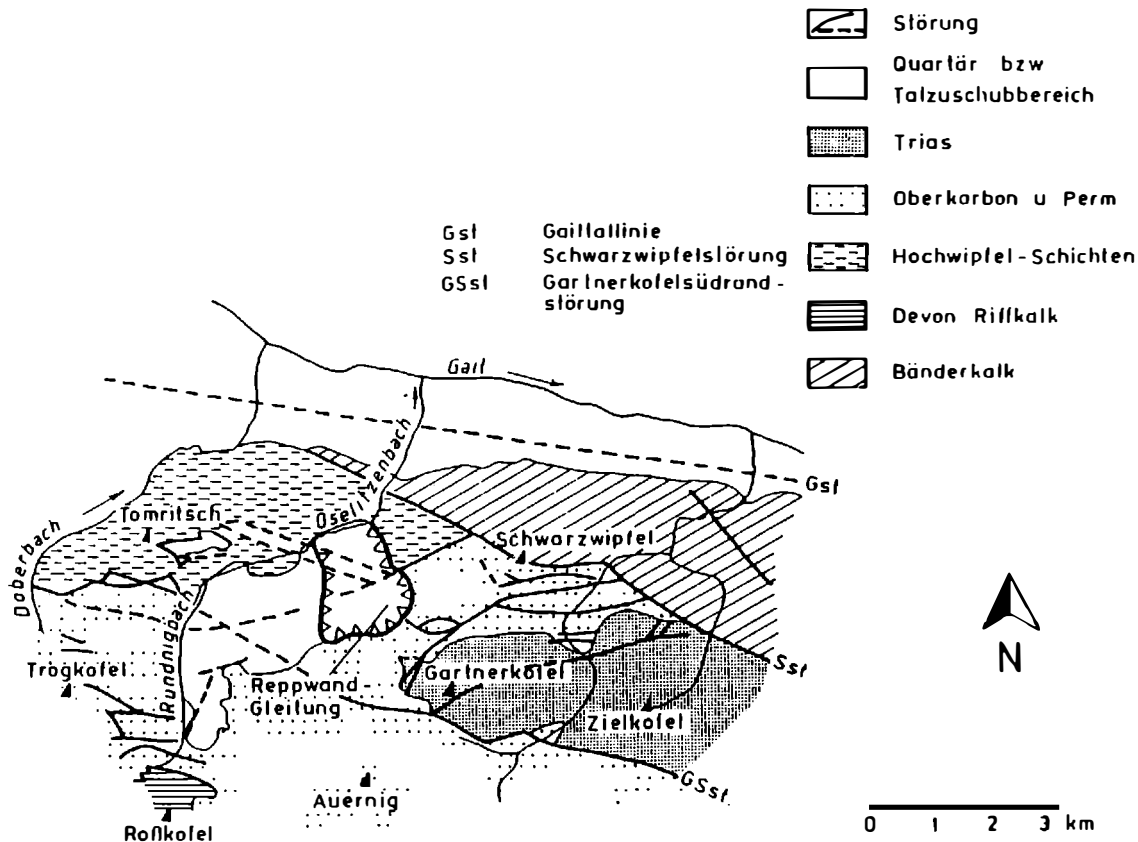


Abb. 3: Geologische Übersichtskarte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes (mod.n.KAHLER & PREY 1963)

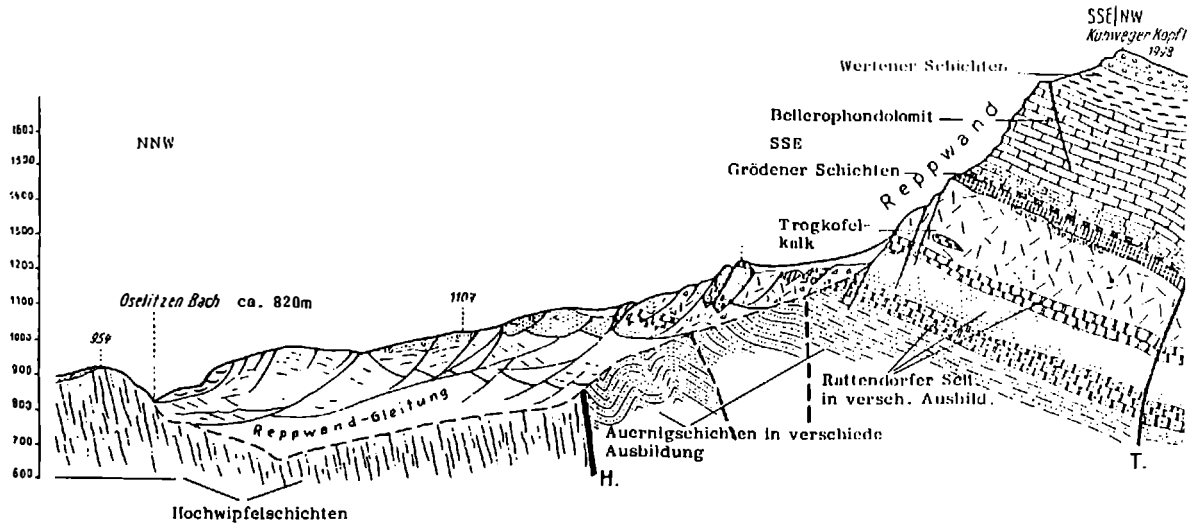


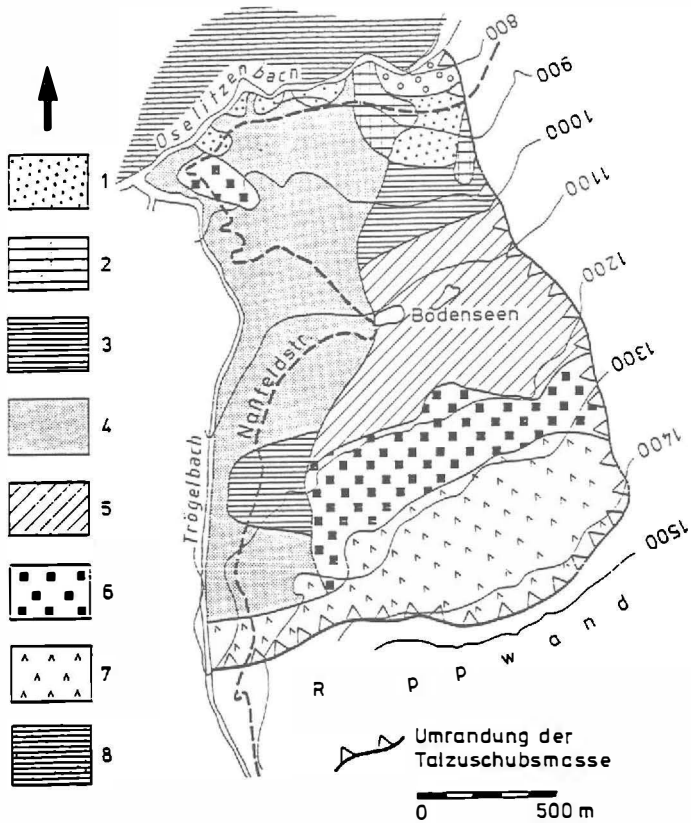
Abb. 4: Talzuschub Reppwand (n. KAHLER & PREY 1963)

3.2 Die ingenieurgeologischen Verhältnisse der gesamten Talzuschubsmasse

Innerhalb des genannten Gebietes der Reppwand-Gleitung lassen sich folgende geotechnische Homogenbereiche differenzieren (s. Abb. 5):

1. Zonen sehr starker Gebirgsauflösung der Naßfeldschichten bis hin zur Grobblockschutthalde mit tiefgreifenden und weitflächigen Muschelanbrüchen; Hauptverbreitungsgebiet: rechtsufrige Einhänge des Oselitzenbaches bis zur Naßfeldstraße, östlich des Quellenbaches auch ca. 100 Höhenmeter über die Naßfeldstraße hinausgreifend. Seit Ende 1988 wird unterhalb der Naßfeldstraße im Bereich des Quellenbaches diese Zone weitgehend durch die Fußschüttung verdeckt.
2. Zonen von noch im Verband befindlichen Sandstein- und Kalksteinpartien, diese sind vielfach übersteilt und befinden sich im labilen Gleichgewicht; Hauptverbreitungsgebiet: rechtsufrige Einhänge des Oselitzenbaches von hm 30 bis hm 32.
3. Zonen mit deutlichen Kriecherscheinungen (visuell erkennbare Morphologieänderungen), Herausschieben des Gebirgsverbandes entlang vorwiegend schwach geneigter, basaler Scherflächen mit Bildung von oberflächlichen Nackentälern (Ausstrichen von Bewegungsbahnen); keine sekundären Anbrüche infolge des geringen Gefälles; Hauptverbreitungsgebiet: oberhalb der Zonen 1 und 2 bis Höhenlage 1.000 m.
4. Zonen mit zur Zeit wenig aktiven Bewegungsanzeichen; Hauptverbreitungsgebiet: westlich des Quellenbaches im Bereich der Naßfeldstraße.
5. Morphologisch stark gegliedertes Gelände im Bereich der beiden Bodenseen bis 1.200 m, gekennzeichnet durch Stufen und Versteilungen mit Sprunghöhen > 10 m, die im Zusammenhang mit dem Ausstreichen von Bewegungsbahnen entstanden sind (besonders markant das Südufer des kleinen Bodensees, welches von einer Steilstufe mit einem Höhenunterschied von ca. 30 m gebildet wird).

6. Zone mit Felssturzmaterial im m³-Bereich und von größeren, zusammenhängenden Bergsturzkörpern im 10 m³- bis 100 m³-Bereich. Bei letzteren handelt es sich vorwiegend um Kalksteine der Trogkofel- und Rattendorfer Schichten, die oft sekundäre Anbrüche und dm-breite Spalten aufweisen. Der Bereich erstreckt sich von 1.300 m bis 1.400 m.
7. Zone mit Felssturzmaterial (max. 1 bis 2 m³), das unterhalb der Reppwand von großen, frischen Schuttfächern überschüttet wird (Bereich von 1.300 m bis 1.400 m); letzter größerer Felssturz 1987.
8. Orographisch linke Einhänge des Oselitzenbaches, gebildet von verbandsfesten Tonschiefern der Hochwipfelschichten; von der Reppwandgleitung nicht mehr betroffen.



1 Zonen sehr starker Gebirgsauflösung der Naßfeldschichten bis hin zur Grobblockschutthalde mit tiefgreifenden und weitflächigen Muschelenbrüchen; tiefliegende Gleitzonen

○ ○ ○ Fußschüttung seit 1988

Abb. 5: Talzuschub Reppwand/Oselitzenbach
Strukturgeologische Einheiten

3.3 Die geotechnischen Verhältnisse an der Talzuschubsstirn und den angrenzenden Bereichen

Die geotechnischen Verhältnisse an der Talzuschubsstirn haben sich in den letzten Jahren insofern geändert, da in einem Verbauungsprojekt des Forsttechnischen Dienstes, Sektion Kärnten von 1985 besonders von hm 28,5 bis hm 32 umfangreiche Sanierungsmaßnahmen getroffen worden sind. Sie umfassen:

Anlage einer Gegenschüttung von ca. 170.000 m³ am labilen Hang
Schaffung einer ca. 80 m aufweisenden neuen Böschung am stabilen Gegenhang
Verlegung des Oselitzenbaches nach Norden in einen Felsskanal in Hochwipfelschichten

Der Schichtverband der Naßfeld-Schichten wurde seit dem Postglazial durch tiefgreifende Hangbewegungen, oberflächennahe Gleitungen und Kriecherscheinungen stark gestört. So können die für die Auernig-Schichten typischen, durchhaltenden Kalk- und Sandsteinbänke nur in einzelnen Linsen und stark durchbewegten und geklüfteten Gebirgskörpern beobachtet werden. Bedingt durch die ursprünglichen Sedimentationsverhältnisse, die Hangtektonik und die derzeitigen Aufschlußverhältnisse werden die Naßfeld-Schichten innerhalb der Talzuschubsstirn und der angrenzenden Bereiche in folgenden geotechnischen Ausbildungen angetroffen (z. T. seit 1988 verdeckt durch Gegenschüttung):

Der Gebirgsverband ist bis zur Grobblockschutthalde aufgelöst, wobei die Blöcke häufig in einer feinerdereichen Matrix schwimmen. Diese geotechnische Ausbildung ist im gesamten Bereich der rechtsufrigen Anbruchszonen des Oselitzenbaches weit verbreitet, besonders in einem ca. 10.000 m² großen Gebiet östlich des Quellenbaches von 860 m bis 940 m Höhe oberhalb der Naßfeldstraße.

Naßfeld-Schichten, die infolge ihres hohen Feinanteiles als schwach bindiges bis bindiges Lockergestein anzusprechen sind, das bei Wassersättigung ein extrem murfähiges Material darstellt, so z. B. im unteren Bereich der rechtsufrigen Einhänge des Oselitzenbaches von hm 29,5 bis hm 30,0 (seit 1988 von Fußschüttung verdeckt).

Noch im Verband befindliche, stark geklüftete Bänke aus hell- bis mittelgrauen, feinkörnigen Sandsteinen, z. T. mit rostfarbenen Verwitterungs- bzw. Klüftflächen. Die Sandsteine bilden z. B. die Uferanbruchszone des Oselitzenbaches im Bereich der Einmündung des kleinen Seebaches bei hm 30 und des Quellenbaches zwischen hm 30,5 und hm 31. Diese geotechnische Ausbildung liegt ebenfalls in einem größeren Bereich oberhalb der Naßfeldstraße südlich von hm 35 bis hm 40 vor.

Stark aufgelockerte und mit dm-breiten Spalten versehene Kalkpartien, z. B. westlich des Quellenbaches oberhalb der großen Krainerwand bis 960 m Höhe.

Entsprechend dieser Ausbildung können besonders an der Talzuschubstirn folgende Massenbewegungen beobachtet werden:

Uferanbruchszonen mit staffelförmig nach rückwärts greifenden Muschelanbrüchen

Instabilitäten an übersteilten, relativ kompetenten Zonen der Naßfeldschichten.

HYDROGRAPHIE, SONSTIGES



Quelle/Gerinne/Gerinne parod /Schwunde



Bath



stehendes Gewässer



Steinmauer, Kraterwand



Gebäude



Bundesstraße



Güterweg



Umgrenzung Taluschub; undeutlich



Anstehendes, außerhalb des Talzuschubs; vorw. Muschelsteinschichten

NACHBÖSCHUNGSVORGÄNGE, HANGTEKTONISCHE HOMOGENBEREICHE



keine Anzeichen von Hangbewegungen



derzeit rel. stabil; frühere Massenbewegungen anhand von verheilten Ausstrichen von Bewegungsbahnen erkennbar



übersteilte Felsparien; Anbrüche in Gesteinen der Felsgildeklasse E



rel. stabile, jedoch übersteilte Felsparien; Aufreißen von Spalten entsprechend dem Irnwälchengeluge



laufgreifende aktive Hangbewegungen; durch deutliche Ausstriche von Bewegungsbahnen gekennzeichnet



intensive, tiefgreifende Hangbewegungen, rotationsförmiges Ausgleiten großer Gleiskörper; tiefgreifende Muschelsteinbrüche



hoch intensive Hangbewegungen; Gebirgsverband meist völlig zerstört; flache und tiefgreifende Muschelsteinbrüche; hohe Setzungsbeiräge



derzeitige Uferabbruchkante; ständiger Abrasionsprozess von meist bindigen Lockermaterial; flache Muschelsteinbrüche

Von hm 28,7 bis hm 31,5 seit 1986 Fußabkantung bis etwas oberhalb der ehemaligen Uferabbruchkante

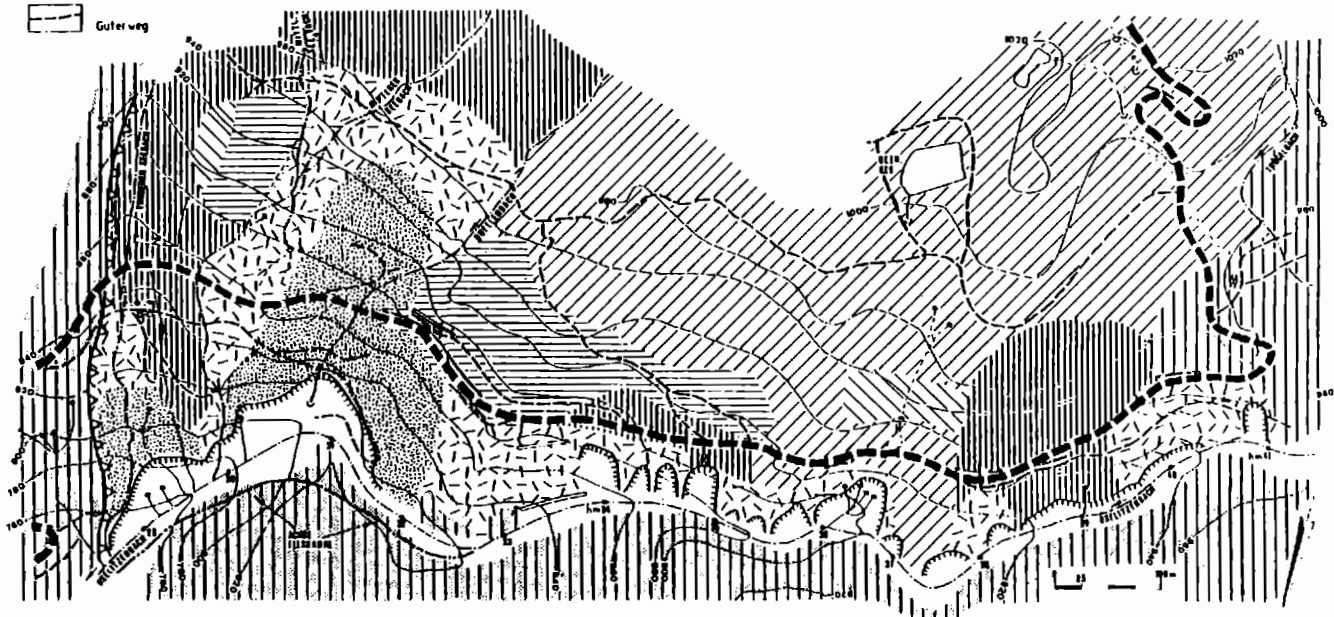


Abb. 6: Nachböschungsvorgänge, Hangtektonische Homogenbereiche Reppwandgleitung/Zuschubsstirn

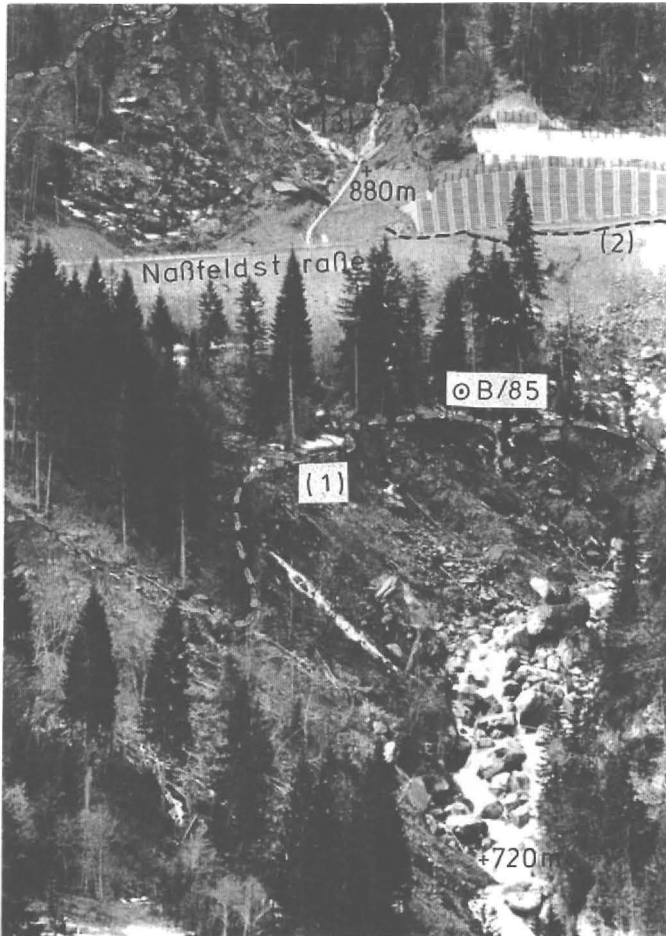


Abb. 7: Ausschnitt aus der Talzuschubsstirn der Reppwand-Gleitung von hm 29 bis hm 31,5 vor der Anlage der Gegenschüttung im Jahre 1988. Deutlich ist zu sehen, wie sich bergwärts der Hauptanbruchskante (1) tiefgreifende Muschelanbrüche (Tiefgang bis 30 m) in hangtektonisch stark geprägten Naßfeld-Schichten entwickeln. Dies zeigen die über 100 m durchhaltenden Risse (2) unterhalb der Krainerwand. Auch östlich der Krainerwand entwickeln sich in Grobblockschutthalden von Naßfeld-Schichten tiefgreifende Hangbewegungen (3), die staffelförmig bis auf 950 m Höhe zurückgreifen (Aufn. April 1987).

Besonders erstgenannte Hangbewegungen überlagern sehr stark das kinematische Bild der eigentlichen Talzuschubsmasse.

3.4 Der Bewegungsablauf

Eine quantitative Analyse des Bewegungsablaufes konnte aus finanziellen und technischen Gegebenheiten nur an der Talzuschubsstirn erstellt werden. Zur Untersuchung des Bewegungsablaufes wurde ein Meßprogramm erarbeitet, das

geodätische Vermessungen --> flächen- und linienhaftes Erfassen der Hangbewegung (ebener und räumlicher Bewegungsvektor, Bewegungsgeschwindigkeit). Seit 1983: einzelne Vermessungspunkte in einem Streifen oberhalb hm 28 bis hm 32 mit einem Polygonzug bis ca. 1.015 m (P. 46) talzuschubsaufwärts (Dipl.-Ing. Zistler, Villach und Geometer Majdic, Hermagor). Seit 1988: flächenhafte Vermessung mit ca. 50 Punkten vom Ostende des Talzschubes bis zum Straßenwärterhaus seit Oktober 1988

Präzisionsdrahtextensometermessungen --> kontinuierliche Erfassung der Hangbewegung in ausgesuchten Bereichen seit 1987

Konvergenzmessungen --> Untersuchung des Ablösemechanismus von Gletschollen an der Talzuschubsstirn seit 1987

umfaßt.

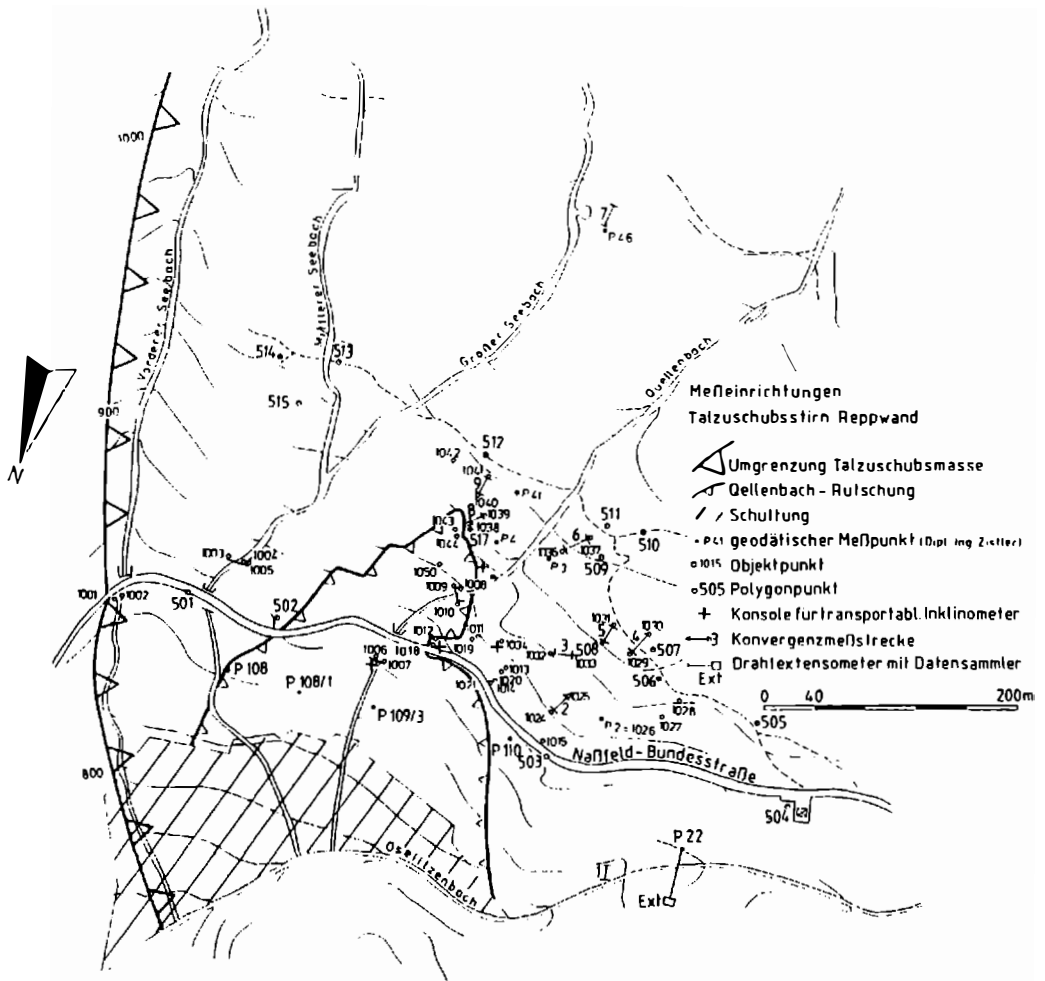


Abb. 8: Lage der Meßeinrichtungen im östlichen Bereich der Talzschubsstirn.

3.4.1 Die Bewegungsgeschwindigkeit

Besonders bei der Analyse der Bewegungsgeschwindigkeit müssen die Maßnahmen der Wildbachverbauung in Form der Anlage eines Felskanals mit einer Gegenschüttung im Jahre 1988 Berücksichtigung finden. Seit Wirksamwerden (etwa Ende 1988 bis Frühjahr 1989) sind die Hangbewegungen besonders unterhalb der Naßfeldbundesstraße stark zurückgegangen.

Wie aus Abb. 9 und Tab. 1 zu entnehmen ist, schwanken die seit dem Meßbeginn 1983 monatlichen Bewegungsbeträge zwischen 0,3 cm/Monat und 4 cm/Monat (kleinflächige Maximalwerte bis > 50 cm/Monat), wobei wir Änderungen auf kleinsten Raum beobachten können und sich somit ein sehr inhomogenes Bewegungsbild ergibt.

Die beobachteten Verschiebungsraten können mit folgenden geologisch-geotechnischen Gegebenheiten in Einklang gebracht werden:

Die großen Bewegungsbeträge (s. z. B. P. 108/1 u. 109/3, Tab. 1) besonders unterhalb der Naßfeldstraße vor 1988 sind ausschließlich durch Unterscheidungsvorgänge des Oselitzenbaches zu erklären (1983 Unterscheidung mit ca. 300.000 m³, 1987 mit ca. 50.000 m³ abgeführten Materials); diese Unterschneidungsprozesse bewirkten ein langanhaltendes, staffelförmiges Nachsitzen der Frontpartien des Talzuschubsverbandes (nä. s. Kap. 3.4.4.).

Nach Wirksamwerden der Gegenschüttung und Verlegung des Bachbettes (Ende 1988) weisen die Frontbereiche unterhalb der Naßfeldbundesstraße nur mehr eine Bewegungsrate von 3 cm/a auf; die starken Setzungen sind völlig abgeklungen, zeitweise ergeben sich sogar leichte Hebungen.

Die kleinen Bewegungsbeträge $< 5 \text{ cm/a}$ sind an einen verbandsfesten Sporn innerhalb der Talzuschubsstirn gebunden, der morphologisch durch steile Felswände (ca. 50° 60°) und einen weitgehend intakten Gebirgsverband gekennzeichnet ist.

Die großen Bewegungsbeträge, auch nach Wirksamwerden der Baumaßnahmen (bis ca. 20 cm/a), werden an übersteilten Bereichen der Stirn oberhalb der Naßfeldbundesstraße beobachtet, die eine starke Auflösung des Gebirgsverbandes, z. T. bis zu einer feinerdereichen Grobblockschutthalde zeigen. Gewisse Gebirgszonen sind hierbei nicht mehr repräsentativ für die Grundbewegung der kriechend gleitenden Talzuschubsmasse, sondern dokumentieren oberflächennahe Ablösungstendenzen (näher s. Kap. 3.4.4).

Insgesamt ist eine Abnahme der Geschwindigkeit bei etwa gleichen Gebirgsverhältnissen von den Frontbereichen zu den hangaufwärts liegenden Bereichen festzustellen (s. Abb. 13).

Nach Wirksamwerden der Baumaßnahmen pendelt sich offenbar die tiefliegende Kriech- und Gleitgeschwindigkeit der Talzuschubsmasse bei $7 - 9 \text{ cm/a}$ ein. In Abb. 10 sind für einen Teil der Talzuschubsstirn flächenhaft die Kriech- und Gleitgeschwindigkeiten (cm/a) ab 1989 angegeben.

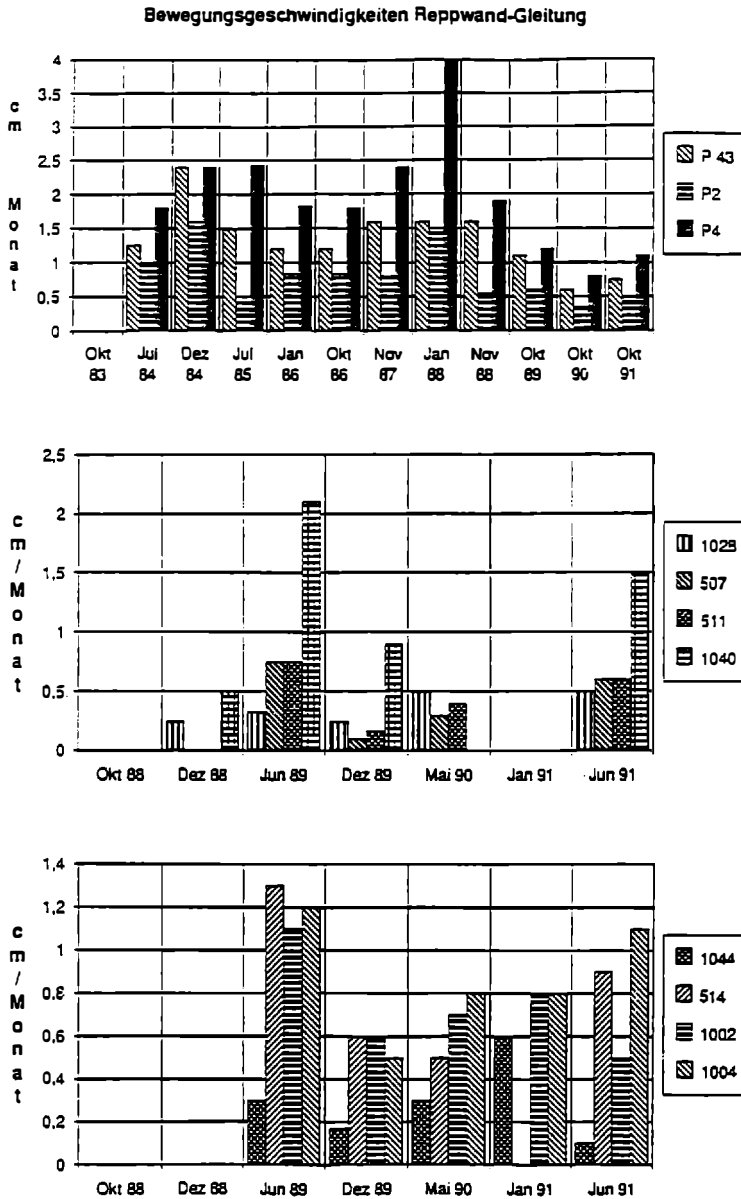


Abb. 9: Bewegungsgeschwindigkeiten (cm/Monat) einzelner Objektpunkte an der Talzuschubsstirn für die jeweiligen Meßperioden (zur Lage der Punkte s. Abb. 8). Deutlich ist ein inhomogenes Bewegungsbild sowohl zeitlich als auch räumlich zu beobachten.

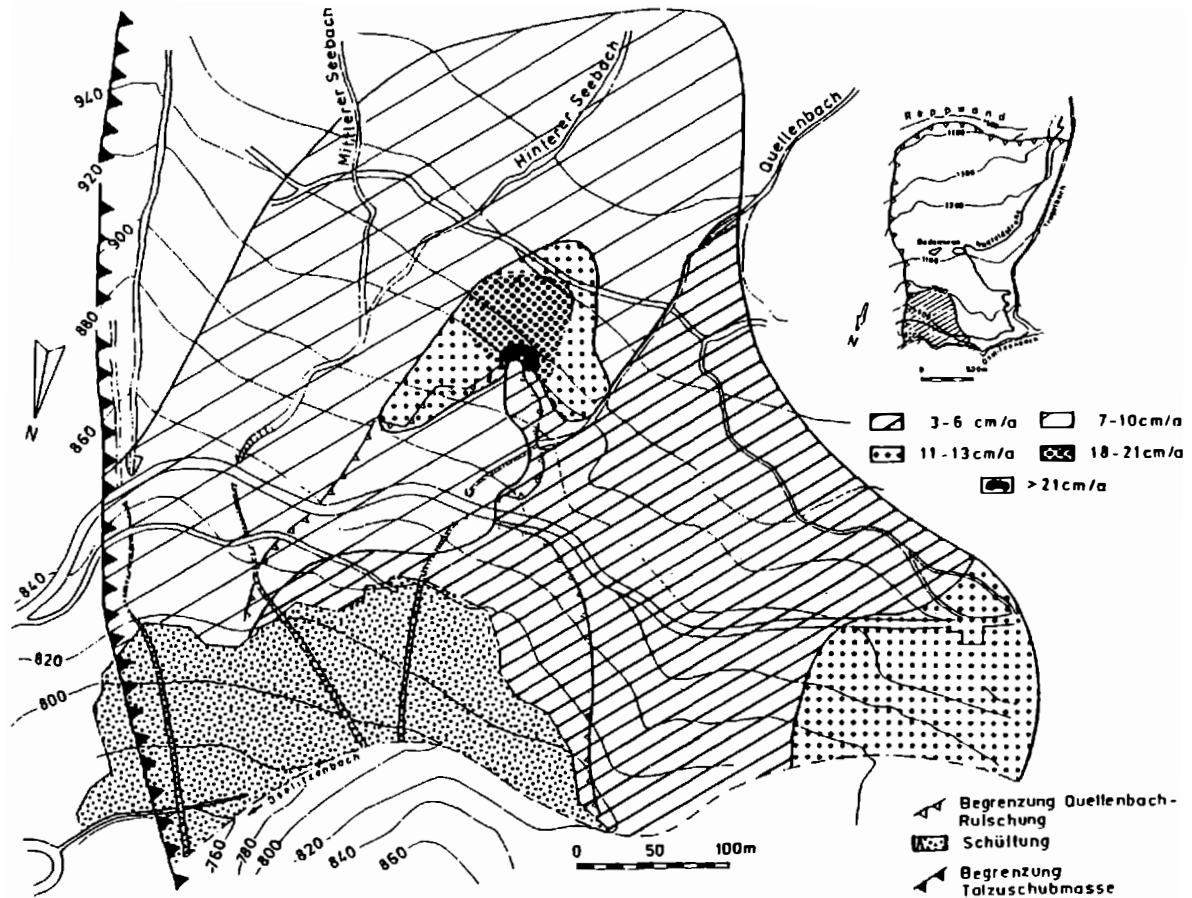


Abb. 10: Flächenhafte Angaben der Bewegungsgeschwindigkeiten (cm/Jahr) für den östlichen Bereich der Talzuschubstirn nach Wirksamwerden der Fußschüttung; die starken Bewegungen unterhalb der Naßfeldbundesstraße sind zurückgegangen.

Bewegungsverhalten einzelner Bereiche an der Talzuschubstirn der Reppwand-Gleitung vor (bis Anfang bzw. Ende 1988) und nach (nach 1988) Wirksamwerden der Fußschüttung bzw. Anlage des Feiskanals (zur Lage der Objektpunkte s. Abb. 8)

Meßpunkt (Hohenlage m)	Geotechnische Situation; Entfernung von der ehemal. Uferabbruch- kante (m)	Geschwindigkeit cm/Monat		Bemerkungen
		bis Ende 1988	nach 1988	
108/1 (837)	QA (20)	80	0,7	Direkt oberhalb Fußschüttung gelegen; reagierten sehr stark nach den Unter- scheidungsvorgängen im Aug. 1987, nach Wirksamwerden der Baumaßnahmen in etwa Grundgeschwindigkeit der Reppwand-Gleitung
P. 109/3 (845)	QA (25)		0,8	
P. 110 (875)	QR (80)	2,6	0,53	
P. 4 (947)	QR (175)	2,1	1,0	Ca. 30 m oberhalb der Hauptabbruchskante der Quellenbach-Rutschung. Rückgang von 2, cm/Monat auf 1,0 cm; dies entspricht auch den derzeitigen maximalen Geschwindigkeiten anderer Punkte an der Talzuschubstirn
P. 41 (960)	QH (210)	2,0	0,8	Meßpunkte im Hinterland der Quellenbach- Rutschung, Abnahme der Geschwindigkeit mit der Entfernung von der Talzuschubstirn;
P. 46 (1015)	QH (410)	1,5	0,7	P. 46 repräsentiert in etwa die Grundge- schwindigkeit mit ca. 8 - 9 cm/Jahr seit Wirksamwerden der Fußschüttung
P. 2 (913)	FS (140)	0,7	0,4	Bereich mit deutlich geringeren Geschwin- digkeiten, die an einen noch im Verband befindlichen Sporn oberhalb der Krainer- wand gebunden sind; auch hier deutliche Abnahme der Geschwindigkeit nach 1988
P. 3 (951)	FS (200)	0,6	0,3	
sonstige Punkte (seit Ende 1988)				Diese Objektpunkte liegen alle an der Stirn der Reppwandgleitung im Bereich des Hinte- ren Seabaches bis zum Straßenwärterhaus und zeigen monatliche Geschwindigkeiten seit 1988 von 0,3 cm bis 1,1 cm. Die geringsten Geschwindigkeiten werden an der Krainer- wand festgestellt, die größten direkt oberhalb der Hauptabbruchskante östl. des Objektpunktes P 4
Mittelwert			0,6	
minimal	KW		0,3	
maximal	QS		1,1	

QA = Quellenbach-Rutschung Anbruch; QR = Quellenbach-Rutschung Randzone
QH = Quellenbach-Rutschung Hinterland; QS = Quellenbach-Rutschung Spaltenzone
FS = Fester Sporn oberhalb Krainerwand; KW = Krainerwand

3.4.2 Der ebene Bewegungsvektor

Die vorderste Front der Talzuschubsstirn:

Der Schwankungsbereich der Gesamtbewegungsrichtungen (Meßepoche 10.83-10.92, s. Abb. 11) beträgt ca. 60° (345° 45°); der Großteil der Bewegungsrichtungen liegt innerhalb von etwa $10 - 30^\circ$ (NNE).

Räumlich eng benachbarte Bereiche weisen hinsichtlich der Richtung der Bewegung große Unterschiede auf. Besonders auffällig kann dies für die Meßpunkte P 3 und P 4 beobachtet werden, die, obwohl etwa in gleicher Höhenlage und etwa nur 40 m voneinander entfernt, starke Unterschiede in der Richtungscharakteristik aufweisen.

Hinsichtlich der Konstanz der Bewegungsrichtung einzelner Punkte über die Zeit sind von Meßepoche zu Meßepoche Bereiche mit geringen Schwankungen (z. B. P 4) und mit großen Schwankungen (z. B. P 3) zu erkennen. Bei letztgenannten erfolgt die Gleitbewegung unter ständigen Richtungsänderungen in Form einer Zick-Zack-linie (s. Abb. 11).

Die an die Front anschließenden Bereiche:

Für die oberen anschließenden Bereiche (nur in einem Polygonzug, der einen schmalen Bereich noch ca. 260 m hinter der Talzuschubsstirn erfaßt) konnte bei Betrachtung des Gesamtzeitraumes (1983 -1992) folgendes ermittelt werden:

Insgesamt ergibt sich für die Punkte P 41 und P 46 eine relativ einheitliche Bewegungstendenz nach N bis NNE ($3^\circ - 14^\circ$).

Die Bewegung erfolgt unter ständigen und z. T. sehr deutlichen Richtungsänderungen, wobei einzelne Meßepochen stark von dieser Generalrichtung abweichen.

Die Richtungsänderungen erfolgen bei allen Punkten gleichsinnig, wobei die Intensität der Änderung mit Annäherung an die Talzuschubstirn abnimmt.

Einen weiten Streubereich in den Richtungen weist der am höchsten liegende Punkt P 46 auf, der von NW bis NE reicht.

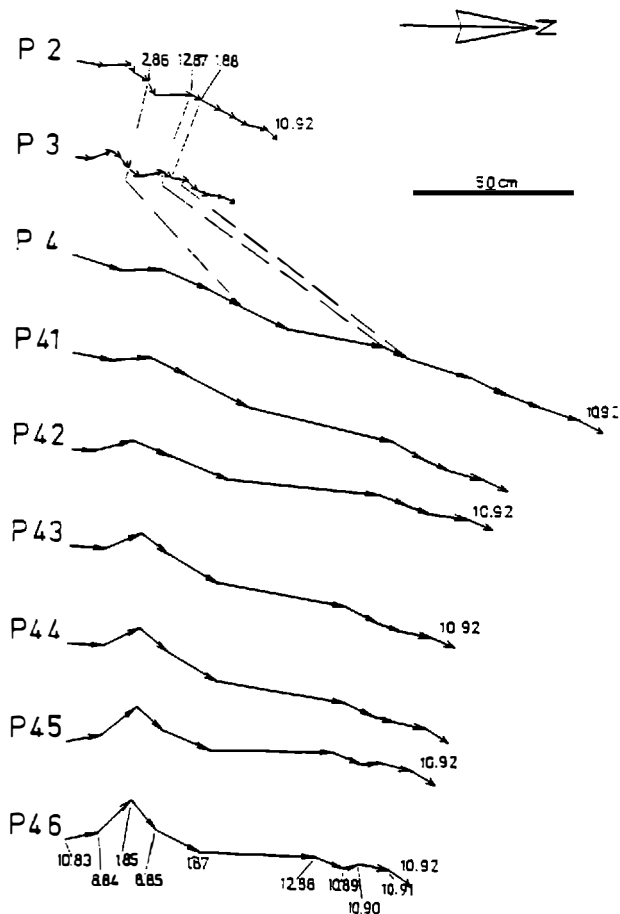


Abb. 11: Ebener Bewegungsvektor einzelner Objektpunkte seit 1983 (Bereich oberhalb Naßfeldebundesstraße bis ca. 400 m bergwärts des Oselitzenbaches, zur genauen Lage s. Abb. 8, 12); zur Erläuterung s. Text.

Diskussion:

Eine sinnvolle Erklärung für die oben genannten Unterschiede in den Bewegungsrichtungen kann z. T. in den derzeitigen Festigkeits- und Verbandseigenschaften, der Lage zur freien Oberfläche sowie mit dem Verlauf der Grabensohle des Oselitzenbaches gefunden werden:

Je aufgelöster der Gebirgsverband, desto mehr wird die Bewegungsrichtung von der Lage an der vordersten Front der Talzuschubsstirn bestimmt.

Bei etwa gleichbleibenden Gebirgsverhältnissen nimmt der Einfluß der Stellung der Stirnfläche von der Talzuschubsstirn zu den anschließenden Bereichen ab. Dies bedeutet, daß sich von der NNE-Richtung abweichende Bewegungsrichtungen bevorzugt im Hinterland der Talzuschubsstirn finden werden. Durch die Bildung von Großschollen im 100 m-Bereich und durch die Einspannungsverhältnisse (Einfluß von seitlichen Kräften) wird die Spannungslösung kein homogenes Bild erzeugen.

Nach den bisherigen Messungen sind auch solche stark schwankenden Bewegungsrichtungen an den wenig intakten Felsbereichen der Talzuschubsstirn zu beobachten; auch hier führt die im Zuge der Gleitbewegung eintretende Spannungslösung nicht zu einem über die Zeit homogenen Bewegungsbild hinsichtlich der Bewegungsrichtung.

Die gemeinsamen Trends von der Front bis ca. 300 m hinter der Talzuschubsstirn (z. B. die ausgeprägte NW-Richtung in der Meßperiode von 8.84 bis 1.85) belegen eine tiefgreifende Schollenbildung, die aber durch die Art des Gebirges (z. B. im Verband, nur mehr Grobblockschutthalde mit viel Feinanteil) und durch die Entfernung und die Stellung der Stirnfläche des Talzuschubes modifiziert werden.

Eine jahreszeitliche Zuordnung der stark abweichenden Richtungen kann nicht eindeutig vorgenommen werden; ein Vergleich mit den Niederschlägen zeigt, daß die großen Änderungen in Zeiträume mit relativ niederen Niederschlägen fallen, starke Hangabwärtsbewegungen vermutlich mit einer hohen Wasserführung der Zuschubsmasse zusammenhängen.

3.4.3 Der räumliche Bewegungsvektor

Die Angabe des räumlichen Bewegungsvektors liefert Aussagen über Bewegungsmechanismus und Gleitkörpergeometrie.

Die Frontbereiche in nächster Nähe der Naßfeldbundesstraße:

Für die vordersten Bereiche der östlichen Talzuschubstirn (Messungen vorwiegend seit 1988) können folgende Ergebnisse vorgelegt werden (s. a. Abb. 12):

Bis 1989 werden durchwegs stark abwärts geneigte Bewegungsvektoren beobachtet (ca. 30° bis ca. 60°).

Ab 1989 ändern sich diese Werte von ca. -25° bis auf ca. $+10^\circ$.

Positive räumliche Bewegungsvektoren konnten jedoch ab 1989 nur vereinzelt festgestellt werden.

Diskussion:

Die räumlichen Bewegungsvektoren zeigen deutlich das Wirksamwerden der Sanierungsmaßnahmen ab 1989 (Gegenschüttung ca. 200.000 m³, Anlage des Felskanals); das staffelförmige Nachsitzen an steilen listrischen Flächen hört auf, eine Verflachung der Neigungsvektoren ist bis ca. 80 Höhenmeter über der Naßfeldbundesstraße zu erkennen.

Eine Ausnahme bilden einzelne Bereiche an der Abrißkante der Quellenbach-Rutschung, wo auch nach 1989 durch oberflächliche Gleitschollenbildung steilgeneigte Bewegungsvektoren (ca. - 45°) zu beobachten sind (s. a. Abb. 15).

Diese Bereiche weisen auch die größten Geschwindigkeiten nach den Baumaßnahmen auf. Insgesamt ergibt sich ein abwechselnd sackender und gleitender Bewegungsmechanismus, bei dem eine Phase über längere Zeit dominieren kann. Das auch nach 1989 uneinheitliche Bewegungsbild spricht für lokale Instabilitäten an der übersteilten Talzuschubsstirn.

Die an die Talzuschubsstirn angrenzenden Bereiche:

Die Folgerungen für diesen Bereich konnten nicht aus einer flächenhaften Aufnahme des Bewegungsbildes, sondern nur in einem Polygonzug gewonnen werden, der ca. 300 m hangaufwärts hinter der Talzuschubsstirn endet. Ab 1983 ergibt sich folgendes Bild (s. Abb. 12):

Die räumlichen Bewegungsvektoren schwanken von ca. - 27° (P 46 Meßperiode 12.84 bis 7.85) bis + 10° (P 42, P 43 Meßperiode 7.84 bis 12.84).

Der Trend ist bei den Neigungsänderungen innerhalb der einzelnen Meßperiode bei allen Punkten der gleiche.

Die Durchschnittswerte des räumlichen Bewegungsvektors über den gesamten Meßzeitraum schwanken von - 17° bei P 4 bis zu - 7° bei P 41.

TALZUSCHUBSSTIRN REPPWAND / LÄNGENSCHNITT 800 - 1000 m

----- Richtung 185° ----->----- Richtung 195° -----

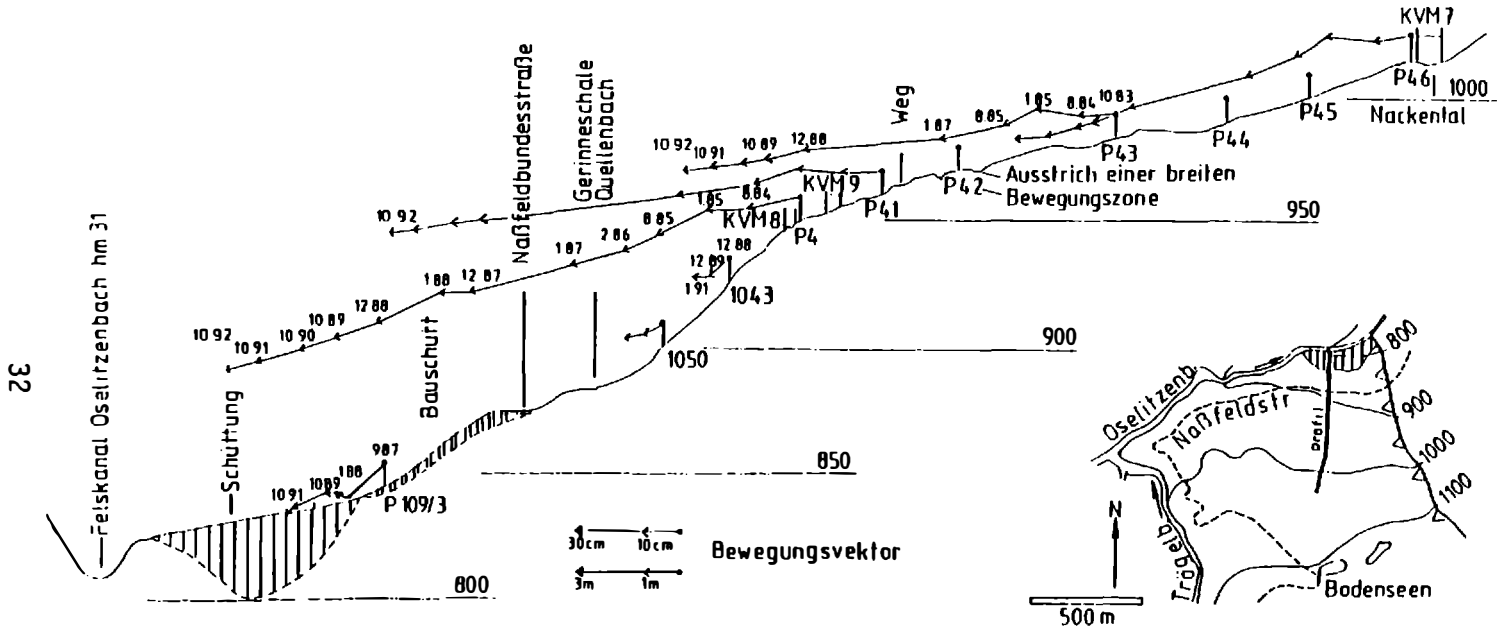


Abb. 12: Räumlicher Bewegungsvektor an der Talzuschubsstirn im Bereich der Quellenbach-Rutschung (ca. hm 31) bis ca. 1.000 m.

Diskussion:

Die insgesamt flachen Bewegungsvektoren sind Ausdruck translationsförmiger Gleit- und Kriechvorgänge, die durch das flache Hangauswärtsfallen der Naßfeldschichten in diesem Bereich gefördert werden.

Die einheitlichen Neigungsänderungen aller Punkte sprechen für große zusammenhängende Gleit- und Kriechkörper; aufgrund der geodätischen Untersuchungen, der Konvergenzmessungen und der Geländeaufnahme dürfte für den unteren Teil der Talzuschubsmasse bei ca. 1.000 m knapp oberhalb P 46 eine solche tiefliegende Gleitzone ansetzen (s. Abb. 13).

Wo eine Ablösung von großen Gleitkörpern an steilen listrischen Flächen erfolgt, finden sich steilere Bewegungsvektoren (P 46 über dem gesamten Meßzeitraum 16°).

In Abb. 13 können noch einmal für den unteren Teil der Talzuschubsmasse die Gleitkörpergeometrien und Bewegungsgeschwindigkeiten entnommen werden. Die Bewegungsgeschwindigkeiten sind hier über die Jahre 1983 bis 1991 gemittelt. Ab 1990 ergeben sich geringere Werte (Werte in Klammern).

3.4.4 Der Einfluß externer Faktoren auf den zeitlichen Bewegungsablauf

Unter externen Faktoren sollen hier Niederschläge, Schneeschmelzvorgänge, Bergwasserspiegelstände, Unterschneidung am Fuß der instabilen Talflanke und Erdbeben verstanden werden. Auch bei Talzuschüben wurde in den letzten Jahren versucht, Abhängigkeiten der Intensität, des Einsetzens der Hangbewegung, der Beschleunigungsphasen etc. von externen Faktoren herzustellen (z. B. Bergwasserspiegelstände MOSER & GLUMAC 1982; Schneeschmelzvorgänge BLANC et al. 1988). Leider können Ergebnisse innerhalb solcher Großhangbewegungen nur selten mitgeteilt werden, da

die einzelnen Meßreihen (Hangbewegung, Niederschläge etc.) unterschiedliche zeitliche Abstände aufweisen und

sehr häufig auch der Abstand der einzelnen Messungen so groß ist, daß keine verbindlichen Aussagen hinsichtlich einer signifikanten Abhängigkeit von oben genannten Parametern getroffen werden kann.

Im Rahmen der Untersuchung der Reppwand-Gleitung soll der Parameter "Unterschneidung" herausgegriffen werden. Unterschneidungsvorgänge können oft als der Motor bzw. als das Auslöserereignis für Beschleunigungsphasen oder sogar als eine Aktivierung eines mobilen Gebirgskörpers in Form von Talschüben angesehen werden. Besonders Art und Intensität der Nachböschungsvorgänge sind offenbar eine Funktion der Unterschneidungsvorgänge im Bereich der Ufereinhänge der Grabensohle.

Für das Bewegungsverhalten der Talzuschubsstirn sind seit Beginn der 80er Jahre folgende Ereignisse von Bedeutung:

Sept. 1983: Unterschneidung von hm 28 bis hm 32 mit 200.000 m³ -->
Absackung und Zerstörung der Naßfeldbundesstraße

Aug. 1987: Unterschneidung bei hm 31 mit ca. 40.000 m³ abgeführten Material
 --> verstärktes staffelförmiges Nachsitzen bis ca. 150 Höhenmeter
 über die Grabensohle

April 1988 bis

Okt. 1988: Anlage einer Gegenschüttung und Verlegung des Oselitzenbaches in
 einen Felskanal

Das Bewegungsverhalten bachnaher Punkte:

Wie aus Abb. 14 und Tab. 1 entnommen werden kann, erfahren die bachnahen Bereiche der Front der Talzuschubsstirn nach einer Unterschneidung eine rasante Beschleunigung. So ergaben sich innerhalb von vier Monaten horizontale Bewegungen der Ufereinhänge bis zu 250 cm (ca. 60 cm/Monat), dagegen nach Abklingen der Unterschneidungsvorgänge (Bachverlegung, Anlegen einer Fußschüttung von 170.000 m³) nur mehr maximal Bewegungsgeschwindigkeiten von << 1 cm/Monat (s. z. B. P 108/1, 109/3, Tab. 1, Abb. 14).

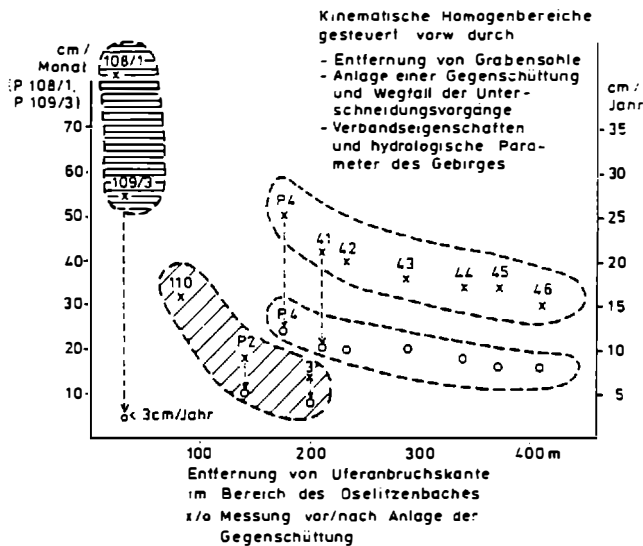


Abb. 14: Einfluß der Unterschneidungsvorgänge des Oselitzenbaches bzw. des Wirksamwerdens der Gegenschüttung seit 1989 auf die Bewegungsgeschwindigkeit im Bereich der Quellenbach-Rutschung (zur genauen Lage der Punkte s. Abb. 8).

Das Bewegungsverhalten der Talzuschubstirn bis ca. 400 m hangaufwärts der Grabensohle (im Bereich von hm 29 bis hm 32):

Hier zeigt z. B. P 4 (ca. 180 m hangaufwärts der Grabensohle (s. a. Abb. 12) sehr deutlich die Auswirkungen der Unterschneidungsvorgänge.

Bewegungsverhalten P 4

Zeitraum:

10.1983 bis 12.1988 (zwei Ereignisse mit Unterschneidungsvorgängen): Bewegung horizontal 130 cm (**2,09 cm/Monat**)

Zeitraum:

12.1988 bis 10.1990 (keine Unterschneidung, Anlage der Fußschüttung):
Bewegung horizontal 22 cm (**1,0 cm/Monat**, Verringerung um ca. 55 %)

Dagegen ist der Einfluß von Unterschneidungsvorgängen in bachferneren Punkten (s. z. B. P 46) weit weniger ausgeprägt:

Bewegungsverhalten P 46

Zeitraum:

10.1983 bis 12.1988:

Bewegung horizontal 77 cm (**1,25 cm/Monat**)

Zeitraum:

12.1988 bis 10.1990:

Bewegung horizontal 15 cm (**0,7 cm/Monat --> Verringerung um ca. 45 %**)

Die Ablösegeschwindigkeit großer Kriech- und Gleitkörper an der Front der Talzuschubstirn:

Wie aus Abb. 15 eindeutig hervorgeht, wird die Ablösegeschwindigkeit (d. h. die Prozesse der Dilatanz) auch von den Unterschneidungsvorgängen gesteuert.

Beispiel: Konvergenzmeßstrecke 8 (KVM 8, zur Lage s. Abb. 8).

Ablösegeschwindigkeit vom 15.09.1987 bis 15.06.1988:

38 cm (4,2 cm/Monat)

Ablösegeschwindigkeit vom 15.06.1988 bis 15.06.1991:

57 cm (1,6 cm/Monat, s. Abb. 15)

Auch die Bildung größerer Gleit- und Kriechkörper, die das kinematische Gesamtverhalten der Talzuschubsmasse charakterisieren, werden durch Unterschneidungsvorgänge an der Grabensohle bedingt.

Beispiel: Konvergenzmeßstrecke 7 (KVM 7, zur Lage s. Abb. 8).

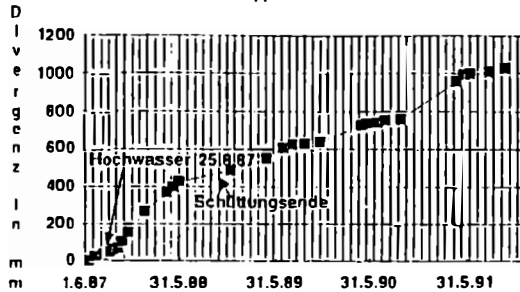
Ablösegeschwindigkeit vom 15.09.1987 bis 15.06.1988:

3 cm (0,3 cm/Monat)

Ablösegeschwindigkeit vom 15.06.1988 bis 15.06.1991:

3,5 cm (0,09 cm/Monat).

Reppwand Kvm 8



Reppwand Kvm 9

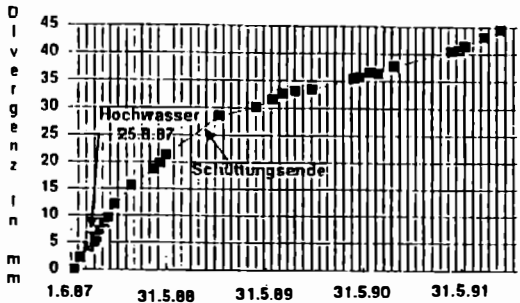
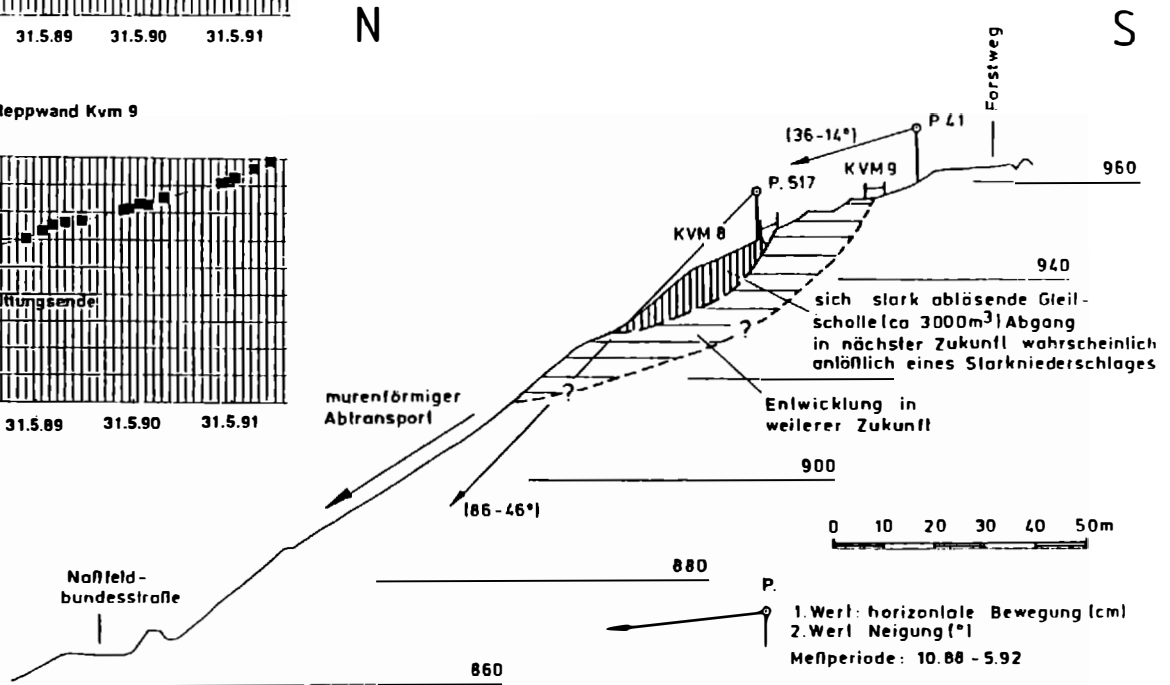


Abb. 15: Absolute Bewegungsbeträge, Gleitschollenbildung und Ablösegeschwindigkeiten Quellenbach-Rutschung oberhalb Naßfeldbundesstraße

39



4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Reppwand-Gleitung stellt eine aktive Talzuschubsmasse dar, die aufgrund ihrer geologisch-geotechnischen Ausbildung und dem Wirksamwerden externer Einflüsse ein sehr heterogenes Bewegungsbild aufweist. Die geologischen und geodätischen Untersuchungen machen es wahrscheinlich, daß wir bis zum Bodenseeniveau (ca. 1.100 m) bis zu 150 m tiefeichende Kriech- und Gleitkörper haben, wobei eine ausgeprägte Dilatanz des Massenkörpers zu beobachten ist.

Durch die bis jetzt durchgeführten Maßnahmen im Zuge des Verbauungsprojektes Oselitzenbach der Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Kärnten (SKOLAUT 1985) wurden besonders die periodisch wirksamen Unterschneidungsvorgänge an der Talzuschubstirn in besonders gefährdeten Bereichen ausgeschaltet. So ist bis zur Naßfeldbundesstraße im Bereich der Fußschüttung eine weitgehende Beruhigung eingetreten mit Geschwindigkeiten von < 5 cm/Jahr. Die bachnahen Einhänge des Oselitzenbaches, die keine solchen einschneidenden bautechnischen Maßnahmen erfahren haben, sind aber weiter in Bewegung. Hier muß besonders auf die Bereiche von hm 34 bis hm 36 hingewiesen werden, wo sich Zuschubsgeschwindigkeiten von z. T. > 10 cm/Jahr ergeben. So konnte eine Verschiebung des neu erbauten Sperrenflügels bei hm 34,8 von ca. 10 cm in 2 Jahren festgestellt werden. Auch die Bereiche oberhalb der eigentlichen Talzuschubstirn ab ca. 980 m weisen im Bereich der Fußschüttung weiterhin Zuschuberscheinungen von ca. 7 - 8 cm/Jahr auf. Eine weitgehende Beruhigung der gesamten Talzuschubsmasse wird weniger mit punktuellen Eingriffen (sicher richtig für die besonders gefährdeten Bereiche der Quellenbach-Rutschung), sondern mit flächenhaften und tiefgreifenden Maßnahmen zu erreichen sein. Hier ist besonders an eine Absenkung der Bergwasserspiegelstände zu denken. Aufgrund der starken Dilatanz (Spaltenbildung, Nackentäler) ist bei allen Bächen, die ab Bodenseeniveau über dem unteren Bereich der Talzuschubsmasse verlaufen, mit starken Versickerungsvorgängen zu rechnen.

Da ein Großteil der Bergwässer des oberen Einzugsgebietes der Reppwand-Gleitung im Niveau der Bodenseen austritt (HÖTZL & MOSER 1993), wird es für eine Absenkung des Bergwasserspiegels zweckmäßig sein, die Wässer schon in diesen Bereichen zu fassen und über den westlichen, wenig aktiven Teil der Talzuschubsmasse dem Trögelbach zuzuleiten.

Literaturverzeichnis:

BLANC, A. et al.: (1988): Methodes de surveillance d'un glissement de terrain de très grande ampleur; la Clapière, Alpes Maritimes, France. Bull. Int. Ass. Eng. Geol. Nr. 35, 37 - 44, Paris.

HÖTZL, H. & MOSER, M.: (1992): Application of tracer techniques for hydrogeologic studies of mass movements. In: [HÖTZL, H. & WERNER, A.: Tracer Hydrogeology: 357 - 363, Rotterdam (Balkema)].

KAHLER, F. & PREY, S.: (1963): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen. - Geol. B.-A., 116 S., Wien.

MOSER, M. & GLUMAC, S.: (1982): Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzuschubes Gradenbach (Kärnten). Verh. Geol. B.-A., 209 - 241, Wien.

MOSER, M., ANGERER, J. & SEITZ, S.: (1988): Geotechnische Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Verbauungsprojektes Oselitzenbach/Kärnten. Int. Symp. "Interpraevent 1988", 77 - 102, Graz.

SKOLAUT, H.: (1985): Technischer Bericht für das Ausführungsprojekt Oselitzenbach. - 108 S., Villach.

Autor: Prof.Dr.Michael Moser
Lehrstuhl für Angewandte Geologie
Friedrich-Alexander-Universität
Schloßgarten 5
91054 Erlangen

Die Triebwasserführung Gerlos II

Prognose und Vortrieb

R. GERSTNER

Einleitung

Im Jahre 1988 wurde von den Tauernkraftwerken die Erneuerung des Kraftwerkes Gerlos im Tiroler Zillertal in Angriff genommen. Der Neubau der gesamten Triebwasserführung bildete die erste Ausbaustufe dieser Erneuerung, parallel dazu wurde die Sperre Gmünd umgebaut und um einen Meter erhöht. Der Umbau des Krafthauses und die damit verbundene Leistungserhöhung ist in einer zweiten Ausbaustufe geplant.

Der mechanische Vortrieb des Triebwasserstollens Gerlos II gelangte nach kurzer Vortriebsstrecke in solche Schwierigkeiten, daß ein weiterer Fräsvortrieb mit der TBM in Frage gestellt war. Wegen der anstehenden Entscheidung, auf konventionellen Vortrieb umzustellen oder weiter zu fräsen, wurden u. a. umfangreiche seismische Untersuchungen zur Überarbeitung der Prognose durchgeführt, die hier näher vorgestellt werden sollen.

Seismische Untersuchungen zur Unterstützung der geologisch-geotechnischen Prognose sind zwar an sich nichts Neues oder besonders Ungewöhnliches, am Beispiel Gerlos können aber der Vergleich mit den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen geführt und die Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation aufgezeigt werden.

Projektsübersicht

Das Speicherkraftwerk Gerlos der Tauernkraftwerke wurde während des 2. Weltkrieges gebaut und ist seit 1948 in Betrieb. Mit einer Ausbauwassermenge von $15 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Leistung von 65 MW wird eine rund 600 m hohe Steilstufe des Gerlosbaches zum Ziliertal energiewirtschaftlich genutzt (Bilder 1 und 2).

Die Kraftwerksanlagen umfassen im wesentlichen den Wochenspeicher Gmünd mit der 39 m hohen, ersten Gewölbemauer Österreichs, den 6 km langen Druckstollen, die Mühlbacheinleitung, das Wasserschloß, den 1 km langen Druckschacht, die Untere Flachstrecke und das Krafthaus Rohrberg.

KW Gerlos I

Bei der Errichtung der Kraftwerksanlage während des 2. Weltkrieges hatte man mit schwierigen geologischen Verhältnissen und mit kriegsbedingten Materialmängeln und Versorgungsschwierigkeiten zu kämpfen. Schon vor Inbetriebnahme des Kraftwerkes traten im Druckstollen durch sulfathältige Bergwässer Schäden an der Betonauskleidung auf, die durch Einziehen einer Panzerung auf 1130 m Länge saniert wurden. Im Zuge der Probefüllung des Druckschachtes im Jahre 1945 und des ersten Betriebes 1947 ereigneten sich mehrere Brüche der Druckschachtpanzerung, die in erster Linie auf Materialmängel zurückzuführen waren. Nach der Instandsetzung kam es unter restriktiven Betriebsvorschriften zu keinen weiteren Schäden.

Nach 40-jährigem Kraftwerksbetrieb wäre eine Generalsanierung des Druckschachtes erforderlich gewesen, dessen Panzerung nicht mehr den Sicherheitsanforderungen entsprach. Da auch der Triebwasserstollen über längere Strecken Schäden an der Betonauskleidung aufwies, entschloß man sich zu einem Neubau des gesamten Triebwasserweges. Es ist geplant, die Kraftwerksleistung in einer 2. Ausbaustufe von 65 auf 200 MW zu erhöhen.

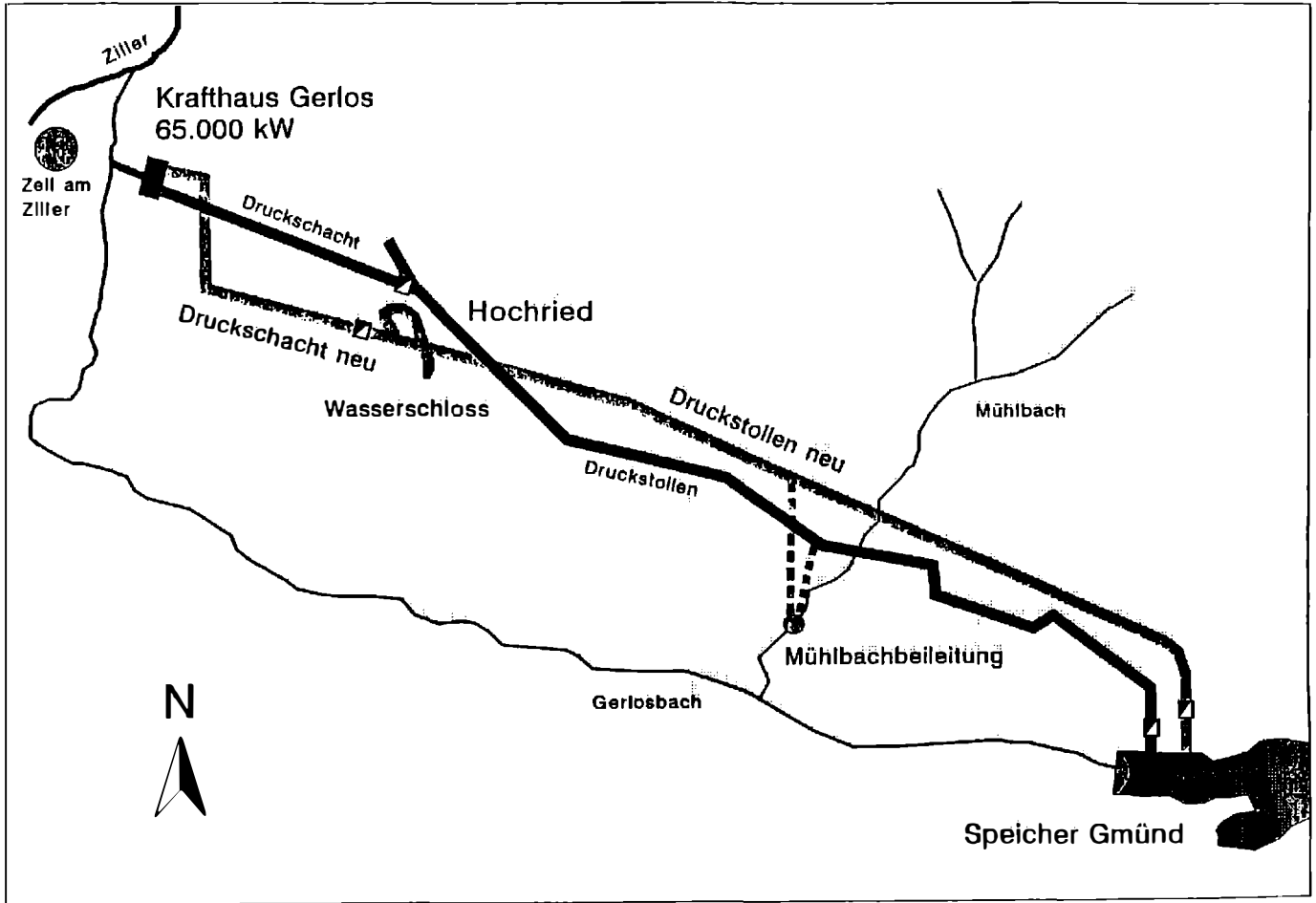


Bild 1: KW Gerlos, Übersichtslageplan

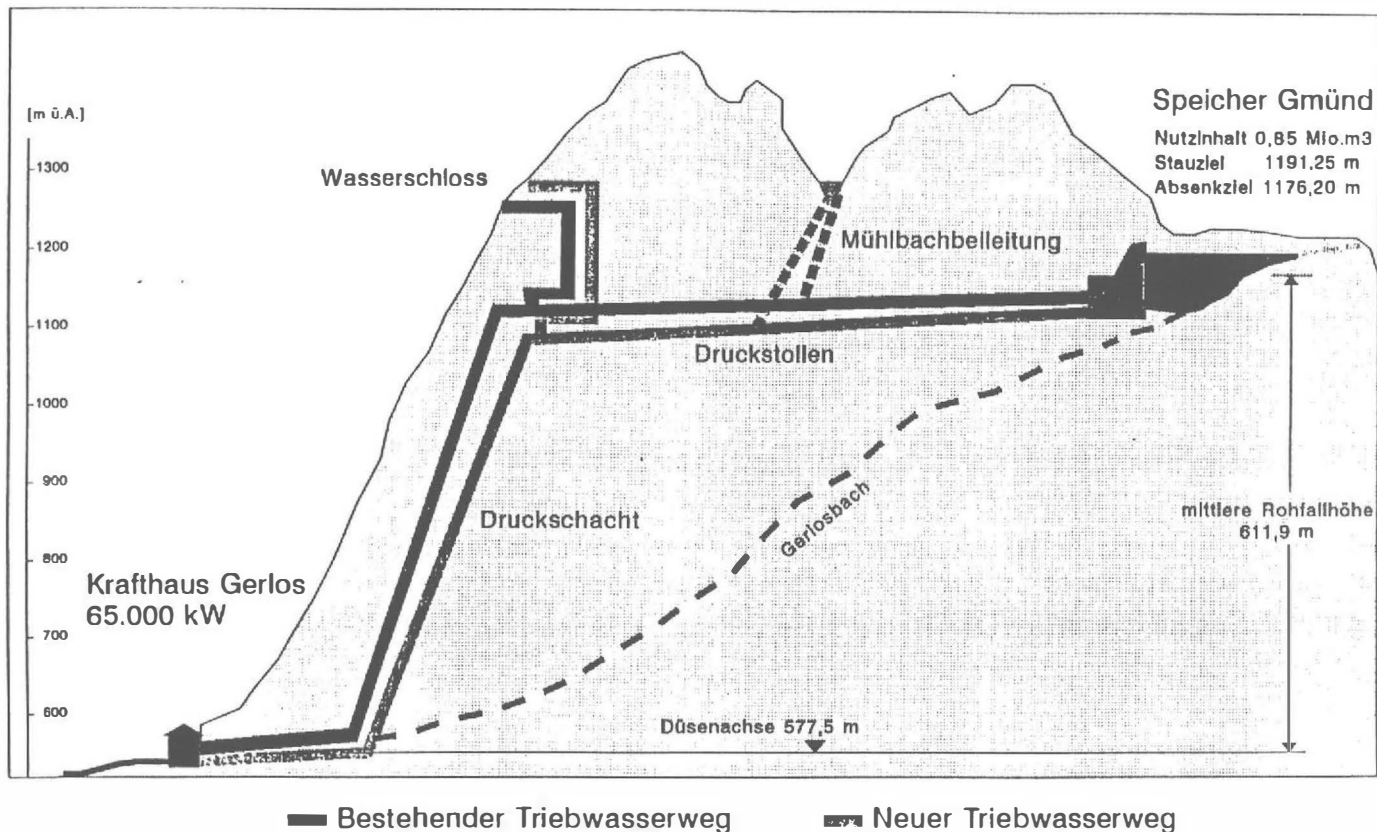


Bild 2: KW Gerlos, Übersichtslängenschnitt

Geologische Übersicht

Das Projektsgelbiet liegt am NW-Rand des Tauernfensters, im Bereich der Überschiebungsbahn des Unterostalpins über das Pennin. Der Druckschacht, die Schieberkammer, das Wasserschloß und das westliche Drittel des Triebwasserstollens liegen im tektonisch höheren Innsbrucker Quarzphyllit, die östlichen zwei Drittel in der tektonisch tieferen, penninischen Tauernschieferhülle (Bild 3).

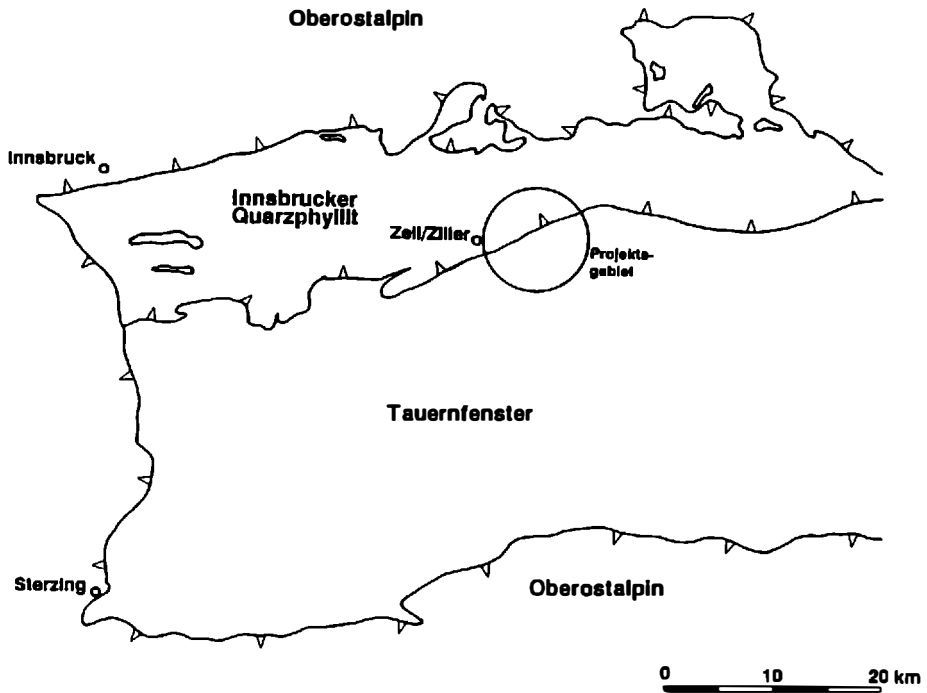


Bild 3: KW Gerlos, Geologische Übersicht

Die südliche Randzone des Quarzphyllites weist bei einheitlichen lithologischen Verhältnissen eine z. T. sehr starke Tektonisierung und krassen Wechsel im Grad der Gebirgszerlegung auf.

Die Tauernschieferhülle ist durch eine vielfältige Schichtfolge von Phylliten und Schiefen, Quarziten, Karbonaten und Breccien gekennzeichnet, die der Bündnerschiefer-Serie, der Mitteltrias-Karbonat-Serie und der Wustkogel-Serie angehören. Der häufige Wechsel von Einheiten sehr unterschiedlicher Lithologie und Gebirgszerlegung ist charakteristisch.

Die geologischen Strukturen streichen sowohl im Innsbrucker Quarzphyllit als auch in der Tauernschieferhülle generell spitzwinkelig zur Stollentrasse. Die Überschiebungslinie ist zur Lagerung beider tektonischer Einheiten diskordant.

Vorerkundungen

Vor Baubeginn wurde eine Reihe von geologischen Vorerkundungen durchgeführt. Dazu gehörte u. a. ein 250 m langer Sondierstollen im Bereich des Druckschachtfußpunktes, durch den die Ausdehnung des großen Talzuschubes Rohrberg erkundet werden sollte und der zur Abwicklung eines felsmechanischen Versuchsprogrammes diente. Mit dem neuen Druckschacht konnte dem ausgedehnten Talzuschub, den der alte Druckschacht berührt, ausgewichen werden.

In den Portalbereichen des Triebwasserstollens wurden Bohrungen und seismische Untersuchungen ausgeführt. Bereits diese Vorerkundungen deuteten auf gestörten bis stark gestörten Fels hin. Aus den Ergebnissen der seismischen Erkundungen konnten ein sehr unruhiger Verlauf der Felsoberfläche und steilstehende Störungsstrukturen abgeleitet werden.

Für einen Fräsvortrieb erschien neben mehreren ausgeprägten Störungen und dem kleinen Winkel der geologischen Strukturen zur Stollentrasse die starke Wechselhaftigkeit des Gebirgsverbandes besonders problematisch (Bild 4).

FRÄSKLASSEN

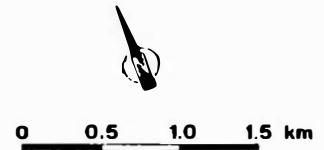
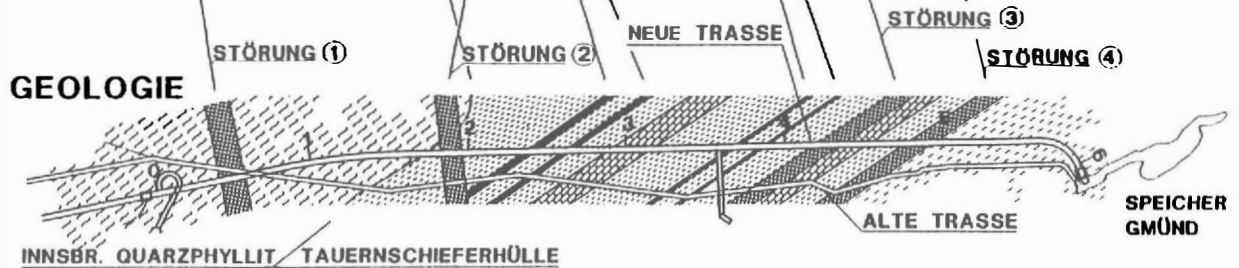
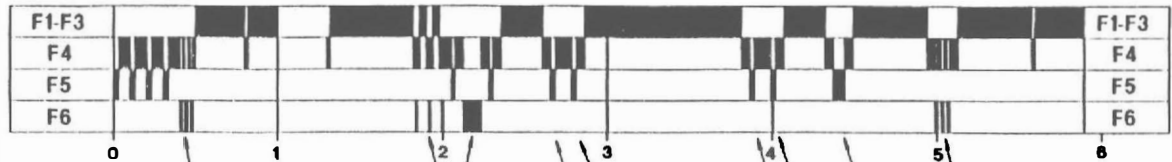


Bild 4: KW Gerlos II, Geologie und Fräsklassen, 1. Prognose

Da aber auch längere zusammenhängende Strecken in guten Gebirgsklassen zu erwarten waren, wurde entschieden, den Stollen mit einem Durchmesser von 4,25 m mechanisch aufzufahren. Den erwarteten schwierigen geologischen Verhältnissen wurde durch die Annahme von 236 m Vortrieb in der Klasse F6 Rechnung getragen, gute Fräsklassen wurden nur für zwei Drittel der Gesamtstollenlänge prognostiziert (Bild 5).

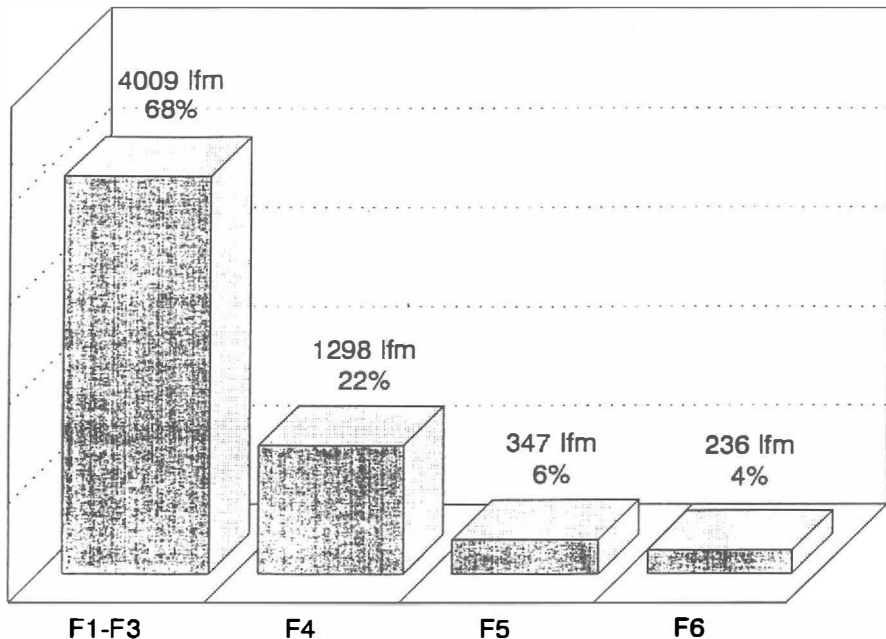


Bild 5: KW Gerlos II, Fräsklassenverteilung, 1. Prognose

Druckschacht

Auch für den Vortrieb des 1 km langen, 36° geneigten Druckschachtes entschloß man sich zum Fräsvortrieb, obwohl wegen der fast schieferungsparallelen Richtung ursprünglich Bedenken hinsichtlich der Fräsbarkeit bestanden. Im Vortrieb führten schleifend zum Schacht verlaufende, steilstehende mylonitische Störungen zu Problemen bei der Verspannung der Maschine, sodaß Felsauswechslungen an den Ulmen häufig erforderlich waren.

Über weite Strecken wurden aber gute Vortriebsleistungen erreicht, sodaß nach einer Vortriebszeit von rund einem Jahr durchgeschlagen werden konnte. Der Anteil der Fräsklassen F5, F6 und F7 erhöhte sich gegenüber den in der Prognose angegebenen 15 % auf 20 %.

Wegen des verwitterten und stärker entspannten Gebirges im obersten Teil des Schachtes und aus Termingründen wurden die obersten 100 m im konventionellen Gegenvortrieb aufgefahren.

Bei Station 1290 m zwang ein Verbruch an einer 10 m mächtigen Störung mit tonigen Myloniten und starkem Bergwasserandrang zum vorläufigen Fräsenstillstand. Die Durchörterung dieser Störung im Schutze von Ankerschirmen nahm zwei Monate in Anspruch.

Vortrieb des Triebwasserstollens

Die zum Teil mechanisch und zum Teil konventionell aufgefahrenen Strecken im Bereich der Schieberkammer und des Wasserschlosses zeigten die starke Störung des Gebirgsverbandes in der südlichen Randzone des Innsbrucker Quarzphyllites. In Störungen mit tonigen Myloniten und mäßigem Bergwasserandrang kam es zu mehreren Verbrüchen.

Im Mai 1989 wurde mit dem Fräsvortrieb des Druckstollens begonnen. Bereits nach rund 200 m Vortrieb wurde eine Störung angefahren, die auf den nächsten 30 m einen händischen Kalottenvortrieb in Klasse F7 erforderlich machte; die mittlere Tagesleistung sank auf 1,5 bis 2 m. Nach mehreren Fräsversuchen mußte im nunmehr nahezu stollenparallel streichenden Störungsbündel erneut in den Kalottenvortrieb übergegangen werden.

Diese Vortriebssituation und die Ergebnisse der Vorausbohrungen machten weiter ausgreifende Erkundungen notwendig. Ein erster Schritt waren großräumige seismische Untersuchungen an der Geländeoberfläche, deren Ergebnis eine nur leichte Tendenz zur Besserung der Gebirgsverhältnisse in Vortriebsrichtung (Osten) und bergwärts zeigte.

Nach der Verschwenkung der Trasse um 150 m bergwärts wurden bis Jahresende 1989 weitere 110 m in Klasse F7 aufgefahren, das heißt großteils im händischen Kalottenvortrieb mit kurz nachfolgendem mechanischem Auffahren der Strosse vorgetrieben. Weil auch zu diesem Zeitpunkt keine Verbesserung der Verhältnisse abzusehen war, wurde die Entscheidung, den Fräsvortrieb einzustellen und auf konventionellen Ausbruch mit Gegenvortrieb umzustellen, greifbar.

Nachdem sich auch im Jänner 1990 nach weiteren 37 m Vortrieb die Situation nicht verbessert hatte, entschloß man sich, den alten, in 150 bis 300 m Entfernung verlaufenden Druckstollen zu entleeren und im Stollen über die gesamte Länge von rund 6000 m refraktionsseismische Messungen durchzuführen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollten auf die noch auszubrechenden 93 % des Druckstollens extrapoliert werden und als Basis einer überarbeiteten Prognose der Gebirgsverhältnisse dienen. Danach sollte die Entscheidung über die weitere Vortriebsart - mechanisch oder konventionell - getroffen werden.

Seismische Erkundungen - Meßanordnung

Durch die Meßgeometrie mußten Effekte der Stollenauskleidung und der Gebirgsauflockerung um den Stollen weitgehend ausgeschaltet werden. Bei der vorliegenden Fragestellung einer Erkundung von Gebirgseigenschaften um einen konventionell ausgebrochenen Stollen kann ein Zweischichtfall angenommen werden. Schicht 1 stellt die Auflockerungszone um den Stollen dar, Schicht 2 entspricht dem unverritzten Gebirge. Die bei kritischer Brechung an der Schichtgrenze entstehende "geführte" oder "Mintrop-Welle" ermöglicht die Messung der Primärwellengeschwindigkeit der zweiten Schicht, also des unverritzten Gebirges (Bild 6).

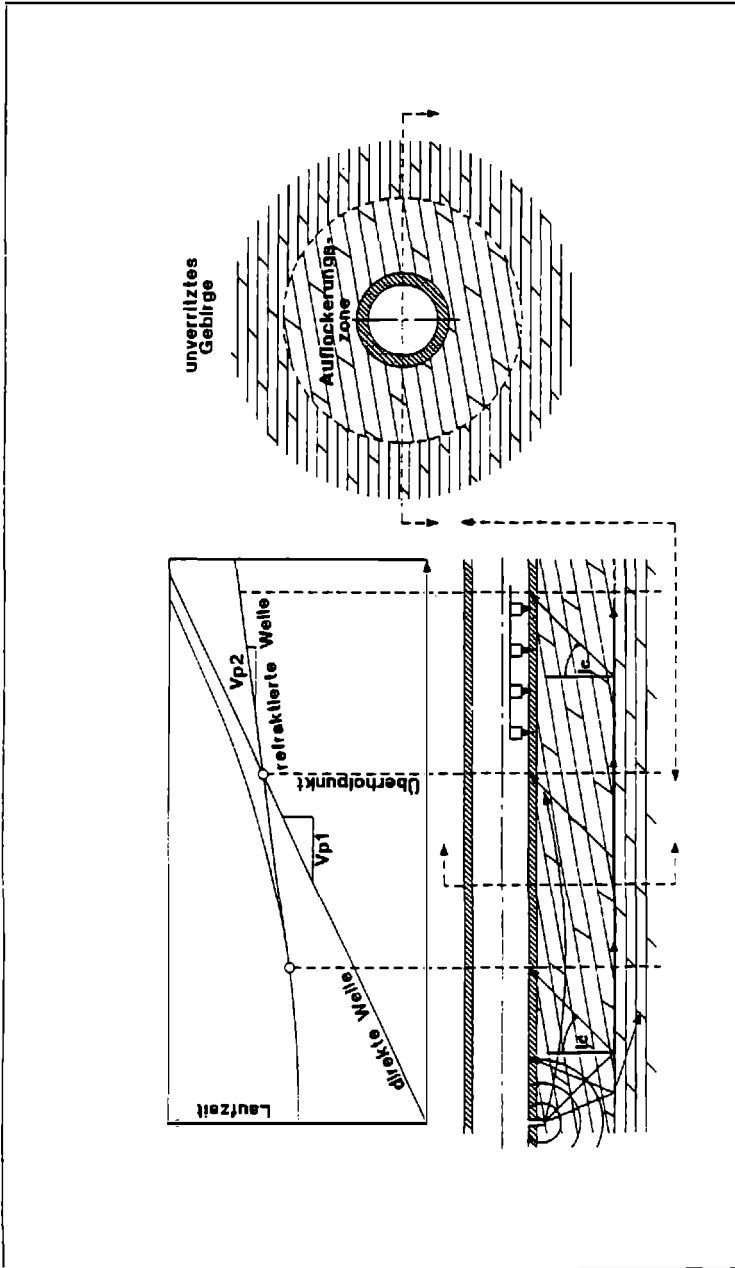


Bild 6: KW Gerlos II, Seismische Erkundungen, Meßprinzip und Meßanordnung

Die Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten läßt den Schluß auf die dynamischen elastischen Gebirgsparameter zu und bietet unter Zuhilfenahme geologischer Informationen die Möglichkeit der Abschätzung von geotechnischen Kennwerten. In entsprechender Entfernung von der Anregungsquelle ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen ausschließlich eine Funktion der Gebirgsparameter und unterliegt wie diese den Einflüssen von Überlagerungsmächtigkeit, Porosität, Wassergehalt, Zerlegungsgrad etc.

Die Auslage mit Geophonabständen von 10 m wurde von zwei Seiten überschossen und danach um die halbe Auslagenlänge verschoben. Dadurch konnte eine zweifache Überdeckung und eine ausreichende Redundanz der Daten erreicht werden.

Die Anregung der seismischen Welle erfolgte durch Kleinsprengungen im Bohrlochtiefsten von 3,5 m tiefen Kernbohrungen. Diese Bohrungen dienten zugleich der unerläßlichen Erkundung des Gebirges im Nahbereich des Stollens, die gerade bei einer lückenhaften geologischen Dokumentation von großer Wichtigkeit ist. Für die spätere Interpretation der Meßergebnisse waren insbesondere die durch die Bohrungen gewonnenen lithologischen Daten von großer Wichtigkeit.

Das durch Auswertung der Ersteinsätze der P-Wellen erstellte Laufzeitfeld wurde einem Ausgleichsverfahren unterzogen und daraus die Primärwellengeschwindigkeiten nach drei verschiedenen Algorithmen errechnet. Diese Rohdaten wurden einer manuellen Glättung unterzogen.

Seismische Erkundungen - Ergebnis und Interpretation

Das Ergebnis der seismischen Erkundungen ist in einem Band der Primärwellengeschwindigkeit zusammengefaßt (Bild 7). Die seismischen Geschwindigkeiten wurden entsprechend den geologischen Strukturen vom alten Stollen auf die neue Stollentrasse projiziert. Die ausgeprägten Störungen kommen dabei besonders deutlich heraus und boten für die Übertragung der Zwischenbereiche einen Anhalt.

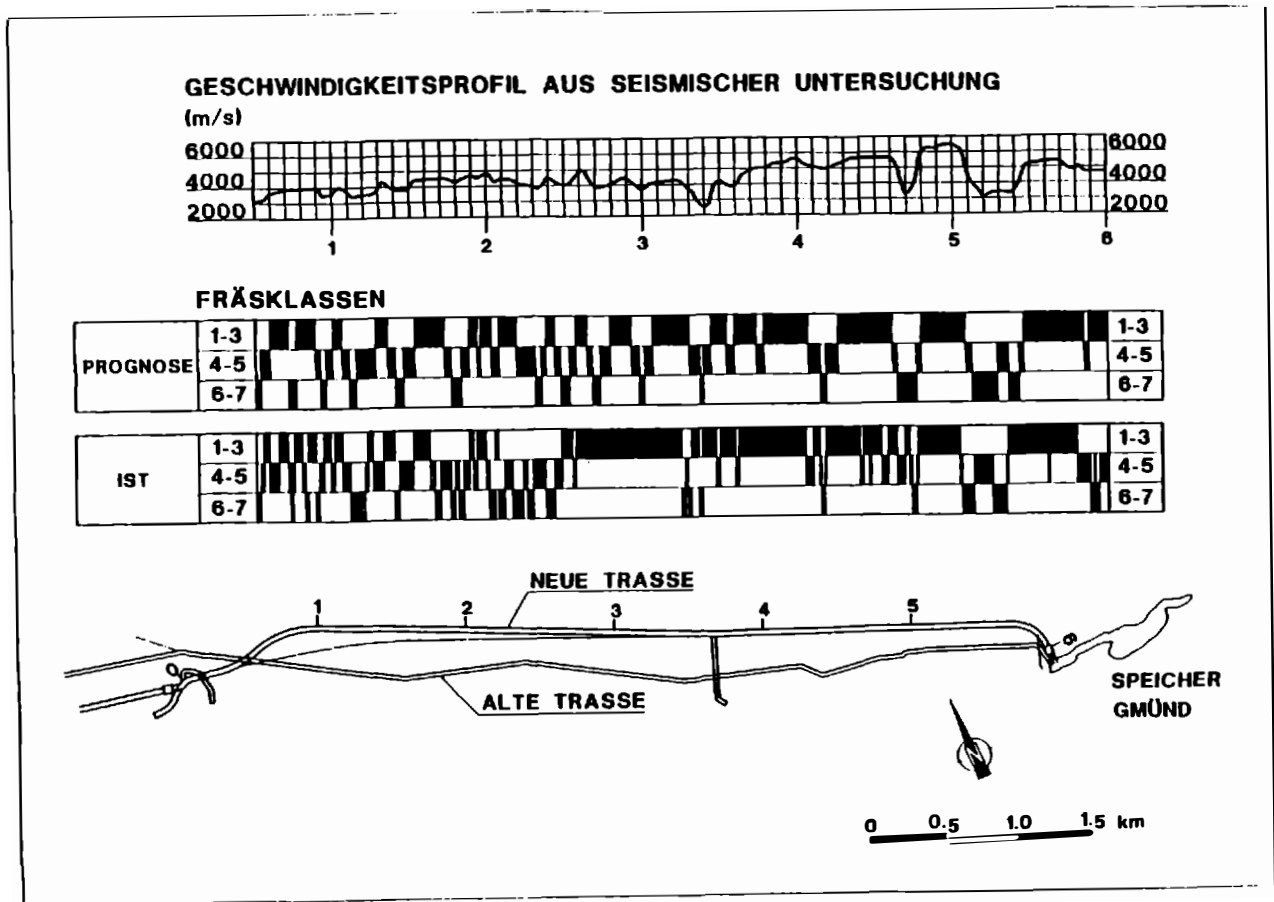


Bild 7: KW Gerlos II, Ergebnis der seismischen Erkundungen, prognostizierte und tatsächliche Fräsklassen

Unter Berücksichtigung geologischer Informationen wie Lithologie, Verwitterung, Bergwasser etc. wurden in einem zweiten Schritt den Geschwindigkeitsminima Zonen mit schlechten Gebirgsgüteklassen zugeordnet, den höheren Niveaus gute. Die Feinheit der Unterteilung wurde mit 15 – 20 m langen Abschnitten nach unten begrenzt. Zur Vereinfachung wurden die Fräsklassen in drei Gruppen zusammengefaßt (Bild 7).

Einer sozusagen optimistischen wurde eine pessimistische Prognose mit schlechterer Bewertung der Geschwindigkeitsminima gegenübergestellt.

Im dritten Schritt wurden den Fräsklassengruppen spezifische Vortriebsleistungen zugeordnet und über die Fräsklassenverteilung eine Vortriebsprognose erstellt. Für den Quarzphyllit ergab sich eine mittlere Tagesleistung von 6,5 m, für die Tauernschieferhülle wurde 8,3 m prognostiziert.

Fortsetzung des Vortriebes im Triebwasserstollen

Aufgrund der überarbeiteten Prognose fiel die Entscheidung für die Fortsetzung des TBM-Vortriebes. Zu diesem Zeitpunkt - im Februar 1990 stand der Vortrieb nach 11 Monaten erst bei Baustation 440 - waren 290 m oder 66 % in F6 und F7 aufgefahren worden. Der Vortrieb lag bereits mehr als 8 Monate hinter dem Bauzeitprogramm und hatte das Ende der Störung noch nicht erreicht.

Eine Entspannung der Situation trat ein, als nach 320 m Vortrieb in den Klassen F6 und F7 eine längere Strecke mit guten Klassen folgte. In den folgenden 6 Monaten bewegte sich die Vortriebsleistung mit nur etwa einer Dekade Zeitverzug im Mittel nahezu parallel zur Prognose (Bild 8).

Nach der Unterfahrung des alten Triebwasserstollens wurde das Hangende der Störung erreicht; in kompakten und harten Quarzphylliten kam es zu einem Wassereinbruch von 100 l/s. Die darauffolgende Strecke im Innsbrucker Quarzphyllit war durch immer wieder auftretende, relativ geringmächtige Störungen und damit durch einen krassen Wechsel im Grad der Gebirgszerlegung gekennzeichnet.

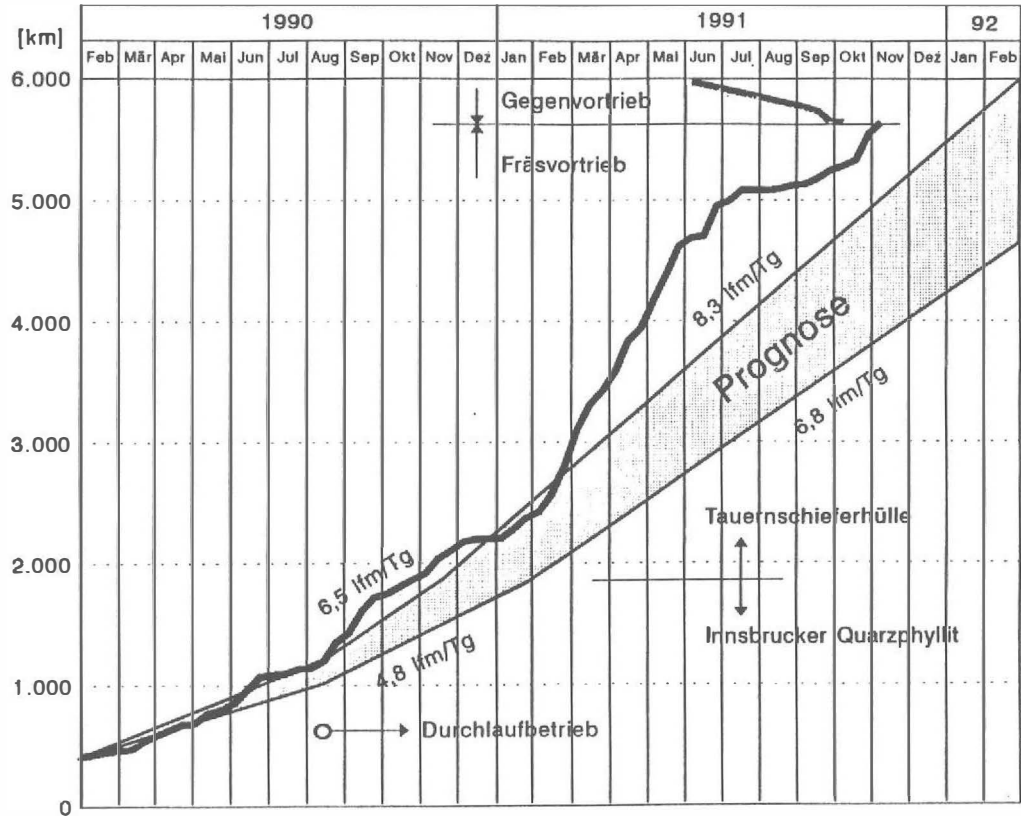


Bild 8: KW Gerlos II, prognostizierter und tatsächlicher Vortriebsfortschritt

Gegen die Überschiebungslinie nahm der Grad der Mylonitisierung des Gebirges allgemein zu und der Stollen gelangte zugleich allmählich weiter in das Berginnere. Wegen der hier etwas höheren Spannungen und wegen der geringeren Auflockerung und dem damit verbundenen geringerem Bergwasserandrang gestaltete sich der Vortrieb günstiger als im oberflächennahen Bereich. Die Reaktionszeit des Gebirges und damit die freie Standzeit war erkennbar länger. Die Überschiebungslinie bei km 1,34 war durch 30 m mylonitisierendes, aber trockenes (bergfeuchtes) Gebirge markiert.

In der Tauernschieferhülle waren im ersten Abschnitt in erster Linie Chloritsericitschiefer mit Gips aufzufahren, deren schleifend zum Stollen verlaufendes Streichen bei steilem Einfallen die Spannungsumlagerung und Verformung an den Ulmen begünstigte. Deshalb war hier auf weiten Strecken eine Sicherung mit geschlossenen Stahlringen erforderlich.

In der Bündnerschiefer-Serie wurden hauptsächlich karbonatische Schwarzphyllite, Kalkphyllite, Breccien und weiße Quarzite angetroffen. Die Gebirgsverhältnisse gestalteten sich etwas günstiger als auf der ersten Strecke nach der Überschiebungslinie.

Die Mühlbachstörung machte sich in Form von 20 m mächtigem Mylonit, Rauhwacken und Wasserandrang bemerkbar.

In den Kalken und Dolomiten der Mitteltrias-Karbonat-Serie wurden bei relativ geringem Bergwasserandrang durchwegs gute Fräsklassen aufgefahren.

Bei km 4,62 gelangte der Vortrieb in die 300 m mächtige Wandbachstörung, eine Verschuppungszone zwischen den Karbonaten und den Quarziten der Wustkogel-Serie, in der Gesteine beider begrenzender Einheiten mit Myloniten, Rauhwacken und milden Sericitphylliten aufgearbeitet waren. Der Bergwasserandrang war durchwegs stark, bei zwei Stationen ereigneten sich Wassereinbrüche mit je 40 l/s, die aus der mylonitischen Störzone Material in Form von Schlamm mit Gesteinsblöcken ausschwemmten. Die gesamte Verschuppungszone war in den Klassen F5, F6 und F7 zu bewältigen.

Den letzten Abschnitt des Triebwasserstollens nahmen die Quarzite der Wustkogel-Serie ein, die hier den Kern einer Synklinale bilden. Der Zerlegungsgrad war im allgemeinen gering, der Bergwasserzudrang aber hoch. Der 400 m lange konventionelle Gegenvortrieb vom Speicher Grmünd Richtung Westen wurde ausschließlich aus Termingründen durchgeführt.

Die Bergwasserführung des Triebwasserstollens erreichte eine Spitze von 130 l/s, der Dauerzufluß betrug 100 l/s. Die stärksten Einzelwasserzutritte betrugen 40 - 100 l/s.

Der Vergleich zwischen prognostizierten und tatsächlich aufgefahrenen Gebirgsgüteklassen zeigt, daß die Übertragung der seismischen Geschwindigkeiten auf die Ausbruchsverhältnisse in der neuen Trasse in Teilbereichen um 50 bis 100 m korrigiert werden mußte, die Charakteristik aber zutreffend war (Bild 7). Die Übereinstimmung der Fräsklassenverteilung war sehr zufriedenstellend, bemerkenswert ist die Verschiebung von den mittleren zu guten bzw. schlechten Fräsklassen (Bild 9).

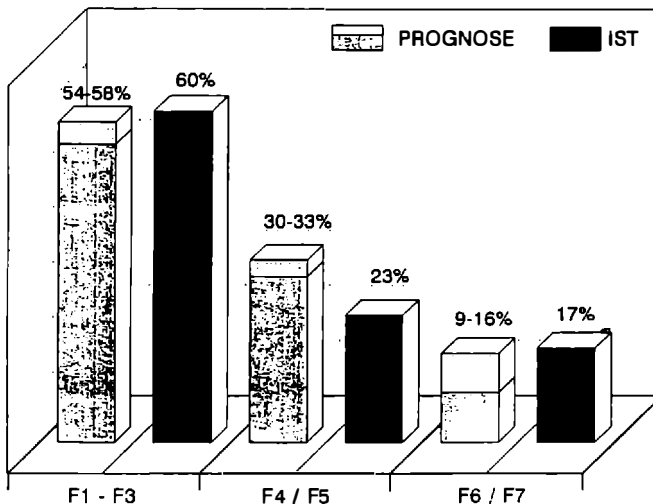


Bild 9: KW Gerlos II, prognostizierte und tatsächliche Fräsklassenverteilung

Seismische Nachuntersuchungen

Eine im fertig ausgebrochenen Druckstollen durchgeführte seismische Nachuntersuchung hatte den Zweck, die Zulässigkeit der Übertragung der seismischen Daten vom alten Stollen auf die neue Trasse zu überprüfen, die Daten mit den geologisch-geotechnischen Verhältnissen zu vergleichen und die Anwendbarkeit der Meßgeometrie für Kleinbereichsuntersuchungen zu erproben.

Da nur begrenzte Mittel und Zeit zur Verfügung standen, wurden zwei Bereiche ausgewählt, die im Vortrieb überraschende oder extreme Verhältnisse beschert hatten und in denen ein aussagekräftiges Meßergebnis zu erwarten war (Bild 10). Der Meßbereich 1 liegt an der Überschiebungslinie des Quarzphyllites über die Tauernschieferhülle. Der Meßbereich 2 wurde in die äußerst schwierig zu bewältigende Schuppenzone der Wandbachstörung gelegt. Die Meßgeometrie der ersten Meßkampagne wurde streng beibehalten.

Die Bilder 11 und 12 zeigen die Gegenüberstellung von geologischen und geotechnischen Bewertungen aus dem Vortrieb mit den seismischen Meßwerten. Die auf die Überlagerungshöhe normierten Primärwellengeschwindigkeiten sind in drei Kurven und einem Band dargestellt:

- * die gemessenen Rohwerte
- * eine Kurve mit gewichteten Mittelwerten aus je 3 Meßwerten
- * eine Ausgleichskurve
- * der großräumige Trend mit starker Glättung

Die Kurven zeigen die unterschiedlichen Interpretationsniveaus der einzelnen Darstellungsformen. Der großräumige Trend spiegelt die Lithologie und - großzügig geglättet - die Verteilung der Fräsklassen wider. Ähnlich die Ausgleichskurve, die jedoch schon Details erkennen läßt. Eine sehr gute Übereinstimmung auch mit kleineren Details ergibt sich aus der Mittelwertkurve; wo hier eine Abweichung zu den Fräsklassen vorhanden ist, findet sich meist eine Aufklärung bei Betrachtung der Rohdaten. Die Auflösung von Details ist natürlich von der Meßanordnung abhängig.

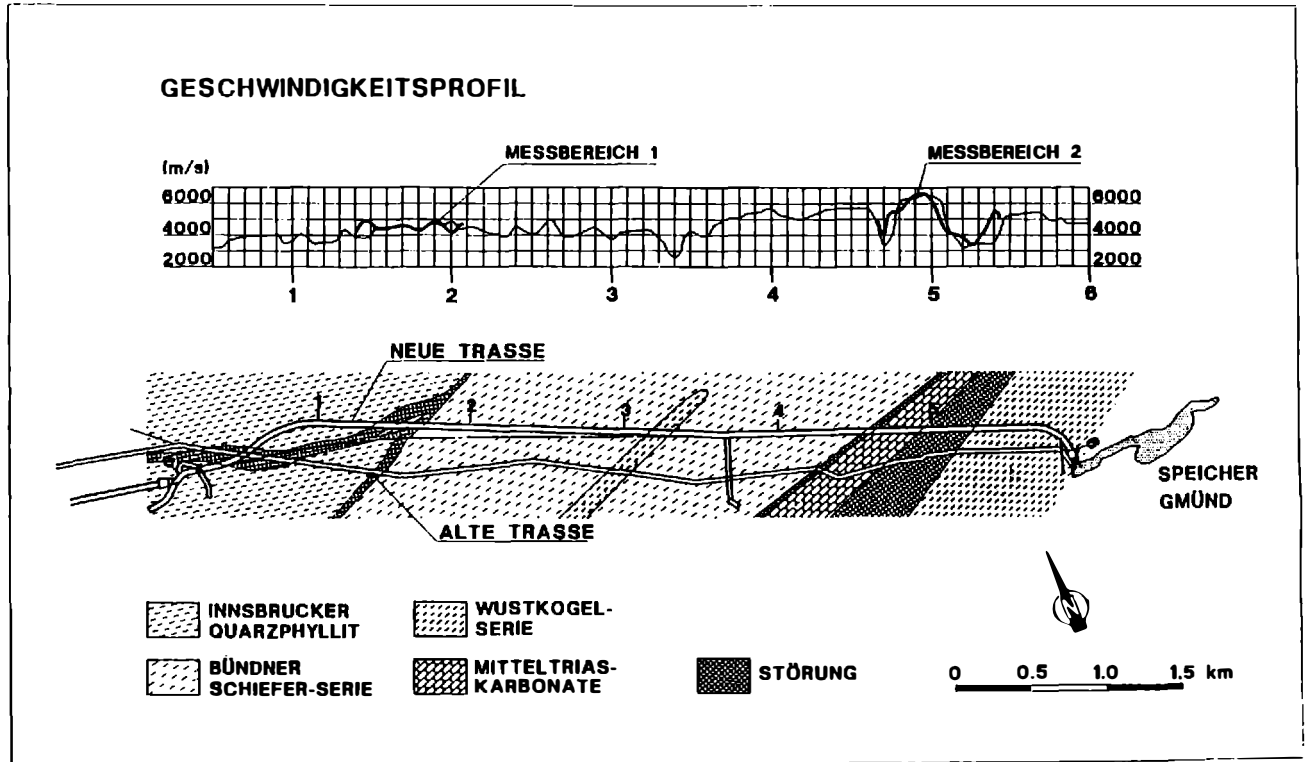


Bild 10: KW Gerlos II, Geologie und Ergebnis der seismischen Nachuntersuchungen

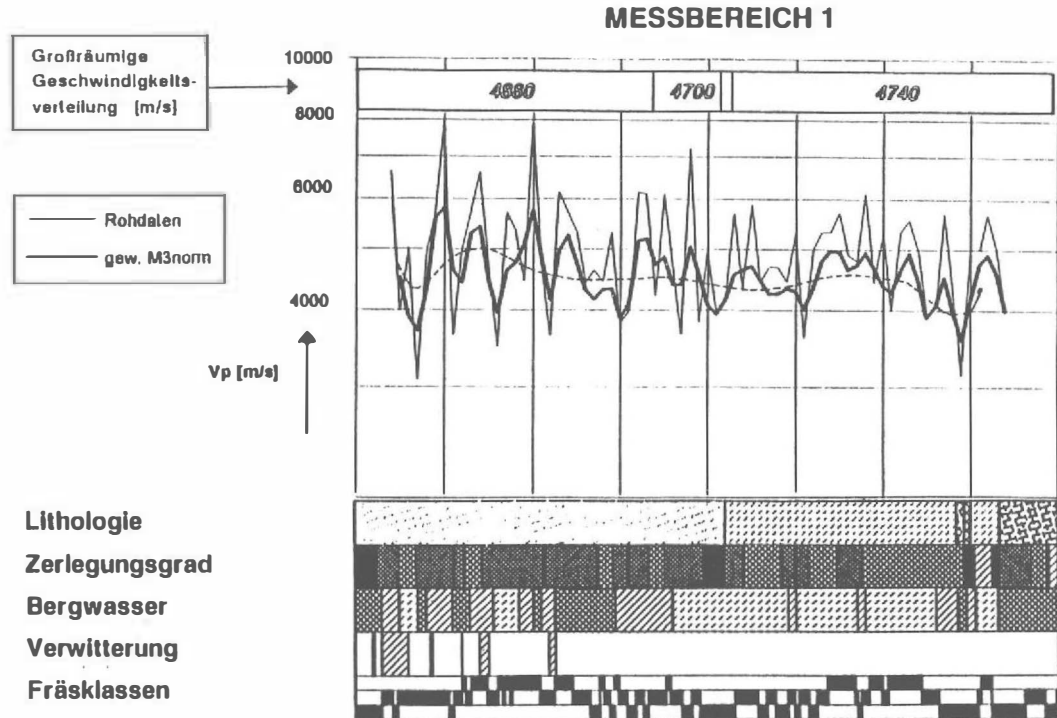


Bild 11: KW Gerlos II, Seismischen Nachuntersuchungen, Analyse des Meßbereiches 1

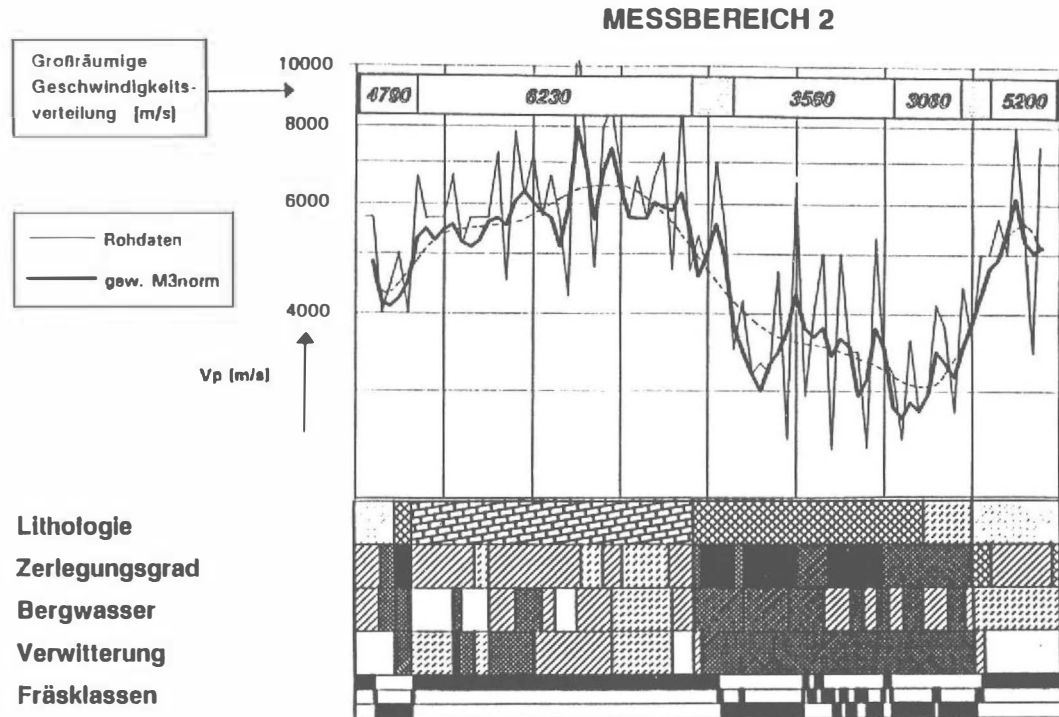


Bild 12: KW Gerlos II, Seismischen Nachuntersuchungen, Analyse des Meßbereiches 2

Die Breite eines Geschwindigkeitsminimums stimmt sehr genau mit der Mächtigkeit der zugehörigen Störung zusammen. Die Übereinstimmung mit den Gebirgsgüteklassen und damit indirekt mit dem Gebirgsverhalten ist sehr gut und noch etwas besser als mit der Bewertung des Zerlegungsgrades.

Sowohl die absolute als auch die relative Tiefe eines Minimums steht in einem direkten Zusammenhang mit der Intensität einer Störung, ist aber zugleich vom Ausgangsniveau des gering zerlegten Gebirges und damit von der Lithologie abhängig: Bei hohem Ausgangsniveau, z. B. in Karbonaten, ist der Abfall zum Minimum stark ausgeprägt, in den schiefrigen Gesteinen fällt das Minimum von einem tieferen Niveau weniger stark ab.

Eine wechselhafte Charakteristik der Gebirgsgüteklassenverteilung ist im unruhigen Verlauf der Geschwindigkeitskurve wiederzuerkennen; der Umkehrschluß ist aber nicht zwingend, wie der ebenfalls unruhige Abschnitt, allerdings auf hohem Geschwindigkeitsniveau, in Karbonatgesteinen gleichmäßiger Gebirgsgüte zeigt.

Der Einfluß von Verwitterung und Hohlraumanteil auf die Wellengeschwindigkeit ist sehr wesentlich und kann eine Störung bzw. schlechte Ausbruchsklassen vortäuschen.

Die schiefrigen Gesteine zeigen eine deutlich unruhigere Geschwindigkeitsverteilung, die mit der Flatterhaftigkeit der Fräsklassenverteilung korrespondiert. Maxima und Minima sind weniger deutlich ausgeprägt. Allerdings bedeutet z. B. im Quarzphyllit ein kleiner Unterschied in der Wellengeschwindigkeit oft eine entscheidende Änderung der Fräsklassen.

Ein relativ hohes Geschwindigkeitsniveau trotz schlechter Gebirgsverhältnisse und ein dachförmiger Anstieg zur Überschiebungsbahn könnte durch eventuell vorhandene tektonische Restspannungen verursacht sein; die eigentliche Überschiebungslinie bildet sich nur als kleines Minimum ab.

Etwas standfestere Abschnitte innerhalb von größeren Störungszonen werden gut aufgelöst; nicht jeder kleine Ausschlag der Kurve muß jedoch seine Bedeutung für die Prognose haben. Die stark geglätteten Kurven müssen in Synopsis mit den Rohdaten betrachtet werden. Allerdings können auch unscheinbare Tendenzen der Kurve bedeutsame Ursachen haben. Hier ist die Intuition des Geologen gefordert.

Schluß

Untersuchungen der hier behandelten Art sind insoferne ein Spezialfall, weil in diesem Fall ein neuer Stollen parallel zum Bestand geführt wird. Derartige Situationen werden aber bei Gesamterneuerungen und Erweiterungen im Kraftwerks- und Verkehrswegebau in Zukunft wahrscheinlich häufiger werden. Das Beispiel Gerlos hat uns aber gezeigt, daß sich der Aufwand für die seismische Untersuchung im Hinblick auf die Treffsicherheit der geologisch-geotechnischen Prognose besonders bei lückenhafter Dokumentation des Altbestandes - lohnt.

Der Vortrieb des Triebwasserstollens Gerlos II dauerte etwa zweieinhalb Jahre, das ist etwa ein Jahr länger als vorgesehen war. Obwohl das Gebirge in diesem Falle oft nicht gnädig war, hat unter speziellen wirtschaftlichen Randbedingungen der Fräsvortrieb nach Überwindung mehrerer schwieriger Abschnitte zum Erfolg geführt. Im Herbst 1991 wurde durchgeschlagen, im März 1993 ist das Kraftwerk Gerlos II in Betrieb gegangen.

Mit Beiträgen von:

Dipl.-Ing. P. Steyrer
Tauernplan Consulting GmbH
A-5020 Salzburg

Mag. J. Dölzlmüller
Geo Salzburg GmbH
A-5020 Salzburg

seit 1994:
Tauernplan Geophysik GmbH
A-5020 Salzburg

Autor: Dipl.-Ing. R. Gerstner
Tauernplan Prüf- und Meßtechnik GmbH
A- 6261 Strass Nr. 103

Geotechnische Probleme beim Bau des Erkundungsstollen Kaponig

A. KNITTEL

Inhaltsverzeichnis

1. GESCHICHTE DER TAUERNBAHN
2. DAS PROJEKT: "MALLNITZ-LINDISCH"
 - 2.1. DAS URSPRÜNGLICHE PROJEKT
 - 2.2. DERZEIT IST EISENBAHNRECHTLICH ZUR ÄNDERUNG EINGEREICHT
 - 2.3. DEPONIE DES TUNNELAUSBRUCHMATERIALS
3. KENNTNISSTAND ÜBER DIE GEBIRGSVERHÄLTNISSE AUS DER GEOLOGISCHEN PROGNOSE ZUM BAUBEGINN
 - 3.1. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK ÜBER DEN PROJEKTSBEREICH
 - 3.2. GEOLOGIE UND TUNNELBAUTECHNISCH RELEVANTES GEBIRGSVERHALTEN ENTLANG DER STOLLENACHSE - PROGNOSE
4. ERSTE REALISIERUNGSPHASE: FENSTER- UND ERKUNDUNGSSTOLLEN
 - 4.1. DER FENSTERSTOLLEN KAPONIG
 - 4.2. DER VERSUCHSSTOLLEN ZUM KAPONIGGRABEN
 - 4.3. DER ERKUNDUNGSSTOLLEN KAPONIG - STEIGENDER VORTRIEB
 - 4.3.1. BAUVERFAHREN, GERÄTEEINSATZ
 - 4.3.2. DIE ERSTEN 1000 M
 - 4.3.3. PROBLEME BEI STATION 1160-1170
 - 4.3.3.1. DER ERSTE GROßE WASSEREINBRUCH ⇒ MAßNAHMEN
 - 4.3.3.2. DER ZWEITE WASSEREINBRUCH MIT VERBRUCH DES STOLLENS
 - 4.3.3.3. DISKUTIERTERTE MÖGLICHKEITEN ZUR AUFARBEITUNG UND DURCHÖRTERUNG
 - 4.3.3.4. DAS AUSGEWÄHLTE MODELL
 - 4.3.3.4.1 HERSTELLEN DER AUFWEITUNG
 - 4.3.3.4.2 ÄUßERE FOLGEN DES WASSEREINBRUCHS
 - 4.3.3.4.3 ROHRSCHEIM - INJEKTIONSSCHEIM
 - 4.3.3.4.4 DURCHÖRTERN DES STÖRBEREICHES
 - 4.3.3.5. MÖGLICHE URSACHEN UND GEWONNENE ERKENNTNISSE
 - 4.3.3.6. DARAUß RESULTIEREND: ZUSÄTZLICHE MAßNAHMEN FÜR DEN WEITEREN VORTRIEB
5. ZUSAMMENFASSUNG

1. GESCHICHTE DER TAUERNBAHN

Die Tauernbahn ist die Eisenbahnlinie von Schwarzach-St.Veit im Salzburger Pongau durch das Gasteiner Tal, dem Tauerntunnel nach Mallnitz und an der sonenseitigen "Mölltal-Leit'n" wieder hinunter nach Spittal/Drau in Kärnten - oder wie der Bahnhof heißt: "Spittal-Millstättersee".

1857 erfolgte die Eröffnung der Bahnverbindung Wien - Triest. Zu dieser Zeit war Österreich noch eine Monarchie unter Kaiser Franz Joseph. Österreich erstreckte sich damals noch bis ans Mittelmeer.

Die westlichen Kronländer Österreichs und das Königreich Bayern waren unzufrieden, daß sie keine Verkehrsverbindung in den Süden ans Meer hatten. Auch militärisch war eine zweite Eisenbahnlinie zur österreichischen Kriegsmarine in Triest erforderlich.

Es dauerte zwar bis zum Juni 1901 bis im Reichsrat Einigung darüber gefunden werden konnte, jedoch nützten die Ingenieure die Zwischenzeit um detaillierte, umfangreiche und sorgfältige Planungen durchzuführen. Für diese Verbindung wurden nicht weniger als 22 Linien untersucht. Für die Tauernbahn lagen 6 Linien vor:

- Radstädter Linie
- Zederhaus-Linie
- Großarl-Linie
- Gasteiner-Linie V1: Möllbrücke
- Gasteiner-Linie V2: Spittal/Drau
- Flattacher-Linie
- Fragner-Linie
- Rauriser-Linie
- Fuscher-Linie
- Felbertauern-Linie

Jede Linie wies mindestens einen langen Tunnel (7-13 km) und mehrere kleinere Tunnel und Brücken auf.

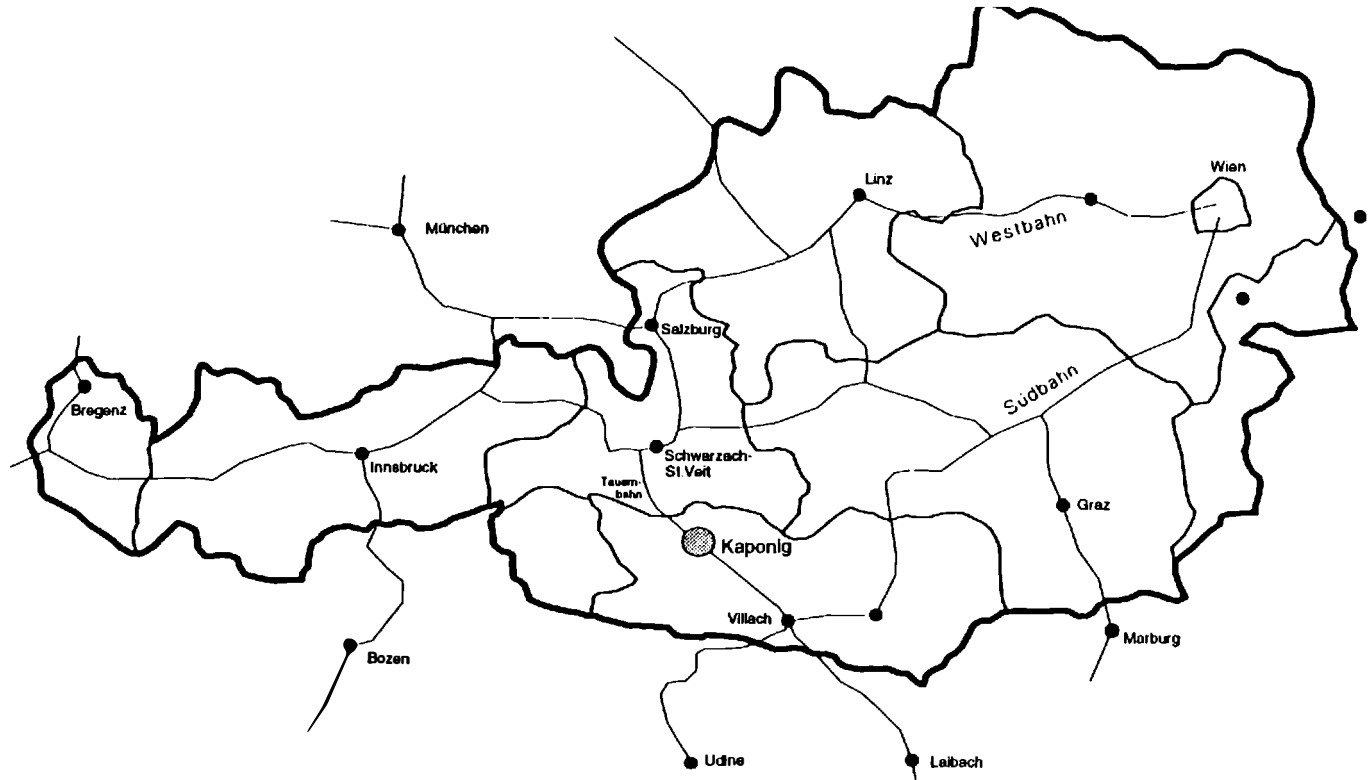


Abb. 1: Lage des Projektes im Streckennetz der Österreichischen Bundesbahnen

Im Reichsgesetzblatt vom 6.6.1901 wurden dann die Linien

- Tauernbahn, als Verbindung Salzachtal und Drautal
- Pyhrnbahn,
- Karawankenbahn,
- Wocheinerbahn und die
- Linie Görz-Triest

festgelegt. Die Tauernbahn soll von Spittal/Drau nach Schwarzach/St.Veit über Gastein führen. Dabei wurde die Variante 2, mit hohem Bahnhof in Obervellach, jedoch ohne künstlicher Linienführung an der Südrampe bestimmt. Die Bahn war als "Hauptbahn ersten Ranges" zu errichten und zu betreiben.

Zu dieser Zeit herrschte seitens der Bevölkerung ein besonderes Interesse, eine Eisenbahnlinie im eigenen Tal und durch den eigenen Ort zu haben. Heute sind diese Interessen etwas anders gelagert.

Diesem Gesetz ging also ein über "30jähriger Krieg" um Trassen voraus, mit umgekehrten Vorzeichen zu heute und meist auch mit starken militärischen Argumenten.

In diesem vorzitiertem Gesetz wurden auch Fertigstellungstermine festgelegt. So sollte der Betrieb Ende 1908 zwischen Schwarzach und Spittal aufgenommen werden. Für ein 80 km langes Projekt dieser Schwierigkeitsklasse eine mutige Vorgabe. (insgesamt 14.7 km Tunnel)

Die Baulose der Strecke Schwarzach - Badgastein wurden im Dezember 1902 nach öffentlicher Ausschreibung vergeben, Baulose von Badgastein bis Kaponig erst im Dezember 1905 und bis Spittal im Juni 1906. Das lag an der Finanzierung: Der Reichsrat konnte die erforderlichen Geldmittel nur in 2 Raten bewilligen.

Trotzdem begannen die Aufschließungen für den Tauerntunnel bereits im Juli 1901 in Eigenregie. 1906 wurde mit dem eigentlichen Tunnelbau durch eine Baufirma begonnen; erst ab diesem Zeitpunkt wurden maschinell Bohrungen angewandt. Der Tunnel wurde nach der "Österreichischen Bauweise", also mit First- und Sohlstollen und Ausmauerung aufgeföhren. (Bauzeit etwa 4 Jahre!)

Die Eröffnung erfolgte am 5.7.1909, also rund ein halbes Jahr nach dem ursprünglich geplanten Termin. Zur Erinnerung, der 10,25 km lange Arlbergtunnel wurde 25 Jahre vorher 1880/84 gebaut.

1933 erfolgte die Elektrifizierung. Die Tauernbahn war damit die erste elektrische Alpenbahn. Dazu wurde zuvor in Obervellach ein bahneigenes Wasserkraftwerk errichtet, das das Wasser des Dösenbachs und des Mallnitzbachs abarbeitet. Ein ca. 2,5 km langer Freispiegelstollen mußte dazu errichtet werden.

Im Juni 1940 begann der Ausbau der Bahnhöfe mit der Verlängerung der Gleise zum Überholen und Kreuzen langer Güterzüge. Dies geschah bereits aus strategischen Überlegungen in Vorbereitung für den Balkaneinsatz der Deutschen Wehrmacht 1941.

Seit 1969 wird die Südrampe der Tauernbahn zweigleisig ausgebaut. Im Dezember 1971 wird die 200m lange Pfaffenberg-Zwenberg-Brücke eröffnet. Im Juli 1974 folgt die Doppelbogenbrücke Falkenstein mit Längen von 120 und 150m; 1978 wird die 154m lange Lindischgrabenbrücke eröffnet.

Seit 1980 sind nur mehr kleinere Vorhaben im Süden ausgeführt worden. Das lag nicht an den Plänen, sondern eher am Geld.

Seit 1990 läuft jedoch der Ausbau im Norden und Süden wieder auf vollen Touren: zahlreiche Wand- und Futtermauern, Hangsicherungen und kleinere Brücken wurden errichtet, um Streckenabschnitte zweigleisig auszubauen.

Derzeit ist der etwa 2 km lange Abschnitt Angertal-Krallbach (vor Badgastein) mit 2 Bogenbrücken und zahlreichen Mauern in Bau und im Süden das wohl größte Projekt: der Abschnitt "Mallnitz-Lindisch".

Der Ausbau ist erforderlich, da derzeit schon durchschnittlich 115 Züge pro Tag auf dieser Strecke verkehren. Wenn in unseren südlichen Nachbarländern endlich wieder Ruhe einkehren kann, wird sich auf der Tauernachse der Verkehr noch erhöhen. Die Tauernbahn verfügt zwar seit langem über moderne Sicherungs-, Zugfunk und leiteinrichtungen, doch diese ersetzen keine Zweigleisigkeit: ein Fahrleitungsriß nach starken Schneefällen, ein Schienenbruch oder eine Zugentgleisung legen den gesamten Verkehr lahm. Nicht zu vergessen sind auch die Waldbrände, die durch den Bahnbetrieb auch heute noch ausgelöst werden können.

Im Jahr 1981 vernichtete ein Brand 7 ha Wald oberhalb der Haltestelle Kaponig. Ausgelöst wurde er durch einen glühenden Bremsklotzteil, den ein Güterzug verlor.

2. Das Projekt: "Mallnitz-Lindisch"

Anfang der 80er Jahre war die logische Fortsetzung des 2gl. Ausbaues die Errichtung der vierten und größten Bogenbrücke zur Überbrückung des Kaponiggrabens.

Mit der Erhebung der Tauernbahn zur Hochleistungsstrecke im Jahre 1988 gelten jedoch für diesen Abschnitt die Trassierungsparameter für Neubaumaßnahmen, die bei der Brückenlösung nur mehr schwer eingehalten werden konnten. Ein bereits seit einigen Jahren in den Köpfen einiger Eisenbahningenieure gereiftes Tunnelprojekt erhielt somit plötzlich hohe Aktualität.

2.1. Das ursprüngliche Projekt....

Wir begannen 1992 zu bauen, mit dem Ziel, einen 3,8 km langen Tunnel vom Kaponiggraben bis zum Waldmanngraben zu errichten. Zur Überbrückung des tief eingeschnittenen Kaponigbaches ist eine 100 m lange Bogenbrücke vorgesehen. Nach Süden anschließend folgt sofort der 700 m lange Ochenigtunnel.

Der gesamte Streckenabschnitt ist erst benützbar, wenn alle Bauwerke fertig sind.

Die Linienführung resultiert daraus, daß bereits die bestehende Trasse fast durchwegs mit maximaler Längsneigung fährt und auch die neue Strecke nicht steiler werden kann. Lediglich die Steigungsermäßigung im derzeitigen Bf Kaponig kann zu einer Streckenlängenreduktion führen.

2.2. Derzeit ist eisenbahnrechtlich zur Änderung eingereicht....

Die Idee, den Kaponigtunnel gleich bis nach Mallnitz zu führen, gibt es schon seit der Planungsphase der eben vorher beschriebenen Lösung. Jedoch durch- oder unterquert eine neue Strecke bis Mallnitz jedenfalls den Dösengraben und hier waren die Untersuchungen nicht so weit fortgeschritten und auch die Gesamtbaukosten für dieses Projekt sprengten den Rahmen der Vorstellungskraft.

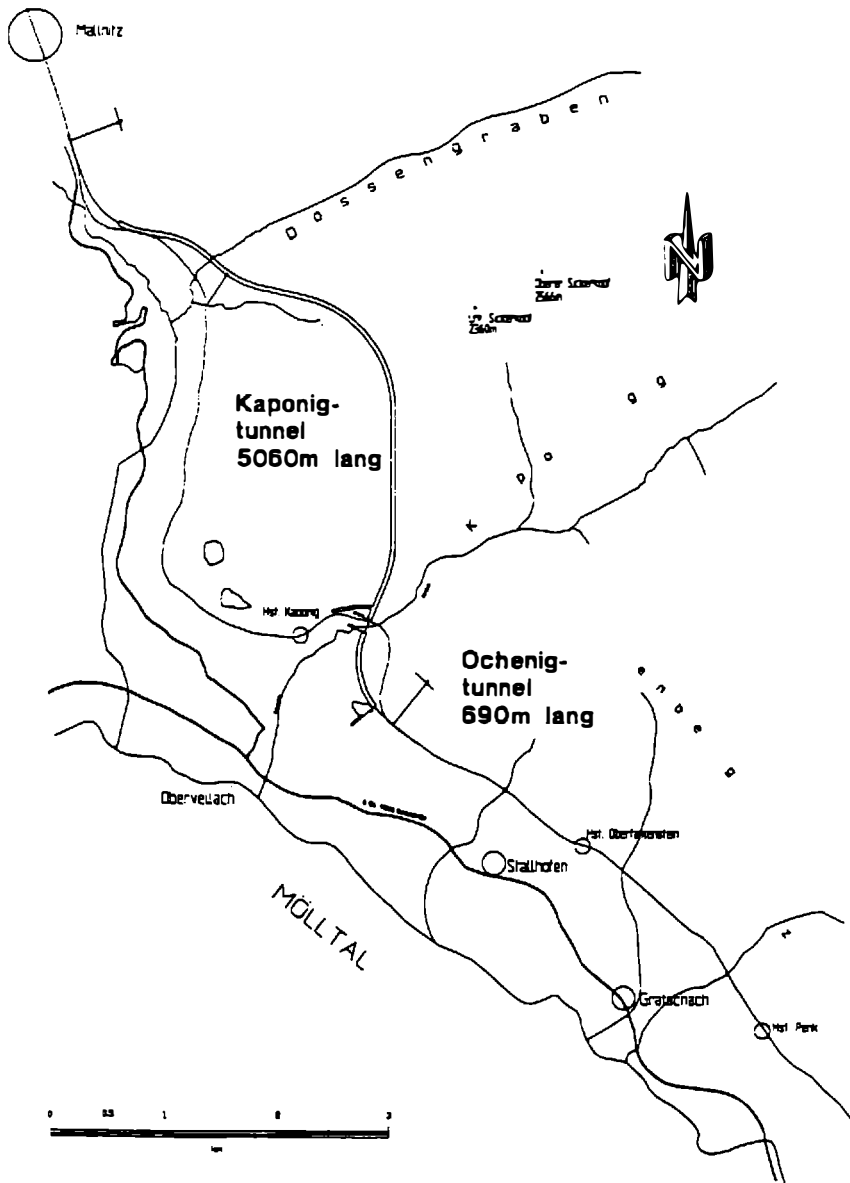


Abb. 2: Lageplan mit Bestand und neuer Linienführung

Bei der ursprünglichen Lösung verblieb unmittelbar nach dem Wiedererreichen der alten Trasse nach Mallnitz der etwa 800 m lange, eingleisige Dösentunnel. Bei einem späteren Ausbau müßte in unmittelbarer Nachbarschaft des alten, mit Werksteinen ausgemauerten Tunnels ein neuer vorgetrieben werden. Die Sprengerschütterungen hätten sicher Auswirkungen. Zudem bleibt ein eingleisiger Tunnel immer ein Erhaltungsproblem.

Darum entschied man sich, während wir in Kaponig am Erkundungsstollen vortrieben, den Bereich Dösentalunter- oder -überquerung genauer zu untersuchen.

Herr Prof. Riedmüller mit seinem Mitarbeiter Herrn Mag. Arnold Steidl und Mitarbeiter des Instituts für Hydrogeologie und Geothermie von JoanneumResearch in Graz kamen bis zum Spätsommer 1993 zum Schluß, daß eine Linienführung mit Unterquerung des Dösenbaches möglich ist. Von dieser neuen Lösung ist auch die Bahnhofsausfahrt in Mallnitz betroffen. Für einen weiteren Zwischenangriff ist ein 300 m langer Fensterstollen vom Waldmanngraben aus geplant.

Anfang November wurde ein Änderungsprojekt zur eisenbahnrechtlichen Genehmigung beim Verkehrsministerium eingereicht.

2.3. Deponie des Tunnelausbruchmaterials

Das gesamte Tunnelausbruchmaterial von dem nunmehr hoffentlich 5 km langen Loch wird voraussichtlich an drei verschiedenen Orten abgelagert. Ausbruch, der vom Süden also Kaponig kommt, wird oberhalb der Baustelle an 2 Anschüttungsflächen eingebaut. Hier ist für mehr als 400.000 m³ Raum vorhanden. Diese Lösung hat den Vorteil, daß das Ausbruchmaterial nicht über öffentliche Straßen und Wege weit ins Tal befördert werden muß. Die beiden Deponieräume sind natürliche Verflachungs- bzw. Verebnungsflächen, auf denen der Deponiekörper eingebaut, verdichtet und aufgeforstet wird.

Für die Massen aus dem weiteren geplanten Zwischenangriff im Waldmanngraben plant man eine Deponie in der großen Bundesstraßenkehre.

3. Kenntnisstand über die Gebirgsverhältnisse aus der geologischen Prognose zum Baubeginn

3.1. Geologischer Überblick über den Projektbereich

Dieser Bauabschnitt liegt im Bereich der oberen Schieferhülle, die hier in einem "zwiebelschalenförmigen" (geschichteten) Bau über dem kristallinen Sonnblickern liegt.

Die Schieferhülle setzt sich hier aus Karbonatgesteinen, Glimmerschiefern, Quarziten und Grüngesteinen zusammen. Das generelle Einfallen zeigt nach SW und ist im äußeren Bereich der "Zwiebelschale" steil, innen mittelsteil. Das gesamte Gebiet zeichnet sich durch z.Teil intensive Verfaltung aus.

3.2. Geologie und tunnelbautechnisch relevantes Gebirgsverhalten entlang der Stollenachse - Prognose

Die geologische Erkundung wurde von einem Zivilingenieurbüro aus Paternion durchgeführt. In einem ausführlichen Bohrprogramm wurden 8 Rotationskernbohrungen mit insgesamt 1375 lfm allein für den Kaponigtunnel niedergebracht. Seismische Untersuchungen sollten Aufschlüsse in den Portalbereichen liefern.

In dieser Phase erkannte man, daß nicht zuletzt durch die große Überlagerungshöhe (bis 900 m) die geologischen und hydrogeologischen Prognose-Unsicherheiten groß bleiben werden; nur ein Aufschluß in einem Erkundungsstollen kann diese für den Vollausbruch verringern.

Das baugeologisch-geotechnische Gutachten beschreibt den gesamten Abschnitt in mehreren Homogenbereichen. Es behandelt das zu erwartende Gebirgsverhalten, die erwartete Petrographie und die Wasserverhältnisse. Es führt auch zu jedem Abschnitt eine Prognose mit einer prozentuellen Gebirgsklassenverteilung in Anlehnung an die Kriterien der "alten" ÖNORM B2203, an. Der Tunnelbauingenieur kann beim Lesen dieses ausführlichen Abschnittes und des dazugehörigen Prognose-Längenschnittes leicht den Eindruck gewinnen: "dem Geologen ist schon ziemlich klar, was mich hier erwarten wird"

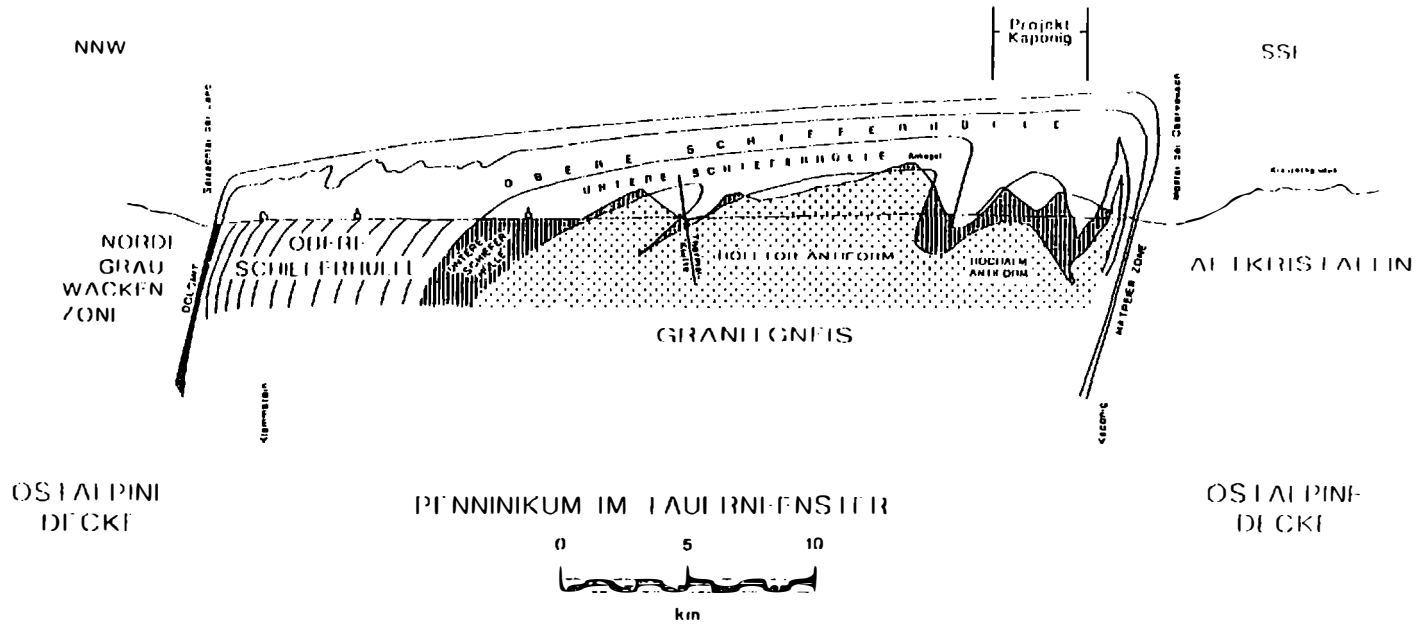


Abb. 3: Geologisches Profil durch den Tauernhauptkamm zwischen Gasteiner Klamm und Obervellach (nach SENFTL und EXNER 1973)

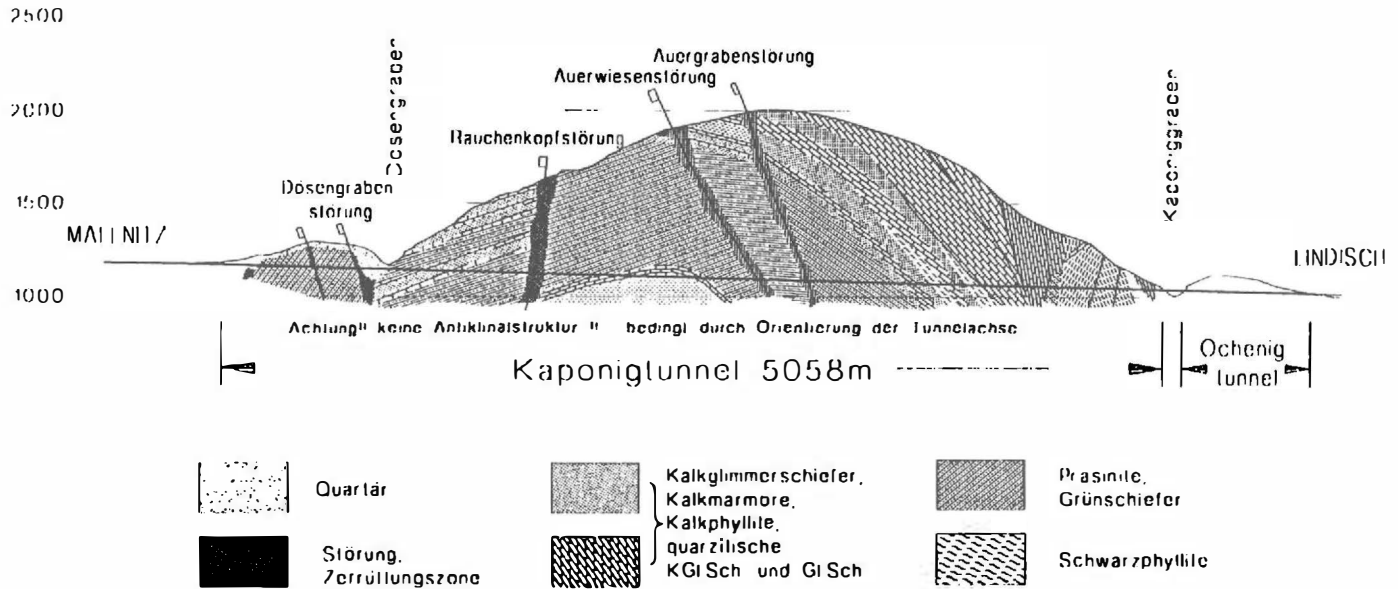


Abb. 4: Geologischer Prognoselängenschnitt - vereinfacht (nach MÜLLER 1990 und RIEDMÜLLER 1993)

Für den ersten Bereich des Erkundungsstollens soll die Abfolge der "Zwiebelschale" zuerst fast rechtwinkelig durchörtert werden; später, bedingt durch den Bogen, werden die Schieferungspakete immer schleifender angefahren.

Für den ersten, etwa 600 m langen Abschnitt mit quarzitischen Kalkglimmerschiefern und Glimmerschiefern wurden überwiegend Vortriebsverhältnisse in den GKL 4 und 5 erwartet.

Auf den folgenden 300 m sollten Kalkglimmerschiefer und Kalkphyllite überwiegen und das Gebirgsverhalten für den Vortrieb günstiger sein. Etwa je ein Drittel des Abschnittes wird auf GKL 3,4 und 5 eingeschätzt.

Der nächste Abschnitt aus Phyllit und Kalkphyllit von etwa 900-1200 m, den wir eben erst verlassen haben, sollte überwiegend in GKL 5 und zum geringeren Teil in Klasse 4 aufzufahren sein.

Die anschließend prognostizierten tunnelbautechnisch "angenehmeren" Grünschiefer und Prasinite haben wir auch tatsächlich wenige Tagen vor Weihnachten erreicht. Diese Grüngesteine stellen hier trockenes, sehr zähes Gebirge dar.

Für den weiteren Abschnitt verliert diese "alte Prognose" zunehmend ihre Gültigkeit, weil die Trasse einer geänderten Linie folgt. Über die dort erwarteten Verhältnisse wird etwas später berichtet.

4. Erste Realisierungsphase: Fenster- und Erkundungsstollen

Ein Salzburger Ingenieurbüro wurde beauftragt, Tunnelprojekte für die Strecke Lindisch - Dössen auszuarbeiten.

Im Frühjahr 1990 wurden die Arbeiten für den Fenster- und Erkundungsstollen öffentlich ausgeschrieben. Nach langen Vertragsverhandlungen konnte im Mai 1992 mit den Arbeiten begonnen werden.

Die bauausführende ARbeitsGEmeinschaft setzt sich aus folgenden 7 Firmen zusammen: Porr Technobau und Mayreder, Ilbau und die Firmen Ast, Kallinger, Neue Reformbau und Stettin.

Die Österreichischen Bundesbahnen sind der Bauherr. Auf der Baustelle sind sie vertreten durch die örtliche Bauaufsicht, die Losbauführung und in diesem Fall noch durch die Bauleitung Süd. Die Eisenbahn hat zur Unterstützung ihrer Arbeit an der Baustelle einen Geologen und einen Tunnelbauingenieur vom Zivilingenieurbüro Geoconsult beschäftigt. Prof. Riedmüller arbeitet als Berater mit. Sein Assistent, Mag. Steidl ist der zweite Geologe auf der Baustelle. Die geologische Dokumentation hat gerade bei einem Erkundungsstollen einen hohen Stellenwert.

4.1. Der Fensterstollen Kaponig

Der Fensterstollen bringt uns erst einmal auf die Achse des eigentlichen Tunnels. Das Endportal im Kaponiggraben ist für Baumaschinen unerreichbar, zudem fährt knapp 8 m davor die bestehende Tauernbahn vorbei.

Der Fensterstollen beginnt unmittelbar neben dem Anfangsportal des bestehenden "Oberen Kaponigtunnels" und erreicht nach 380 m den Kreuzungspunkt mit der neuen Streckenachse.

Die Profilform - ich bezeichne sie mit "etwas eigenwillig" wurde vom Planer so gewählt, daß sich beim späteren Schutterverkehr für den Vollausbuch zwei LKWs begegnen können und daß eventuell Tunnel- oder Brückenschalungselemente durchtransportiert werden können.

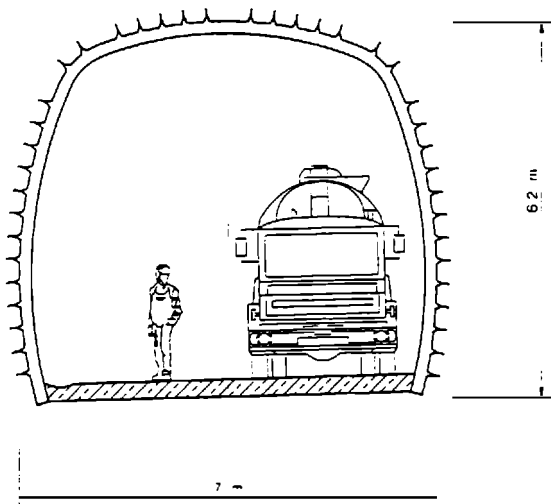


Abb. 5: Regelquerschnitt Fensterstollen

Tatsache ist, daß das linke obere Eck, bedingt durch das Gefüge, zu größeren Nachbrüchen neigte. Das Streichen der Schieferungsflächen verläuft spitzwinkelig zum Vortrieb, später ganz in der Stollenachsrichtung. Das Einfallen der Schieferungsflächen war zuerst mittelsteil in die Ortsbrust hinein, später steil bis senkrecht genau entgegengesetzt der Prognose. Die sf-Flächen sind im Fensterstollen die mechanisch dominanten Elemente. Der völlig verwitterte, größtenteils im sf limonitisierte Glimmerschiefer hatte dazu noch geringe bis gar keine Biegezugfestigkeit bei Beanspruchung quer zur Schieferung. So kam es, daß diese Schieferungspakete die Spannungskonzentration im "Eck" nicht aufnehmen konnten. Unmittelbar nach einem Abschlag konnte man mehrere Minuten lang zuschauen, wie die Pakete langsam regelrecht durchbrachen; vergleichbar mit einem überbeanspruchten Bretterstapel.

Über die ersten 200 m mußte daher stets im Schutze von vorauseilenden Stahlspießern vorgetrieben werden. Ein 150 m langer Abschnitt von Station 200 bis zum Beginn des Übergangsbauwerks zum Kreuzungspunkt erlaubte einen Vortrieb ohne Spieße und ohne Stahlbögen. Das Gebirge war hier geringer verwittert und der Quarzanteil höher. Die Stützung erfolgte mit bewehrtem Spritzbeton und einer Systemankerung aus 4 m langen, vermörtelten SN-Ankern.

Das auftretende Bergwasser steht in engem Zusammenhang mit den Niederschlägen. Im Vortriebsbereich waren es immer weniger als 5 l/s. Aus heutiger Sicht "vernachlässigbar".

Das Hauptproblem, das die Vortriebsleistung beschränkte, war die geringe Standzeit der Bohrlöcher. Beinahe kein Sprengloch und kein Ankerloch fiel nicht zu. So war es oft erforderlich, teilweise geladene Brustbohrlöcher, die zugewallen waren, vorsichtig auszukratzen. Ebenso war das Versetzen der Anker oft mühsame und zeitraubende Arbeit.

Oft wurden wir mit der Frage konfrontiert, ob diese Erschwernisse vorauszusehen waren: Die geologische Prognose versprach zwar eine 30 m mächtige Augengneislamelle, die uns jedoch nie erblickte, wies aber sonst auf die "stark beanspruchten, stark zerklüfteten und tiefreichend verwitterten Kalkglimmerschiefer und Schwarzphyllite" hin.

Durch die Nähe zum alten Kaponigtunnel und dem Laskitzer Viadukt, der Brücke vor dem Tunnel, mußten die Sprengerschütterungen gemessen werden und ggf. das Sprengschema angepaßt werden. Durch die Sprengungen erreichten wir meist nur die Hälfte bis knapp zwei Drittel der zugelassenen Schwinggeschwindigkeiten. Bemerkenswert war, daß die Erschütterungen durch einen Güterzug am Widerlager der Brücke die angegebenen Grenzwerte häufig erreichten, gelegentlich auch überschritten.

Um ein paar Worte zur Bauvertragssituation zu verlieren, kurz folgende Erklärung: Ausgeschrieben war der Fenster-, Versuchs- und Erkundungsstollen, klassifiziert nach "alter" ÖNORM B2203 in m³-Ausbruch und eingebauten Stützmittel, zusätzlich Wassererschwernisse in Stufen von 5 - 150 l/s im Vortriebsbereich. Die Abgeltung der zeitgebundenen Baustellenkosten ist an die Vortriebsleistung gebunden. Dazu mußte der Bieter im Angebot für jede Klasse bestimmte Leistungen garantieren.

Im Zuge der Auftragsverhandlungen entstanden für den Fenster- und Erkundungsstollen "lfm-Preise für Ausbruch und Stützung"; die Wassererschwernisse wurde pauschal für das gesamte Bauwerk bis 150 l/s für einen verhandelten Betrag in der Bauregie von der Arbeitsgemeinschaft übernommen. Diese Lösung erleichtert den täglichen Betrieb auf der Baustelle und bei der Abrechnung.

4.2. Der Versuchsstollen zum Kaponiggraben

Geometrisch ist das Kreuzungsbauwerk die Verschneidung zweier liegender Halbzylinder mit einem Durchmesser von 12 m. Die Achsen der Zylinder schneiden sich stumpf unter etwa 70°.

In der Praxis hatten wir das Glück, daß sich das Gebirge genau vor Beginn des Kreuzungsbauwerkes etwas "gutmütiger" zeigte - der anstehende Glimmerquarzit war weniger verwittert. Bis dorthin trieben wir im Schutze von vorauseilenden Spießsen und mit einem Ausbau aus Stahlbögen und 25 cm zweilagig bewehrtem Spritzbeton vor. Mit viel Mut - auf beiden Seiten: Polier und Aufsicht - versuchten wir, die aufwendige Arbeit von Stahlbogenab- und anschweißerei zu vermeiden und ohne deren Stützwirkung und Sicherheit auszukommen.

Zuvor gab es in der Bauhütte ausführliche "Wenn-und-Aber"-Spiele anhand eines Pappendeckelmodells, bei denen möglichst alle vielleicht auftretenden Erscheinungen besprochen und für alle Fälle Maßnahmen ausgedacht wurden.

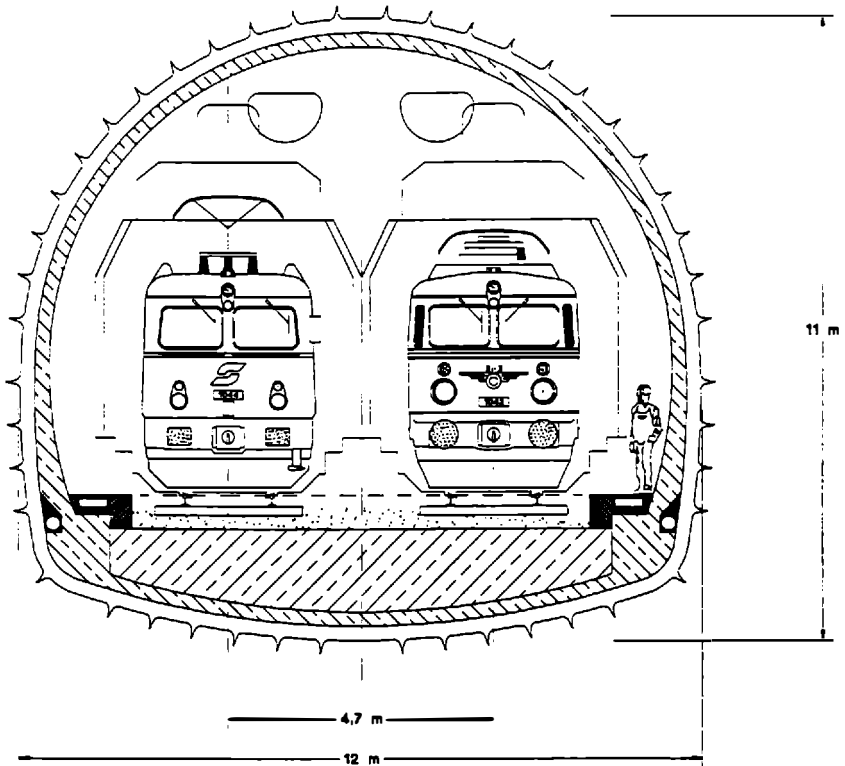


Abb. 6: Regelquerschnitt des Eisenbahntunnels. Im Versuchsstollen wurde nur die Kalotte davon ausgebrochen; im Portalbereich bereits der Vollquerschnitt

Innerhalb von 2 Tagen konnte ohne "Wenn-und-Aber" die eine Hälfte aufgefahren und gesichert werden. Die zweite Hälfte war nur mehr "Formsache".

Der Vortrieb Richtung Endportal erfolgte in der Kalottenform des zukünftigen Eisenbahntunnels. Der verwitterte Glimmerschiefer konnte über weite Strecken mit dem Tunnelbagger gelöst werden. 30 m vor dem Durchschlag fand sich ein abrupter Übergang zu Feinsanden und Kieslagen. Die ersten Meter waren stellenweise zu Konglomerat verkittet. In den weiter äußeren Bereichen dieser Eisrandterrasse fanden sich m³-große, gerundete Findlinge. Der Vortrieb konnte nur im Schutze von vor-gepfändeten Stahlblechen erfolgen. Mit den 6 m langen Injektionsbohrankern wurde der umgebende Sandhaufen beinahe zu Magerbeton verbessert. Die durchgeführten Konvergenzmessungen und Nivellements lassen dies zumindest vermuten.

Der Durchschlag erfolgte am 23. November 1992 völlig von innen heraus. Zum Schutz der bestehenden Bahntrasse wurde lediglich eine 5 m hohe Holzschutzwand vorher aufgestellt. Diese Arbeiten waren mühsam und gefährlich.

Durch das Verlängern der Spritzbetonröhre mit "Luftbögen" konnte die Hangsicherung sehr gering gehalten werden.

Die letzten 30 m wurden anschließend noch zum Vollquerschnitt mit Sohlgewölbe aufgeweitet. Dabei wurde der Spritzbetonschale kurzzeitig das Bogenauflager weggenommen. Die Strossenabschlagslänge im Feinsand wurde daher auf 1-2 m begrenzt. Ein sofortiger Sohlschluß war gefordert.

4.3. Der Erkundungsstollen Kaponig - steigender Vortrieb

4.3.1. Bauverfahren, Geräteeinsatz

Das Bauverfahren für die Herstellung des Erkundungsstollens war in der Ausschreibung vorgegeben. Angebote mit maschinellem Vortrieb wurden nicht berücksichtigt. Aufgrund der abwechslungsreichen, überwiegend schlechten und zu unsicher vorhersagbaren geologischen Verhältnisse mußte ein konventioneller Vortrieb in einem ca. 12m²-Profil angeboten werden.

Die bauausführende ARGE legte ihren Kalkulationen einen Gleisbetrieb zugrunde. Dabei wird zum Bohren der Spreng- und Ankerlöcher ein kleiner, gummiradverfahrbarer Bohrjumbo mit zwei Hydrauliklafetten eingesetzt.

Zum Laden des Ausbruchmaterials ist eine elektrisch betriebene Beladebandkombination (Typ Schaeff Bagger ITC 112) im Einsatz. Das Material wird mit Zügen aus Einzelkippern abtransportiert. Die Züge werden von dieselbetriebenen Loks bewegt.

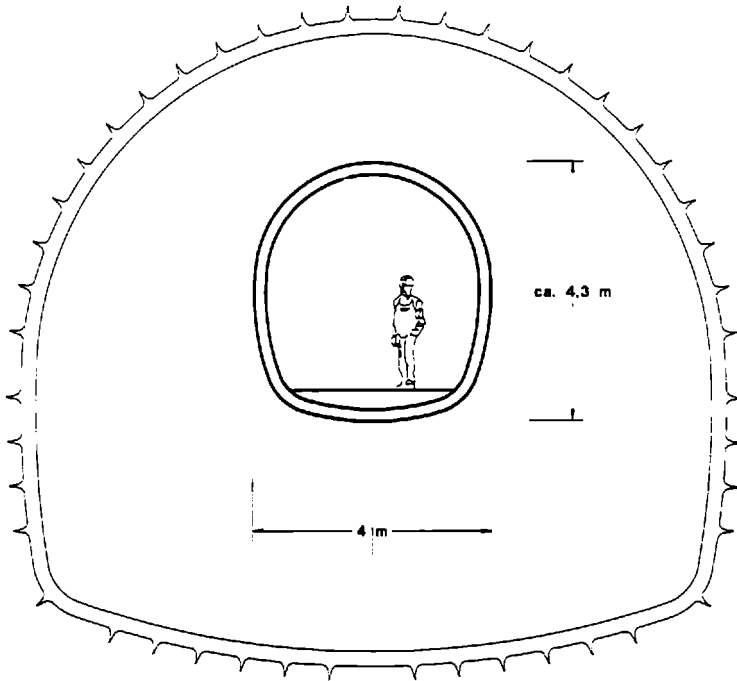


Abb. 7: Regelquerschnitt des Erkundungsstollen: ca. 12m² Ausbruchfläche

4.3.2. Die ersten 1000 m

Auf den ersten 1000 m Vortrieb stellte sich das Gebirge wesentlich besser dar als es prognostiziert war. Über weite Strecken steht es heute noch ungesichert an. Die vorhin beschriebene günstige Gefügestellung beinahe rechtwinkeliges Durchörteren der Schieferungsflächen ließ so manche wenige Dezimeter breite Störung und Mylonitzone, die hier noch ausschließlich im sf lagen, fast unbemerkt vorübergehen. Mit zunehmender Länge nahm auch der Wasserandrang zu.

Es gab Stellen, wo ca. 50 l/s aus der Ortsbrust schossen. Dies behinderte besonders das Laden und machte die Arbeitsbedingungen für die Arbeiter auch nicht gerade angenehm.

Im ersten Abschnitt konnten wir einen Quarzgehalt in den Quarziten bis zu 80% feststellen. Dieser Wert spiegelt sich auch im Bohrkronenverbrauch wider. Von Station etwa 600 bis 800 nahm der Quarzgehalt merklich ab und der Kalkanteil zu.

4.3.3. Probleme bei Station 1160-1170

Seit mehreren hundert Stollenmetern tropfte und spritzte Wasser aus jeder Kluft und jedem Ankerloch. Nun kamen zu den flächigen Zutritten zunehmend große Einzelaustritte nach dünnen Mylonitzonen, die jedoch relativ rasch - das sind 1 bis 2 Tage sehr stark nachließen. Wenn eine Spritzbetonsicherung erforderlich war, konnte sie erst nach dem Aufbringen von Flächendrainagen oder dem Anbringen von Abschlachungen erfolgreich wirken.

Das Auftreten von Harnischflächen und Störungen, in denen der Fels oft bis wenige Meter breit zu Mylonit zerrieben war, häufte sich. Die Gebirgsüberlagerung war inzwischen auf mehr als 600 m angewachsen. Die Druckerscheinungen in diesen Zonen erforderten mitunter einen Ausbau mit Sohlschluß, um die Kräfte abzuleiten. Auch diese Arbeit wurde durch den Wasserandrang erschwert. Das Wasser mußte für den Sohleinbau überpumpt werden.

Bei Stollenstation 1164, bis zu der wir die letzten 5 m ohne Erfolg versuchten ein Sohlgewölbe einzubauen, ereignete sich innerhalb von etwa einer halben Stunde eine mit freiem Auge leicht erkennbare Sohlhebung, bei der auch die Spritzbetonsicherung an den Ulmen stark deformiert und zerbrochen wurde. Unmittelbar vor der Ortsbrust entstand eine sprudelnde Sohlquelle, die in der Größenordnung von 30 l/s schüttete. Zur Entspannung der Situation wurden Vorausbohrungen mit dem Bohrwagen seitlich in die Ulmen gesetzt. An den rechtsseitigen Bohrungen, die etwa 10 m voraus reichten, trafen wir Wasser an, das unter hohem Druck stand. Der Absolutwert konnte nicht bestimmt werden, jedoch spritzte der volle Strahl aus einer 85 mm Bohrung immerhin 2 m weit. Nach wenigen Stunden nahm Menge und Spritzweite ab. Der Grund dafür konnte in der Abnahme des Drucks, also in der entspannenden Wirkung der Bohrungen oder im Verklausen der Löcher liegen.

Der Versuch, einige Löcher wieder aufzubohren, brachte nicht wieder so weit spritzendes Wasser, wodurch die Theorie der Druckabnahme heute gesehen: fälschlicherweise - unterstützt wurde.

In mühsamer Arbeit wurde dieser Abschnitt neuerlich aufgefahren und neue Bögen und Sohlriegel eingebaut. Die begleitenden Verformungsmessungen zeigten eine stabilisierte Situation. Beim Räumen der Sohle erkannte man einenhebungsweg von 30 - 50 cm. Der Fels war fast gänzlich im Gefügeverband einfach um einige Dezimeter hereingedrückt worden. Erst später erhärtete sich die Theorie, daß diese Erscheinung durch den hohen Wasserdruck ausgelöst worden sein könnte.

Intensive Vorausbohrungen nach allen Richtungen brachten viel Wasser, teils milchig weiß gefärbt, teils unter mäßigem Druck stehend. Die Gesamtwassermenge am Tunnelportal gemessen stieg mittlerweile auf über 200 l/s an. Die "Spritzweiten" des Wassers aus den Bohrlöchern nahmen jedoch nach wenigen Stunden deutlich ab und obige Theorie beruhigte unsere Gemüter.

4.3.3.1. Der erste große Wassereinbruch ⇒ Maßnahmen

Nach weiteren 5 m Vortrieb wußten wir genauer, woher die "Milch" kam. Im rechten unteren Eck der Ortsbrust also an der Sohle wurde eine etwa 1 m mächtige Mylonitschicht angeschnitten. Wie wir später bestimmen konnten, wies der Mineralbestand in der Schluff-Ton-Fraktion der Probe mehr als 90% Talk auf. Diese Schicht dichtete eine Zerrüttungszone ab, die mit Wasser gefüllt war. Der Bergwasserspiegel muß hoch über unserem Vortrieb gelegen haben, da der Druck sehr hoch war. "Gefüllt war", muß man heute sagen, da wir wahrscheinlich einen beträchtlichen Anteil bis heute drainagiert haben.

In kurzer Zeit verbrach der rechte Teil der Ortsbrust und immer mehr Wasser stürzte und schoß in den Stollen, begleitet von Felsbrocken bis zu Reisekoffergröße. Am nächsten Tag wurde die Wassermenge mit einem Meßflügel in einem behelfsmäßigen Meßgerinne nahe der Ortsbrust noch mit 237 l/s bestimmt. Die Gesamtwassermenge am Tunnelportal überstieg zu Beginn des Einbruchs 350 - 400 l/s.

Diese Situation war im Bauvertrag nicht vorgesehen. Übereilte Aktionen sind in solchen Fällen meist nicht angebracht: Mit einigen Holzbalken wurde die Spritzbetonschale horizontal ausgesteift. Diese Balken dienten gleichzeitig als "Geschiebesperre". Über die ersten drei Tage wuchs der Berg bis zur Firste.

Da das Pfingstwochenende bevorstand, beschlossen wir einvernehmlich, die Physik alleine walten zu lassen.

Inzwischen werteten wir gemeinsam mit dem Geologen die geologischen Aufzeichnungen und die Beobachtungen der Bauaufsicht aus. Daraus ergab sich das erste Modell, was sich rund um das Ereignis verbergen könnte:

Aus dieser Vorstellung heraus entwickelte sich der Vorschlag, dem Wasser seitlich auf kürzestem Weg entgegenzugehen und es über einen kleinen, kurzen Seitenstollen anzuzapfen.

Nach Pfingsten wurde in viertägiger Arbeit ein etwa 15 m langes "Mannloch" nach rechts, 15 m von der Ortsbrust entfernt, die Richtung etwa 45° zur Stollenachse, leicht steigend vorgetrieben. Die Gesamtwasserschüttmenge im vordersten Bereich wurde täglich gemessen und die Hydrogeologen begannen eine "Auslaufkurve" zu konstruieren.

Der Seitenstollen wurde mangels Erfolg abgebrochen. In der Zwischenzeit konnte auch ein geeignetes Kernbohrgerät mobilisiert werden. 4 Kernbohrungen bis zu 20 m lang wurden nach vorn, rechts seitlich und unten niedergebracht. Einige brachten wieder sehr viel Wasser und mußten aus technischen oder Sicherheitsgründen abgebrochen werden. Ein kläglicher Versuch, den Druck zu messen, zeigte kurze Zeit gut 10 bar, bevor der Packer aus dem Rohr flog.

Diese Bohrungen ließen die Gesamtwassermenge wieder deutlich ansteigen und auch die chemischen Wasseruntersuchungen bestätigten, daß mit den Bohrungen teilweise zusätzliches, "neues" Wasser erbohrt wurde, das bisher noch keine Entlastung durch den Verbrauch erfuhr.

Vor uns lag eine komplexe Situation aus wasserstauenden und höchst wasserdurchlässigen Schichten.

Während die Kernbohrungen ausgewertet wurden und unser Modell dadurch und durch die Ergebnisse der Wasseruntersuchungen neue "Mosaiksteinchen" erhielt, wurden laufend verrohrte Hammerbohrungen in allen Richtungen in die Ortsbrust gesetzt. Wenn möglich erhielten die Löcher einen Filterrohrausbau, um die Drainagewirkung möglichst lange aufrecht zu erhalten.

Unmittelbar vor der Ortsbrust lag eine etwa 1 m dicke, stauende Schicht aus dichten Talk-Myloniten, die mittelsteil aus der Brust einfallend, etwa unter 45° zur Vortriebsrichtung streicht. Sie liegt damit in der Schieferungsebene. Die Vorstellung von einer ebenen Schicht sollte man jedoch sehr relativ sehen!

Dahinter liegt eine mehrere Meter mächtige Zerrüttungszone, die aus stark geklüftetem, jedoch im Verband stehendem Kalkglimmerschiefer besteht. Durchtrennt wird dieser durch millimeter- bis zentimeterdicke, talkige Chloritschieferlagen in den sf-Flächen. Damals unterschätzten wir vielleicht die enorm hohe Teilbeweglichkeit dieses "Bauklötzchenhaufens" mit "Schmierseiflagen" unter Wasserzutritt.

Den hinteren Abschluß bildete wiederum eine Mylonitzone, deren Mächtigkeit in den Kernbohrungen bis zu einem Meter betrug. Der darauffolgende Kalkglimmerschiefer oder stellenweise besser Glimmermarmor stellte sich in den Kernkisten äußerst kompakt dar, jedoch drängte dort Wasser aus geringmächtigen Störungen und Klüften unter sehr hohem Druck an.

Angesichts dieser Modellvorstellung, den vielen Drainagebohrungen und der nach unten zeigenden "Auslaufkurve", konnten wir ein Monat nach dem Ereignis wieder an den Tunnelbau denken. Zuerst mußte das gesamte hereingeschwemmte Material schrittweise ausgeräumt werden, der gesamte Ausbau erneuert und verstärkt werden und ein massives Sohlgewölbe eingebaut werden. All das unter ständiger Beobachtung der Bruststabilität.

Die vordersten Bögen boten uns eine Vorstellung über die waltenden Kräfte: wie dünner Draht waren die Stahlbögen in Tunnellängsrichtung um 1,5 m verbogen.

Bald standen wir "glücklich" vor einer senkrechten, im Augenblick noch stabilen Ortsbrust auf Station 1169 aus der aus ca. 30 Löchern, Filterrohren und Schläuchen noch immer über 100 l Wasser je Sekunde hereinströmten.

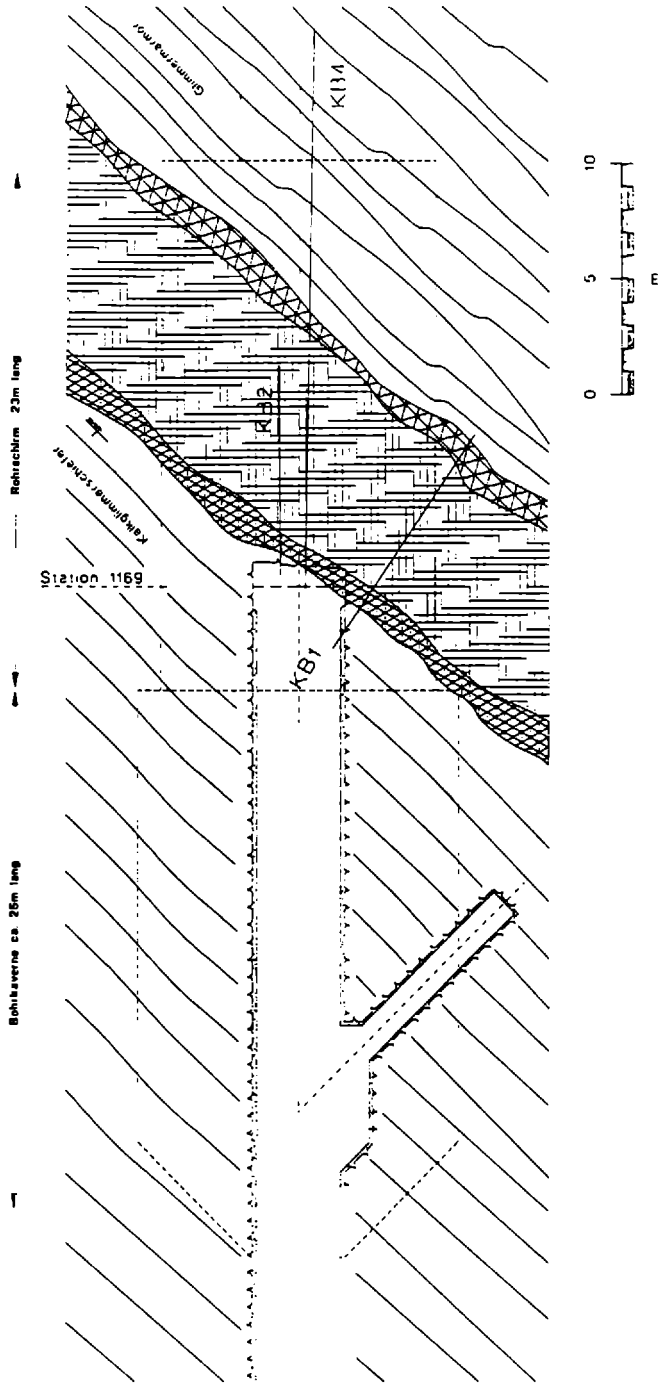


Abb. 8: Geologische Situation; Aufweitungs- und Rohrschirmbereich - Grundrissdarstellung

4.3.3.2. Der zweite Wassereinbruch mit Verbruch des Stollens

Wir mußten weitermachen: Das Konzept sah vor, die Brust mit Ankern voraus zu sichern und Stahlspieße in engem Abstand als vorausseilende Firstsicherung zu versetzen. Beide Maßnahmen hören sich einfach an, jedoch unter diesen Bedingungen war es Schwerarbeit. Im Schutze dieser Einbauten sollte mit möglichst schonenden Mitteln der weitere Vortrieb vorsichtig gewagt werden.

In der Nacht von 24. auf 25. Juni, fast genau ein Monat nach dem ersten Ereignis, wurde wieder vorgetrieben.

Auszug aus dem Bautagebuch:

Seit Wiederaufnahme der Aufräumungs- und Vortriebsarbeiten am Dienstag, 22.6., wurden bis Donnerstag nachmittags geschlossene Stahlbögen mit Spritzbetonsicherung der Ausbruchslaibung und Sohle bis Station 1170 hergestellt. Für den weiteren Vortrieb wurden 18 Stahlspieße Ø26mm, 3 m lang vom letzten Ring aus in das Gebirge vorgetrieben. Im Schutze dieser Spieße konnte bis 21⁴⁵ ein weiterer "Abschlag" mit 1 m "Angriffstiefe" geöffnet werden. Dazu war eine Sprengung der im linken Ulmen- und Firstbereich anstehenden, kompakten Kalkglimmerschiefer erforderlich (1kg Sprengstoff, 7 Zünder). Die völlig lose, auf den mit verwittertem/umgewandelten Biotit (wie Schmierseife) belegten Schieferungsflächen ausgleitenden Körper im rechten Brust- und Ulmenbereich konnten leicht mit dem Bagger "gelöst" werden.

Um 23⁰⁰, nach dem erfolgreichen Ausschüttern, verbrach die rechte Brust und Firste noch bevor der Bogen vor Ort gebracht werden konnte. Einige Spieße wurden "wie Zahnstocher" spitzwinkelig umgebogen. Das Verbruchhaufwerk bildete in Kürze einen Kegel (1:1 geneigt), der bis zur Firste reichte. Das Wasser, das zuvor aus den Vollbohrungen in der Brust eintrat, kam ab nun als Bach über das Haufwerk. Druckwasser konnte nicht festgestellt werden. Die Wassermenge blieb augenscheinlich unverändert. Die Gesamtwassermengenmessung am Portal bestätigte dies, ebenso eine Messung im Vortriebsbereich (16⁰⁰: 120 l/s) Bis 6⁰⁰ wurden Sicherungsarbeiten (Ankerungen an den Bögen und in der linken Brust) durchgeführt.

Von 6⁰⁰ bis 8⁰⁰ wurde in Anwesenheit der Bauaufsicht und Bauleitung der Versuch unternommen, das Verbruchhaufwerk auszuschüttern. Insgesamt wurden etwa 25m³ abtransportiert, der Kegel baute sich durch schubweise von oben nachfallende Gesteinsmassen (plattige Klufkörper mit Kantenlängen bis zu 1 m, Klufflächen mit Harnischströmungen, Schieferungsflächen mit seifigem Belag) unmittelbar wieder auf.

Diese Übung wurde mangels Erfolg abgebrochen. Bei ca. Station 1168 wurden auf 1,5 m Höhe Halbschnitthölzer als Geschiebesperre eingebaut und gesichert. Mittlerweile ist der verbleibende Raum dahinter selbständig voll aufgefüllt. Das Haufwerk ist stabilisiert.

Soweit der "Originalton" aus dem Bautagebuch. Dieses Naturschauspiel war wohl beeindruckend, doch das Donnern des nachstürzenden Materials aus uneinsehbaren Bereichen vorn und oberhalb wurde immer bedrohlicher, und es gab keine Anzeichen, daß es bald aufhören würde. Im Gegenteil: nach einer besonders großen Ladung, die auch das Schuttergerät halb begrub, entschieden wir für einen Abbruch.

Noch in der Früh wurde der Krisenstab von Firma und Bauherr einberufen. Am selben Tag fand eine Besprechung an der Baustelle statt.

4.3.3.3. Diskutierte Möglichkeiten zur Aufarbeitung und Durchörterung

In diesem Meeting wurden alle möglichen Maßnahmen für die Durchörterung der inzwischen durch Bohrungen abgetasteten und durch den Vortrieb bereits angefahrenen Zerrüttungszone mit großer Wasserführung "auf den Tisch geworfen" und diskutiert. Zusammengefaßt standen folgende 8 Varianten zur Diskussion:

- 1) **zubetonieren ⇨ ausinjizieren, Wasser verdrängen ⇨ im Schutze des verfestigten und abgedichteten Gebirges Erkundungsstollen weiter vortreiben.**

Gegen diese Lösung sprach vorerst die Tatsache, daß damit der Wasserdruck wieder aufgebaut würde, statt ihn zu entspannen. Dieser Gedanke flößte niemandem Vertrauen ein.

- 2) **Rohrschirm vom derzeitigen Erkundungsstollen aus; Schirm unter $10\text{-}30^\circ$ von der Achsrichtung abweichend.**

Gegen diese Idee sprachen die beengten Platzverhältnisse, die auch nur den Einsatz kleiner Geräte zuließen.

- 3) **Rohrschirm von einem ausgeweiteten Profil aus; Schirm achsparallel**

- 4) **Rohrschirm vom erweiterten Kalottenprofil aus; Schirm achsparallel**

- 5) **Vereisen um den Erkundungsstollen**

Auch hier würde der Wasserdruck wieder aufgebaut und nicht vermindert; weiters waren zu dem Zeitpunkt die Kosten überhaupt nicht abschätzbar und die Zeitspanne bis eine Vereisungsanlage in Betrieb gehen könnte, war zu groß.

- 6) **Profilverkleinerung in Achse des Erkundungsstollens**

Dafür fehlte eigentlich das "stabile Ufer", von dem aus man beginnen könnte, praktisch "händisch" ein Mannloch durch die Störungszone vorzutreiben und dann aufzuweiten. Auch blieben zu viele Unsicherheiten offen.

- 7) **Umgehungsstollen außerhalb des Profils**

Ist eigentlich nur bei Fräsvortrieben notwendig, wenn man einen Fräskopf umgehen muß. Das war ja hier nicht der Fall und wir wußten bereits, daß die Störung nicht nur lokal begrenzt war, sodaß man ihr ausweichen konnte.

- 8) **IBO-Schirm vom derzeitigen Erkundungsstollen aus; Schirm unter $\leq 10^\circ$ von der Achsrichtung abweichend.**

Versuche mit auf der Baustelle befindlichen IBO-Spießen scheiterten bisher an der hohen Gesteinsfestigkeit. Auch vorgebohrte IBO-Spieße konnten nicht mit Erfolg versetzt werden. Mit dem Bohrgerät, das in den kleinen Stollen paßt, ist ebenfalls rasch die Einsatzgrenze erreicht.

4.3.3.4. Das ausgewählte Modell

Es gab gegen jeden Vorschlag Einwände, "Wenn und Aber" und Unabwägbares. Ebenso fanden sich Argumente für Lösungen.

Leztlich wurde noch am Tag der Besprechung die Präferenz für die "Große Rohrschirmlösung" ausgesprochen, d.h. aufweiten bis über das endgültige Kalottenprofil und herstellen eines achsparallelen Rohrschirms durch die gesamte Störzonen bis ans "andere Ufer".

Daraufhin wurde auf Basis der vorhandenen Leistungspositionen und anhand von geschätzten Einheitskosten und Leistungsansätzen ein grober Kostenüberblick samt Zeitplan erstellt. Am nächsten Tag konnte auf Basis dieser ausgearbeiteten Unterlagen die Entscheidung dafür getroffen werden.

Die Gründe können aus damaligem Kenntnisstand folgend beschrieben werden:

- ⇒ Mit dem großen Rohrschirm kann in einem Arbeitsgang die gesamte Zerrüttungszone überbrückt werden.
- ⇒ Diese Methode stellt keinen Zwischenbauzustand dar. Der Störungsbereich muß beim Vollausbuch nicht nochmals geöffnet werden. Der Kalottenausbruch ist damit fertiggestellt.
- ⇒ Nur die "große Variante" erlaubt den Einsatz von großem Gerät - andererseits: sie erfordert ihn auch.
- ⇒ Die verbleibenden unbekannteten Faktoren bedingen bei dieser Arbeitsweise das minimalste Restrisiko.
- ⇒ Zusätzliche Maßnahmen sind noch denkbar: Injektion, Brustankerung, - um es vorwegzunehmen: von beiden ist Gebrauch gemacht worden.

4.3.3.4.1. Herstellen der Aufweitung

Der erste Schritt zur Lösung der nun vereinbarten Aufgabe war die Aufweitung des bestehenden Stollens zu einer etwa 20 m langen "Bohrkaverne". Der Querschnitt sollte größer als das Kalottenprofil sein, sodaß der Rohrschirm etwa einen halben Meter außerhalb des späteren Querschnittes gesetzt werden kann. So entstand etwa ein Halbkreisprofil mit fast 15 m Durchmesser. Zum Vergleich: der Ausbruchsdurchmesser für das Regelprofil liegt um 12,5 m.

Der Beginn dieser Aufweitung liegt bei Station 1140, dreißig Meter vor der Zerrüttungszone.

Während dem Auffahren konnten die geologischen Kenntnisse über den Bereich vor der Störung weiter vertieft werden. Die Aufschlüsse führten jedoch zu keinen neuen Erkenntnissen.

Der Ausbruch des großen Querschnittes wurde anfangs mit den selben Geräten, wie sie beim Erkundungsstollenvortrieb im Einsatz waren, bewerkstelligt. Es mußte deshalb in eine "Kalotten-Kalotte" und in eine "Kalotten-Strosse" unterteilt werden.

Der gesamte Bereich erhielt einen starken Ausbau mit Stahl-Gitterbögen, zweilagig bewehrtem Spritzbeton und 6 - 8 m langen Ankern. Es dauerte 3 Wochen, um die gesamte Kaverne auszubrechen und zu sichern. Im Zuge des Vortriebs mußten natürlich auch der Ausbau und die Stützmittel des Erkundungsstollens in diesem Bereich abgebrochen werden.

Aus allen Löchern und Öffnungen kam reichlich Wasser aus dem Berg.

Das Ende der Bohrkaverne blieb in sicherem Respektsabstand vor der ersten Mylonitzone zurück. Der verbleibende Erkundungsstollen von etwa 4 m Länge, der teilweise mit Verbruchmaterial gefüllt war, wurde mit Beton ausgefüllt.

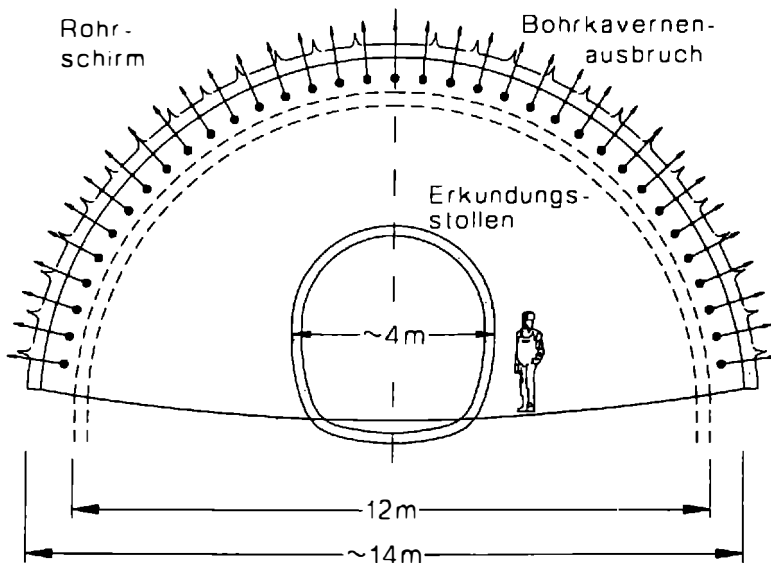


Abb. 9: Querschnitte: Erkundungsstollen, Bohrkaverne, Kalotte des Eisenbahntunnels

Inzwischen wurden weitere Baubesprechungen abgehalten, in denen Details über den Rohrschirm - und inzwischen sogar Rohrinjektionsschirm - festgelegt wurden.

4.3.3.4.2. Äußere Folgen des Wassereintruchs

Aus den laufend durchgeführten Beweissicherungen aller Quellaustritte im erweiterten Projektgebiet mußten wir leider feststellen, daß das im Stollen austretende Wasser möglicherweise an zwei Quellen, die zur Trinkwasserversorgung von mehreren Bauernhöfen dienen, abgeht. Die Schüttungen ließen deutlich nach und nach 6 Wochen fielen beide trocken. Die Entwässerungsmaßnahmen im Stollen hatten somit weitreichenden (über 2 km), jedoch ungewollten Erfolg. Was uns blieb, war die Klarheit, daß die geringmächtige Zerrüttungszone offensichtlich eine äußerst hohe Durchlässigkeit aufweist und eine sehr große seitliche Ausdehnung hat. Die Lage der Quellen läßt sich mit der aktuellen Vortriebsstation exakt in der generellen Streichrichtung der Schieferung verbinden.

Die betroffenen Landwirte mußten einige Wochen mit Tankwägen versorgt werden. Inzwischen konnte eine provisorische Ersatzwasserversorgung in Betrieb genommen werden. Es ist so gut wie sicher, daß diese beiden Quellen nie mehr ausreichend schütten werden; deshalb wird die endgültige Ersatzversorgung auf andere Ressourcen zurückgreifen müssen.

4.3.3.4.3. Rohrschirm - Injektionsschirm

Um den bereits verbrochenen und damit aufgelockerten Schuttkörper im Vortrieb sicher zu beherrschen, bestand nunmehr der Plan, 36 Manschettenrohre, im Abstand von 50 cm um den Umfang angeordnet, 23 m voraus einzubohren. In einem weiteren Arbeitsgang sollte das Gebirge über die Manschetten mit Zement oder Mörtel injiziert werden. Das Ziel war, einen verkitteten Zerrüttungsbereich zu erhalten, damit die Ortsbrust beim späteren Vortrieb stabiler ist, und das "Dach" weniger durchlässig zu machen, um die Erosion zu verringern. Gleichzeitig sollten die Rohre natürlich auch hohe statische Aufgaben beim nachfolgenden Ausbruch erfüllen.

Um den Rohr-Injektionsschirm wurde dann noch ein Drainagefächer zur äußeren Entspannung des Bergwassers gefordert.

Die ausführende ARGE hat sich für diese Arbeiten Spezialisten als Subunternehmer geholt. Die Detailplanung der Gesamtlösung erforderte insbesondere in dieser Phase die intensive Zusammenarbeit. Hier mußten Gerätedispositionen getroffen werden, die eine spätere Anpassung oder Modifikation des Konzepts mehr oder weniger gut zulassen. Erschwerend ist noch zu nennen, daß die "Bohrkaverne" über den etwa 1 km langen Erkundungsstollen mit knapp 12 m² Querschnitt zu erreichen ist.

In der ersten Etappe wurde an der Baustelle eine Injektionsanlage aufgebaut, ein großes Bohrgerät herangeschafft, zerlegt, in den Stollen transportiert und betriebsbereit gemacht und die erforderlichen Injektionscontainer vor Ort gebracht. Das Bohrgerät war so groß, daß alle Bohrpunkte mit zwei Geräteaufstellungen erreicht werden konnten. Die 12 m lange Lafette garantierte eine genaue Ausrichtung jeder einzelnen Bohrung. Eine möglichst geringe Abweichung ist für die Funktion des Rohrschirms erforderlich.

Zuerst wurde jedes 2. Loch mit verrohrter Hammerbohrung abgeteufelt. Die ursprünglichen Vorbehalte und Zweifel an der Durchführbarkeit dieser Horizontalbohrungen im Zerrüttungsbereich zeigten sich zum Glück bald als unbegründet. Jede Bohrung konnte bis zu ihrer Endteufe hergestellt werden. Die Manschettenrohre, mit Außendurchmesser 76 mm und einer Wandstärke von 14 mm (!) wurden im Schutze der Verrohrung in 2 m-Schüssen eingebaut und vor Ort an den Muffen verschweißt.

Die Bedenken, gegen das stark strömende Wasser zu injizieren, waren hingegen berechtigt. Die Umläufigkeiten zu benachbarten Öffnungen, Ankerlöchern, Entlastungsbohrungen, alten Drainagelöchern, usw. waren sehr groß. Das Verfahren, wiederholt über Manschettenrohre zu injizieren, wie es in Sedimenten üblich ist, stellte sich hier als nicht möglich dar. So blieb uns ein unbekannter Injektionserfolg mit Zement und Mörtel.

Natürlich wurden auch Versuche mit PU-Schäumen und anderen Kunstharz-Injektionsmaterialien unternommen. Alle Anstrengungen, gegen das so stark fließende Wasser zu verfüllen, scheiterten.

Die immer wieder erwähnte, bei ähnlichen Ereignissen im Bergbau erfolgreich ausgeführte Möglichkeit, einen mächtigen Betonstoppel zu errichten, das Wasser wieder aufzustauen und das Gebirge "tot zu injizieren", war hier keine annehmbare Lösung.

Nach diesem ersten Durchgang, bei dem die Rohre nun im 1 m-Abstand versetzt wurden, beschlossen wir, eine Kernbohrung in die Brust abzuteufen, um erstens den Injektionserfolg zu kontrollieren und zweitens die Entspannung des hinter der zweiten Mylonitschicht anstehenden Wassers zu prüfen. Diese Bohrung zeigte kein Injektionsgut in den Bohrkernen, fand aber bald hinter dem Ende des Rohrschirmes äußerst viel Wasser unter sehr hohem Druck. An einem mit großer Mühe in die Verrohrung eingebauten Packer mit einem Manometer konnten Werte über 10 bar abgelesen werden. Die Schüttmenge aus dem Bohrrohr betrug weit über 60 l/s.

Mit diesen Erkenntnissen setzten sich Bauherr und Firmengruppe wieder zusammen: Von weiteren Verfestigungs-Injektionen wurde abgesehen. Lediglich der Ringraum aller Manschettenrohre sollte möglichst satt verfüllt werden. Dafür wurde den Drainagebohrungen verstärkte Bedeutung zugemessen. 20 Bohrungen sollten das Wasser um den Rohrschirm weiter entspannen. Nur wenige Bohrungen seitlich unten sollten den hinteren Horizont anzapfen. Für die verbleibenden 18 Schirm-Rohre blieb nur mehr die Forderung nach möglichst hohem Widerstandsmoment, also statischer Wirksamkeit, übrig.

An der Baustelle entwickelten wir gemeinsam mit dem erfahrenen Bohrmeister ein Verfahren, um Stahlrohre mit fast 15 cm Durchmesser und 10 mm Wandstärke als "verlorene Verrohrung" in den Fels und durch das Zerrüttungsmaterial zu versetzen. Damit gelang es, in weniger als 2 Wochen den Rohrschirm mit den fehlenden 18 Großrohren fertigzustellen.

Als Ersatz für die möglicherweise zu wenig wirksamen Injektionen im Zerrüttungsbereich wurden noch 9 Stück 23 m lange Brustanker versetzt.

Die gesamten Bohr- und Injektionsarbeiten für den Rohrschirm benötigten 10 Wochen im Durchlaufbetrieb.

4.3.3.4.4. Durchhörtern des Störbereiches

Die Hauptsorge beim Wiederbeginn der Vortriebsarbeiten galt der Stabilität der Ortsbrust. Deshalb wurde mit einem kleinen Querschnitt in der Firste begonnen. Je nach den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen sollte der verbleibende Bereich in geringem Abstand nachgezogen werden, um einen raschen Ringschluß zu ermöglichen - oder der Firststollen wird bis ans Ende des Rohrschirmes geführt und nachher erfolgt der Restausbruch.

Bei einem Versagen der großen Ortsbrust wäre möglicherweise die Gesamtstabilität des Rohrschirmes gefährdet. Die unbekannte Größe des Auflockerungsbereichs und die Unkenntnis über den noch vorhandenen Wasserdruck erlaubten uns keine verlässlichen "Berechnungen". Überschlägige Schätzungen ergaben eine mögliche freie Stützweite des Rohrschirms über 3-5m. Dies könnte jedoch beim Versagen der hohen Kalotte leicht erreicht werden.

Der Ausbruch im Firststollen erfolgte anfangs nur mit einem kleinen Hydraulikbagger, der wechselweise mit einem Hydro-Meisel und einer Tieflöffelschaufel ausgerüstet war. Die Ortsbrust konnte oft nur in Teilabschnitten geöffnet werden. Dabei konnten Brustriegel sofort an den vorausgesetzten 9 Brustankern befestigt werden und die Ortsbrust mit bewehrtem Spritzbeton gesichert werden.

Die Zerrüttungszone stellte sich als kohäsionsloser Verband völlig durchtrennter Kluftkörper dar. Der Auflockerungsbereich, der durch den Verbruch im Erkundungsstollen erzeugt worden war, konnte deutlich an der limonitischen Verfärbung erkannt werden. Er reichte über den Rohrschirm hinaus.

Die Wasserzutritte waren vergleichsweise gering - bis etwa 20 l/s im Vortriebsbereich - jedoch der Druck war völlig entspannt. Ein Ausschwemmen trat nicht auf.

Die noch während der Rohrschirmherstellung niedergebrachte Kernbohrung KB5, die große Mengen unter hohem Druck stehendes Wasser aus dem Bereich hinter dem Rohrschirm brachte, hatte sich längst verlegt.

Nun beim Vortrieb stießen wir das Loch wieder auf und hatten eine große Quelle im linken Sohlbereich, die weiterhin 40-50 l/s schüttete. Das Wasser konnte jedoch konzentriert gefaßt werden.

4.3.3.5. Mögliche Ursachen und gewonnene Erkenntnisse

Der Zeitraum der Bohr- und Injektionsarbeiten bot den Geologen die Möglichkeit, obertage intensiv nach Hinweisen auf Ursachen zu suchen.

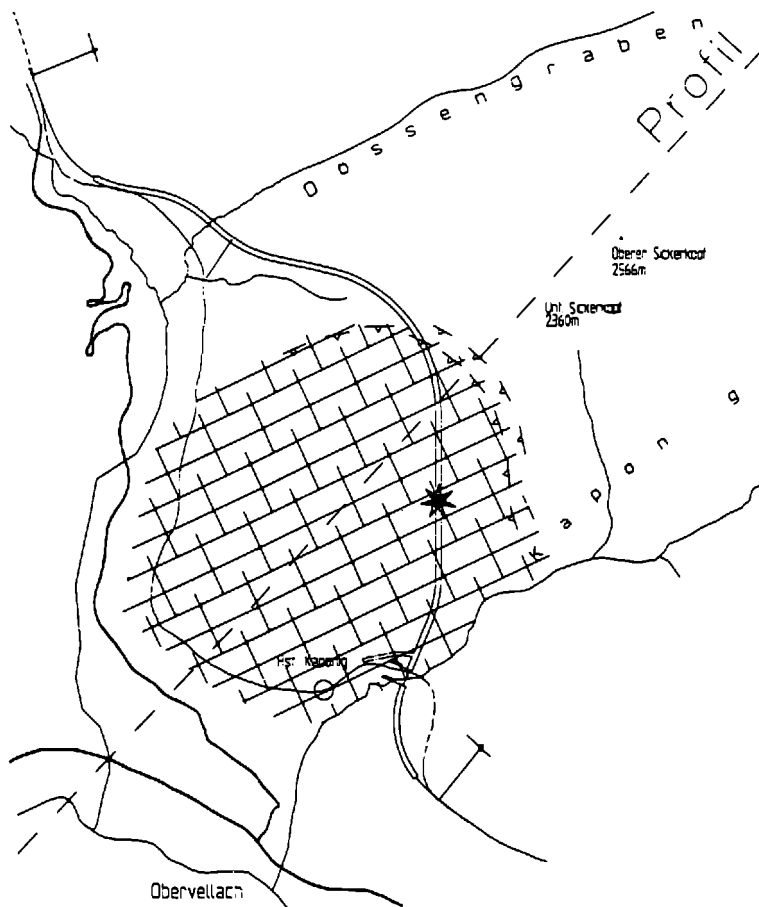


Abb. 10: möglicher Talzuschubkörper - Prinzipskizze G. RIEDMÜLLER und A. STEIDL (1993)

Dabei entdeckte das Team von Prof. Riedmüller deutliche Anzeichen einer tiefreichenden, postglazialen Massenbewegung. Auf der Jössnigalm, etwa 800 m über dem Tunnelniveau, sind auffällige Verebnungsflächen, Nackentälchenbildungen und offene Klüftgassen. Es wurde auch eine etwa 10 m mächtige, über mehrere hundert Meter obertage ausbeißende Mylonitschicht gefunden. Dies sind lauter Merkmale, die im Prognosegutachten nicht beschrieben und interpretiert waren. Die Detailkartierung des gesamten Sackungsbereichs ist noch nicht abgeschlossen. Aus den bisherigen Untersuchungen und den Ergebnissen der Beobachtungen der Hydrogeologen läßt sich das dargestellte Modell konstruieren (siehe Abb. 11).

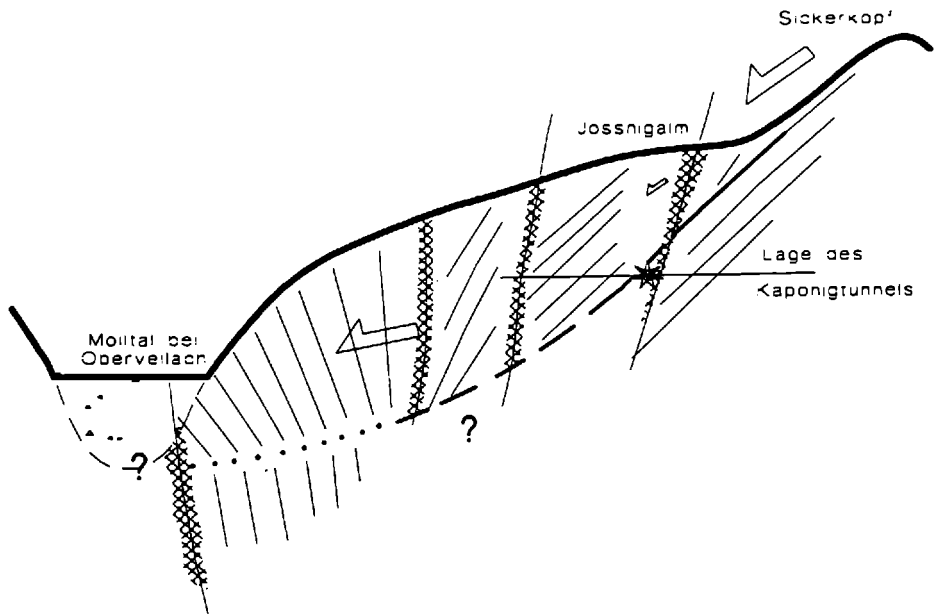


Abb. 11: Modellvorstellung der Bewegung

4.3.3.6. Daraus resultierend: zusätzliche Maßnahmen für den weiteren Vortrieb

Dieses Modell und die weiteren Detailkenntnisse von obertage ließen für den weiteren Vortrieb die Möglichkeit offen, daß noch weitere Zerrüttungszonen auftreten könnten. Insgesamt sprachen die Geologen von einem Abschnitt von etwa 200 m.

Die Wasserbilanzberechnungen der Hydrogeologen weisen aber auf eine geringere Wassermenge hin.

Um jedoch einer ähnlichen Situation rechtzeitig begegnen zu können, wurde auf den folgenden 200 m jeweils 30 - 40 m voraus mit einer Vollbohrung erkundet. Dabei wurde die Penetrationsgeschwindigkeit erfaßt und aufgetragen.

Es traten 2 weitere, in den Vorausbohrungen deutlich erkennbare, weichere Zonen auf, die jedoch von merklich weniger Wasserzutritt begleitet waren und auch nicht Zerrüttungszonen wie vorher waren. Es waren 1 bis 2 m mächtige Harnischfamilien, die besonders ungünstig, sehr schleifend zur Tunnelachse streichend, verliefen und damit über 10 m Probleme bereiteten.

Auf wenige Meter genau der Prognose von Prof. Riedmüller entsprechend erreichten wir einige Tage vor Weihnachten die Grüngesteine. Der Übergang war eine kurze Wechselfolge von Grünschiefern und Kalkglimmerschiefern, durchzogen von den genannten Harnischen. Der jetzt anstehende Prasinit ist äußerst kompakt, geklüftet bei geringem Durchtrennungsgrad und äußerst zäh. Für den Ausbruch eines 3 m-Abschlages im 12m²-Profil sind 200 kg Sprengstoff erforderlich.

5. Zusammenfassung

Die Entscheidung, für ein so großes Projekt die großen Prognoseunsicherheiten der Geologie und Hydrologie durch einen Erkundungsstollen zu verringern, erwies sich als richtig.

Ein Erkundungsstollen bis zum derzeit vertraglich vorgesehenen Ende oder weiter bis zum zweiten Fensterstollen bietet neben dem einmaligen geologischen Aufschluß auch die langwirksame Vorausdrainagierung des Gebirges und erlaubt später baubetrieblich andere Einsatzmöglichkeiten.

Ob der Erkundungsstollen besser oder wirtschaftlicher maschinell aufzufahren gewesen wäre, kann wohl niemand sagen. Doch das Risiko des Baugrundes würde auch in diesem Fall beim Bauherrn bleiben.

**Autor: Zivilingenieur für Bauwesen
Andreas KNITTEL
Kuffergasse 9
A-5400 Hallein**

Österreichs Straßentunnel

Vergleichbarkeit aus allgemeiner und geologischer Sicht

E. MIKURA

Zusammenfassung:

Um geologische Arbeiten und deren Methodik den jeweiligen aktuellen Gegebenheiten anpassen zu können, ist es notwendig, rechtzeitig die Tendenzen bezüglich der tatsächlich in Ausführung befindlichen Objekte zu erkennen.

Als Vorstufe für das Erkennen der Tendenzen ist die Systematisierung, d.h. Vergleichbarkeit, notwendig. Für den Bereich Straßentunnelbau wird in Österreich, in Verantwortung des Verfassers, die Dokumentation "Österreichische Straßentunnelbauten" vom BMfWA erstellt. Aus den darin enthaltenen Daten wird eine Vergleichbarkeit entwickelt und aus der langjährigen Beobachtung sind Tendenzen erstellbar. Aus diesen sind auch Schwerpunkte der geologischen Arbeit und der Forschung der Zukunft zu erkennen.

Die markantesten Tendenzen aus dieser Arbeit sind:

- 1) die Zunahme der oberflächennahen Tunnel mit der Problematik der geringen Überlagerung in Locker- und Festgestein
- 2) die Sonderformen der Ringschlußbildung, hervorgerufen durch Hanglage
- 3) sowie die Notwendigkeit von Sonderverfahren wie z.B. Hochdruckinjektionspfähle.

Allgemeines

Seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts haben Verkehrstunnelbauten, meist für die Bahnbauten, stark an Bedeutung gewonnen. Österreich hat diesen Tunnelbau mit eigenen Entwicklungen beeinflusst.

Nach dem 2. Weltkrieg konnte Österreich durch die Kombination bekannter Techniken und Theorien eine neue Methode entwickeln, die auch selbstbewußt als Neue Österreichische Tunnelbauweise international angewendet wird.

Diese Tunnelbaumethode bekam ab 1970 bei den Tunnel Klamm, Tauern und Katschberg den theoretischen Überbau und im schwierigen Arlbergtunnel die Perfektion besonders bezüglich der geologischen Dokumentation, dem Stützmitteleinbau und dessen Wirkung. Beginnend mit dem Tanzenbergtunnel entstand eine industrielle Routine.

Mit dem Gigerachtunnel wurden erste Sonderformen (2 Röhren übereinander) und mit dem Übelskogel- und Großliedtunnel erste seichtliegende Tunnel ausgeführt und ein "Kärntner" Deckel angewandt.

Das gute geologische Erkundungs- und Aufnahmesystem wurde entwickelt und in machen Fällen aber rasch wieder stark "reduziert".

Im großen und ganzen betraf die so gemachte Erfahrung tieferliegende Gebirgstunnel. Die Methode des Bauens und der theoretischen Betreuung ist natürlich auf das ihr entsprechende Anwendungsgebiet ausgerichtet und so ist es wichtig, neue Tendenzen zu erkennen.

Ohne diese Arbeit passieren Rückschläge, die es vereinzelt schon gegeben hat.

Wie in Deutschland bei den dortigen, seicht-liegenden Tunnel mit mauerwerksartigem Verband nach Müller.

Doch auch in Österreich gab es ähnliche Erscheinungen wie z.B. im Tunnel Lambach, dem Inntaltunnel, dem Säusensteintunnel und dem Tunnel Ehrentaler Berg. Manchmal waren diese Rückschläge nicht geologisch-technischer sondern wirtschaftlicher Natur.

In den meisten Fällen kam es nicht zum Ringschluß und dadurch in späteren Nacharbeitsphasen zu Nachbrüchen bis Tagbrüchen oder zur Notwendigkeit des stark vermehrten Stützmitteleinbaues. In Deutschland wurden diese Erscheinungen mit Gründlichkeit und großem Aufwand dokumentiert und publiziert.

Aber nicht diese wissenschafts-theoretischen Probleme, sondern die aus den nicht erkannten neuen Tendenzen und deren Auswirkung auf die praktische Ausführung entstandenen neuen Aufgaben des baubetreuenden Geologen sind für die zielgerichtete Forschung von Bedeutung.

Ziele dieser neuen Forschung sind:

1. die Sicherheit bei Tunnelbauten (Arbeitsunfälle) gewähren, und
2. die Sicherheit im Tunnelbetrieb (Bauwerksschäden) erhalten.

Kostenerfassung

Die geringe Erfahrung durch falsche Vergleiche mangels Typisierung führt zu Fehleinschätzungen der Aufwände und daher Preisunterangebote mit Nachtragsbedarf oder Überangebote ohne Auftrag für die Unternehmung.

An der Erforschung der neuen Tendenzen haben alle an der Projekterstellung und -errichtung beteiligten Gruppen Interesse.

Das sind:

Die AUFTRAGGEBER sie wollen verlässliche technische und preisliche Grundlagen für ihre Tunnel

Die AUFTRAGNEHMER sie brauchen verlässliche und vorhersehbare Arbeitsmethoden und Kosten

Auftraggeber und Auftragnehmer

bedienen sich für Planung, Bauaufsicht und
Kostenkontrolle der Ziviltechniker.

Daher haben auch diese Vorteile aus der
Typisierung und dem Erkennen der neuen
Trends.

Neben dem BM f. wirtschaftliche Angelegenheiten als Auftraggeber und
Tunnelerhalter, das mit dem Forschungsauftrag "Tunneldokumentation" die
Systematisierung fördert, ist es sicher eine Aufgabe der Universitäten, die
Typisierung zu unterstützen und die eigene Forschung und Lehre darauf
auszurichten.

Die möglichen Vergleiche (Typisierungen):

Jede dieser Typisierungen betrifft natürlich nur die Vergangenheit und
Gegenwart, doch ist bei zeitlicher Ordnung auch der Trend erkennbar.

Die groben Ordnungskriterien der Typisierung werden seit 1991 in einer EDV-
Datenbank der Tunneldokumentation verwaltet. Dadurch ist eine rasche
Typisierung nach den Kriterien, die vom BM f.WA entwickelt wurden, möglich.

Projektdaten (Basisdaten)

Nach allen in der Dokumentation des BMfWA aufgeführten Parametern, dies
sind ca. 200, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind, ist diese Typisierung
möglich.

BASISDATEN

STAND 01.01.1978
 BUNDESLAND 8 BUNDESSTRASSE: 416 ABSCHNITT: 04
 ABSCHNITTSANF: 21.620 ABSCHNITTSSENDE: 39.740 ANFANGSSTATION: 23.360
 TUNNELNAME: ARLBERG DOK.NR(LI): 56
 (RE):

LINKS BAUBEGINN: 1974 VERKEHRSFREIGABE (LI): 1978
 RECHTS BAUBEGINN: VERKEHRSFREIGABE (RE):

ANMERKUNGEN:

TECHN.DATEN-ALLGEMEIN

ANZAHL D.TUNNELRÖHREN: 1 BAUJAHR: 1978 SONDERFALL: N
 LINKE RÖHRE RECHTE RÖHRE
 TUNNELLÄNGE (M): 13972.00 0.00
 SONDIERSTOLLEN LÄNGE (M): 0 0
 SEEHÖHE DER PORTALE IN KMG: 1255 0
 LÄNGSNEIGUNG MAX. IN ‰: 1.67 0.00
 AUFFANGBECKEN EXISTIERT Y N
 KLÄRUNG DES OBERFLÄCHENWASSERS: Y N

TECHN.DATEN-BAU

RICHTUNGSVERKEHR: N GEGENVERKEHR: Y
 LINKE RÖHRE RECHTE RÖHRE
 ANZAHL DER FAHRSTREIFEN: 2 0
 VERKEHRSÜBERWACHUNG: Y N
 FAHRBAHNBREITE: 7.50 0.00
 GESAMTBREITE: 9.40 0.00
 FAHRBAHNDECKE: BETON: Y N
 ASPHALT: N N
 SONSTIGES: N N
 ADAPTIONSVORSORGEN: EINFAHRT (M): 1430 0
 AUSFAHRT (M): 305 0
 VOLLABDICHTUNG: N N
 TEILABDICHTUNG: 7265 0

TECHN.DATEN-LÜFTUNG

LINKE RÖHRE RECHTE RÖHRE
 BELÜFTUNG NATÜRLICH: N N
 LÄNGS: N N
 INJEKTOR: N N
 QUER: Y N
 HALBQUER: N N
 PROJ.FRISCHLUFTMENGE (M3/s): 150 0
 ANSCHLUSSWERT LÜFTUNG (KW/h): 11264.00 0.00
 LÜFTUNGSSCHÄCHTE YES/NO: Y ANZAHL: 2
 LÜFTUNGSSTOLLEN YES/NO: N ANZAHL: 0

TECHN.DATEN-BELEUCHTUNG

LINKE RÖHRE RECHTE RÖHRE
 BELEUCHTUNG (Y/N): Y
 ART DER BELEUCHTUNG: EINFAHRT: LBD, TLL440/180
 DURCHFAHRT: LBD, TLL 40, TLNA 180
 ANSCHLUSSWERT KW: EINFAHRT: 49 0
 DURCHFAHRT: 209 0
 GESAMTANSCHLUSSWERT: 12000 0
 ANMERKUNG:

TECHN.DATEN

AUFTRAGNEHMER: VERGABESUMME: ABRECHNUNGSSUMME:
 BAU (Li.Rö.) ATO, JÄGER, UB, PORR, 2.037.014.241 3.640.830.629
 RELLA, MAYREDER & CO
 ELEKTRO (Li.Rö.) ZUMTOBEL, SIEMENS 195.771.623,50 215.342.616

Tabelle 1: Basisdaten der EDV-Tunnelndatenbank d. BMFWA
 ANGERER, MIKURA 93 (4)

Welche Vergleichbarkeiten ergeben sich nun aus der Dokumentation mit Hinweisen auf die Geologie

1) **Allgemeine Kriterien**

- 1) **Querschnitt**
- 2) **Längsneigung**
- 3) **Überlagerung**
- 4) **Länge**
- 5) **Baujahr**
- 6) **Doppel-Einfachröhre**
- 7) **Abzweigungen im Tunnel**
- 8) **Sondierstollen**
- 9) **Bauweise**
- 10) **Seehöhe**
- 11) **Abdichtung**
- 12) **Kosten**

Nicht gut EDV-dokumentierbar sind geologische Beschreibungen, sowohl textlich als auch graphische Darstellungen der Natur, und daher muß man zu deren Auswertung auf die Langtextdokumentationen und mikroverfilmte Pläne oder Profile zurückgreifen, die seit 1976 erstellt werden.

Mit diesen Plänen gemeinsam ergibt sich eine grobe
"GEOLOGISCHE TYPISIERUNG"

In der Langtextdokumentation liegen folgende Parameter vor

Überlagerung

Gesteinsart

Lockergestein

Festgestein

Belastungsart

Hangtektonik

Zentrale Schwergewichtsbelastung

Zerrzonen

Sondierstollen

Erkundung

Bauweise

Jährliche Datensammlung des Tunnels (Statistikdaten)

Neben den baulich geologischen Basisdaten gibt es, auch seit 1976, jährlich Statistikdatenmeldungen.

BMfWA	STATISTIKDATEN aus 1992		28.06.1994	
TUNNEL: ARLBERG			in Bdl: 8	
7 BETRIEB UND ERHALTUNG:				
7.1 BETRIEBS- UND ERHALTUNGSKOSTEN:	GESAMTSUMME (Mio öS):			0.000
7.11 STROMVERBRAUCH (Mio KWh):	5.266	ös		5.786
7.111 BELÜFTUNG (Mio KWh):	2.326	ös		3.066
7.112 BELEUCHTUNG (Mio KWh):	0.630	ös		0.831
7.113 DAVON DURCHFAHRT (Mio KWh):	0.000	ös		0.000
7.114 HEIZUNG UND SONSTIGE (Mio KWh):	2.310	ös		3.045
		AUFSICHT	WARTG.	REINIGUNG BAUL.ERH.
7.12 ERSATZTEILE	Tsd öS:	0	0	0
7.13 LAMPEN	Tsd öS:	0		
7.14 FAHRZEUGE OHNE LOHN	Tsd öS:	0		
7.15a PERSONAL	STD:	0	13237	0 4216
7.15b PERSONALKOSTEN	Tsd öS:	0	4103	0 1307
7.16 SONSTIGE KOSTEN	Tsd öS:	0		
7.17 SCHNEERÄUMUNG	Tsd öS:			0
7.18 LEISTUNGEN DRITTER	Tsd öS:		0	0 0
7.2 VERKEHRSSTATISTIK				
7.20 JAHRESMITTEL (JDTV):		0		
7.21 TAGESMITTEL (DTV):		5655		
7.22 TAGESMAXIMUM (TV MAX):		15490		
7.23 STUNDENMAXIMUM (SSV):		1750		
7.26 LKW-ANTEILE (%):		15.30		
7.27 GESAMTVERKEHRSMENGE PRO JAHR IN MIO KFZ EINHEITEN:				2.06
7.3 STATISTIK BETRIEBSBEDINGTER ZWISCHENFÄLLE				
7.31 GESAMTZAHL DER UNFÄLLE:	11	DAVON TÖDLICH:	0	
7.32 GESAMTZAHL DER PANNEN:	168			
7.33 STÖRUNGEN IN DEN BETRIEBSEINRICHTUNGEN:			6	

Abb. 1: Statistikdaten der EDV-Tunneldatenbank d. BMfWA, ANGERER-MIKURA
1993 (4)

Neben vielen, hauptsächlich für andere Disziplinen notwendige Daten haben zur Geologie daraus folgende Hauptgruppen Bezug:

Kosten

Stromverbrauch

Reparaturen

Verkehrsstatistik

Unfälle

Störungen, Reparaturen an Tunnelbau

Kosten

Beschreibung Bauwerksschäden

Risse Innenschale

Wassereintritte

In Verknüpfung mit den folgenden Statistikdaten sind etwas vertiefende Aussagen auch auf die Wirkung unserer Disziplin möglich:

Kosten

Stromverbrauch

Reparaturen

Verkehrsstatistik

Unfälle

Aus den Basisdaten können gemeinsam mit den Statistikdaten oft geologische Typisierungen und Fragestellungen abgeleitet werden.

Als Beispiele:

- 1) **KOSTEN JE 1m TUNNEL**
möglicher Hinweis auf schwierige Geologie
- 2) **KOSTEN ANBOT -> KOSTEN ABRECHNUNG**
Hinweis auf geänderte geologische Bedingungen;
über die Bedeutung von Sondierstollen kann damit ebenfalls
eine Aussage getroffen werden.
- 3) **ZERSTÖRUNGEN AM BAUWERK**
Die Ursache darin kann in tektonischen Vorgängen oder
in unwirksamen Stützmitteln bestehen.
- 4) **WASSERAUSTRITTE**
Oft ein Hinweis auf starke Versinterungen oder
Zerstörung am Bauwerk (Isolierung und damit zu Pkt. 3)

Einige Beispiele für Typisierungen:

Parameter:

Sondierstollen

in der Dokumentation abfragbar nach vorhandenen; (Angabe in m)

Sondierstollen werden aus folgenden Gründen errichtet:

- a) allgemeine techn. Sicherheit zu geben
- b) Vertragssicherheit zu erhöhen (Kosten senken)
- c) Kosten zu sparen durch Vorausröhre (Belüftung, Entwässerung)
- d) Zeit zu gewinnen und mehr Sicherheit im politischen Prozess.

Aus der Auswertung der Tunneldatenbank ist bei diesem Parameter keine allgemeine Tendenz feststellbar.

Parameter:

Bauweisen (Vergleichbarkeit)

Hier gibt es folgende Hauptunterscheidungen

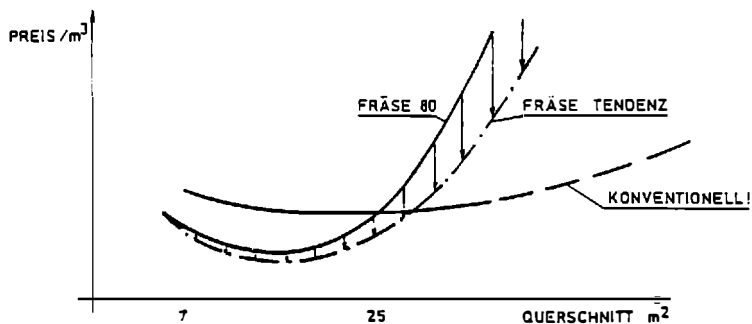
Offene Bauweise

Einhausungen

Bergmännische Bauweise NÖT Lockergesteinsvortriebe
Festgesteinsvortriebe
Fräsvortriebe

Fräsvortriebe wurden in Österreichs Straßentunnelbau bisher nur für den Bau von Sondierstollen angewandt.

Im Vollausbuch des Pfändertunnels war die Fräse vorgesehen, doch wurde diese sowie 15 Jahre später in Zell/See nicht eingesetzt, obwohl jetzt entsprechend große und geeignete Fräsen am Markt sind und die bestmögliche Erkundung durch einen gefrästen Sondierstollen gegeben ist. Es zeigt sich aber, daß die 1987 vom Verfasser (6) postulierte Tendenz, daß die spezifischen Kosten je m^3 Ausbruch bei Fräsvortrieben bei großen Querschnitten sinken, zutrifft und soweit fortgeschritten ist, daß die Kosten je m^3 Fräsausbruch die vom Sprengvortrieb bereits eindeutig unterschreiten. Die Bauwerkslänge ist bei dieser Überlegung als konstant angenommen worden.



KOSTENVERGLEICH FÜR AUSBRUCH

Abb. 2: Mikura 1987 (6)

Zeitliche Zuordnung zu den Bauweisen

Die Blöcke sind immer in Zeitabschnitten von je 2 Jahren der Aufnahme in die Dokumentation zusammengefaßt. Der Vergleich des ersten mit dem 2. Block ergibt grob die Tendenz. Diese Tendenz wird in der Detailarbeit durch andere Zeitgruppen gesichert.

offene Bauweise inkl. Einhausungen

letzter Zeitabschnitt:

Mönchshof	(A4)
Marschallhof	(A 22)
Donau City	(A 22)
Wieding	(B314)
See Eck	(B314)
Zurndorf	(A4)
Wartberg III	(A9)
Pettauer	(S16)
Weiden	(A4)
Parndorf	(A4)
Neusiedl	(4)

älterer Zeitabschnitt:

Islam. Zentrum	(A22)
Schönberg	(A13)
Pianner	(S16)
Wartberg	(A9)
St.Niklas	(A11)

Einhausungen gelten als neuer Typ der offenen Bauweise. Von einer Einhausung wird gesprochen, wenn eine bereits ausgeführte Straße nachträglich überbaut wird.

Weitere Typisierungen aus der Lage des Tunnels im Gebirge

<u>Scheiteltunnel</u>	mit hoher Überlagerung im Festgestein z.B. Karawanken-Tunnel
	mit geringer Überlagerung im Festgestein z.B.:
	Ehrentaler Berg
	HL-AG Tunnel Säusenstein

Aus der geringen Anzahl ist eine interne Trendfeststellung nicht möglich

Lehntunnel im Festgestein (massig)

letzter Zeitabschnitt:

Rattenberg

Lainberg

Brettfall

Sonnstein

älterer Zeitabschnitt:

St. Wolfgang

Gacher Blick

Großer Gröben

Lehntunnel im Festgestein (schiefrig)

letzter Zeitabschnitt:

Lainberg

Jungfernsprung

Falkenberg

St. Wendelin

Stuben

älterer Zeitabschnitt:

Bürserberg

Sifeler Berg

Schnanner

Lärchberg

Zell-See (Schmitten)

Seichte Tunnel im Lockergestein

letzter Zeitabschnitt

Lainberg

Lehdorf

älterer Zeitabschnitt

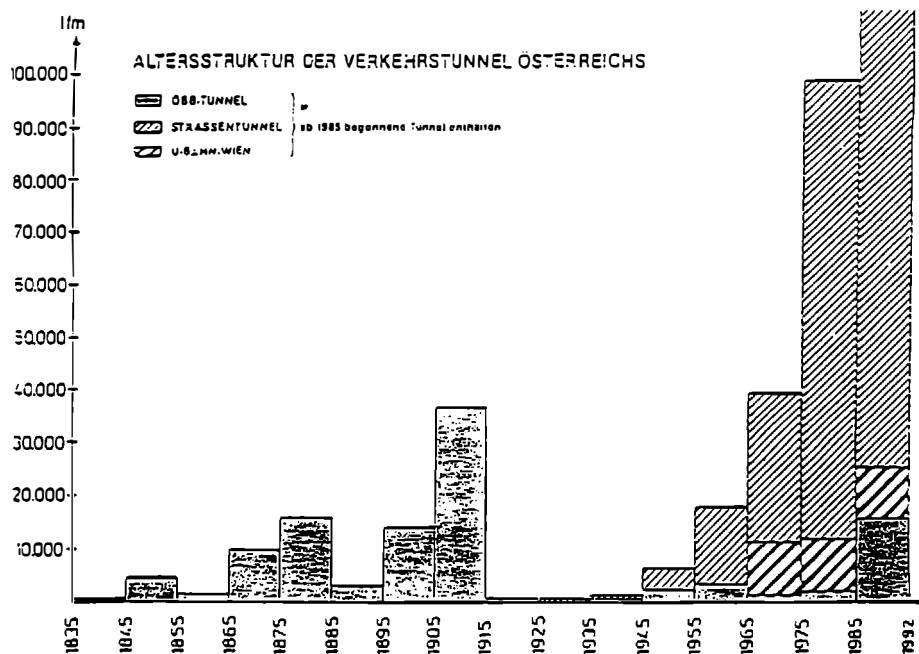
Quadratsch

Gurnau

ZEITLICHE TENDENZEN DER TYPISIERUNG

Allgemeine Parameter:

Die Straßentunnelprojekte, die noch anzuführen sind, nehmen trotz hoher Bauleistungen in noch nie dagewesenem Umfang zu.

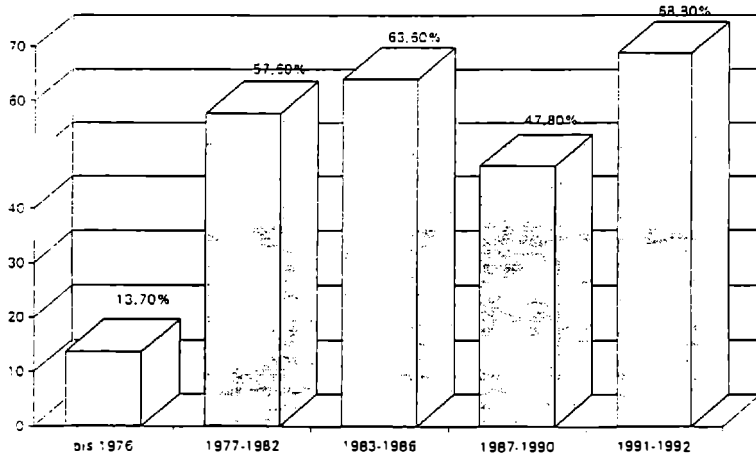


Angerer, Mikura

Abb. 3: ANGERER, MIKURA 1994 (1,4)

Die Tunnel verlagern sich von Freiland- und Hochgebirgszonen in die Siedlungsgebiete.

%-Anteil der Tunnel in Ortsumfahrungen



Quelle: Tunneldokumentation
Angerer-Mikura 1992

Abb. 4

Geologische Parameter:

Die Tunnel liegen seicht in Hangnähe oder unter geringer Überlagerung;
als Besonderheit in Österreich jedoch überwiegend im Festgestein.

Typisierungen und ihre Folgerungen:

Das BM f.WA nutzt seine Typisierungen, um möglichst wirtschaftliche Errichtungs- und Betriebsformen zu finden. So werden Querschnitt, Radien, Beleuchtung etc. mit Kosten, Unfällen und Schäden in Relation gestellt und das wirtschaftlichste System gesucht.

Was aber ergeben sich für den Geologen an Möglichkeiten der Nutzung?

Aufgaben des Geologen aus diesen neuen Tendenzen:

Durch diese neue Tendenzen sind notwendig:

Bessere, dichtere Vorauserkundung mit besonderem Augenmerk auf die Standfestigkeit

Feiner abgestimmte Ausschreibung mit gerechter Risikoverteilung, z.B. ÖNORM B 2203

Intensivere geologische Betreuung mit weitaus kürzeren Reaktionszeiten

Wissenschaftstheoretisch sorgsame Beschreibung der neuen österreichischen Tunnelbauweise

ZU DEN TRENDS

1. Oberflächennahe Tunnel nehmen zu

dadurch steigt der Anteil der Einhausungen und der offenen Bauweisen auf -> 37,5 % aller Tunnelvorhaben

Hochdruckinjektionspfähle (werden vermehrt verwendet)

geringe Überlagerung in Lockergestein und Festgestein sowie Hanglage erschweren den Ringschluß und fordern gewissenhafte geologische Projektbetreuung.

2. Sonderformen

Abzweigungen im Tunnel
zusammengeführte Tunnelröhren
Tunnelröhren in Sonderformen

nehmen stark zu und vermehren den geolog. Erkundungs- und Deutungsaufwand.

3. Tunnel im verbauten Gebiet nehmen stark zu; das Bauen in Seehöhe über 1000 m geht zurück

Die geologischen Probleme im verbauten Gebiet sind

Sprengerschütterungen

Setzungen

Tagbrüche

und diese rücken deutlich in den Vordergrund

4. Tunnel, die im Projektstadium sind, nehmen zu
und zwar von

111.176 m im Jahr 1990

(+ 8,28 %)

auf 120.369 m im Jahr 1993

um + 8,28 %

und dies obwohl bis zu 20 km Straßentunnel/Jahr gebaut werden.

Das heißt, das Wissensgebiet Tunnelbau muß weiterhin universitär betreut werden.

Geänderte Aufgaben der Universitäten durch diese neue Tendenzen und andere gesamteuropäische Entwicklungen

Die geforderte Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Universität ist notwendig, da in der EU die direkte Förderung der Unternehmen nicht möglich ist. Es kann nur durch eine Zusammenarbeit Wirtschaft-Universität die Wirtschaft in Spezialgebieten wie hier im Tunnelbau indirekt gefördert werden.

So bleibt der Wirtschaftsstandort Österreich attraktiv.

Zitierte Literatur:

- (1) ANGERER,K., MIKURA, E., KÜHTREIBER,O., 1985**
Dokumentation Österr. Straßentunnelbauten II
BMfB&T, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 260, 54 S 2 Karten,Wien
- (2) ANGERER,K., MIKURA, E., 1988**
Dokumentation österr. Straßentunnelbauten, Zusammenfassender Bericht,
Auswertung und int. Vergleich 1983-1986, BMfWA, Schriftenreihe Straßen-
forschung, Heft 375, 133 S., 2 Karten, Wien
- (3) ANGERER,K., MIKURA, E., 1990**
Dokumentation österr. Straßentunnelbauten, Zusammenfassender Bericht,
Auswertung und Internationaler Vergleich 1987 - 1989, BMfWA,
Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 398, 97 S, 2 Karten, Wien
- (4) ANGERER,K., MIKURA,E., 1993**
Dokumentation österr. Straßentunnelbauten, Bericht und EDV-Auswertung
1990-1991 BMfWA, Schriftenreihe Straßenforschung, Wien
- (5) BEER,E., BERNASCHEK, P., KRASSNITZER, M., MIKURA, E., 1993**
Vorschläge zur gew. Industrie- und Gewerbepolitik in Österreich
62 S, 13 Tab., Verlag d. ÖGB, Wien
- (6) MIKURA, E., 1987**
Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei Sprengvortrieben durch die
Quantifizierung des Einflusses der abrasiven Minerale;
Proceedings zum 6. Int. Congress of Rock Mechanics, Montreal
Herget & Vongpaisal, A.A.BALKEMA, Rotterdam

- (7) **B2203 Österr. Norm - Untertagebauarbeiten, Gründruck Entwurf v. 1.März 1994, Österr. Normungsinstitut**

AUTOR: Ing. Dr. Erik MIKURA
Universale-Bau AG
Hietzinger Kai 133
1130 Wien

Geogene Faktoren bei der Kausalanalyse dynamischer Hangprozesse

G. BUNZA

1. Einleitung

Am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, München, läuft seit 1992 ein Entwicklungsvorhaben mit dem Titel "Integrales Wildbachschutzkonzept". Es ist zusammen mit anderen Forschungsprojekten im 10-Jahres Programm "Wildbäche und Lawinen - Programm 2000" am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen angesiedelt.

Dieses Projekt soll vornehmlich dazu beitragen, Wildbachgefährdungen, die durch Massenbewegungen und Oberflächenabfluß verursacht werden können, möglichst frühzeitig zu erkennen, um dadurch eine Grundlage für Schutz- und Sanierungsmaßnahmen zu schaffen.

Um dieses Ziel jedoch überhaupt erreichen zu können, müssen zunächst die maßgeblichen Kriterien erarbeitet werden, die für das Auftreten dynamischer Hangprozesse, also von Massenbewegungen, und des Oberflächenabflusses verantwortlich sind.

Die Ursachen und Auslözungsfaktoren dynamischer Hangprozesse sind zwar weitgehend bekannt, wobei es gerade über die Einflüsse geologischer Ursachen und Abhängigkeiten aus Einzeluntersuchungen z.T. gute Unterlagen gibt. Klare Erkenntnisse über Zusammenhänge und gegenseitige Abhängigkeiten der geogenen aber auch biogenen Faktoren fehlen jedoch gerade in Wildbachgebieten bzw. Wildbachsystemen weitgehend.

In dem genannten Projekt soll deshalb dieses Wissen um die erwähnten Zusammenhänge, die für das Auftreten von Massenbewegungen und des Oberflächenabflusses verantwortlich sind, mittels der Kausalanalyse fundiert und um zahlreiche Erkenntnisse erweitert werden.

2. Maßgebliche Gründe für die Initiierung des Projekts

2.1 Naturräumliche Faktoren und Zusammenhänge

Der Alpenraum ist sowohl in stofflicher Hinsicht als auch aufgrund der tektonischen Strukturen sehr labil.

Geologie und Tektonik sind daher wie bekannt die Primärfaktoren hangdynamischer Prozesse.

Hauptauslösefaktor der Massenbewegungen ist das Wasser.

Massenbewegungen und die Wildbachtätigkeit stehen vielfach in engem Zusammenhang.

Einerseits liefern dynamische Hangprozesse u.U. bedeutende Feststoffe für die Wildbäche, andererseits bestimmt der Abfluß aus dem Einzugsgebiet den Geschiebetransport. Darüber hinaus werden über den Versickerungsanteil aus dem Oberflächenabfluß durch die Bildung von Drucken oder über den Abfluß im Wildbach durch Hangunterschneidungen Massenbewegungen oft wesentlich mitverursacht. Diese Erkenntnis, die sicherlich nicht neu ist, gewinnt jedoch infolge der zunehmenden Belastung des Alpenraumes durch Umwelteinflüsse und vielfältigen Nutzungsdruck (siehe 2.3) an Bedeutung, sodaß dieser Zusammenhang wesentlich zur Initiierung des Projektes beitrug.

2.2 Objektgefährdung

Das Gefahrenpotential eines Wildbaches setzt sich aus Abtrag und Abfluß zusammen. Beide Phänomene und das daraus resultierende mögliche Wildbacheignis sind natürliche Vorgänge, die keine "Gefahr" verursachen oder eine "Gefährdung" bedeuten. Eine solche ergibt sich erst durch die Überschneidung von menschlichen Interessensräumen mit dem Wirkungsbereich der erwähnten Prozesse.

Eine Überprüfung aller Wildbäche in den bayerischen Alpen ergab, daß insgesamt 447 Objekte unter den derzeitigen Verhältnissen durch Wildbäche gefährdet sind (OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNEREN, 1992).

Unter Berücksichtigung der unter 2.3 genannten Einflüsse gewinnt auch dieser Grund zusätzlich an Bedeutung.

2.3 Anthropogene Faktoren und zukünftige Entwicklung

Hier sind vorrangig die regional und global wirkenden Komponenten Klimaänderung und das Wald- und Bodensterben zu nennen.

Zur Zeit sind etwa 60% des bayerischen Bergwaldes durch klimawirksame Gase geschädigt. Zusätzlich haben sich die Wirbelstürme und die Schädigungen durch den Borkenkäfer in den letzten Jahren auf den Zustand der Bergwälder verheerend ausgewirkt. Als Folge der zunehmenden Immissionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen und anderer anthropogener Belastungen nehmen auch die Bodendegradationen zu.

IPPC-Daten belegen eine globale Klimaveränderung, deren eindeutige Erkennung jedoch erst in 10-20 Jahren möglich sein wird (SIEGENTHALER, 1990). Die Klimastation der Fraunhofer Gesellschaft geht jedoch davon aus, daß im Bergland zukünftig mit häufigeren Gewittern im Sommer und mit nassen Wintern zu rechnen ist.

HAEBERLI von der ETH-Zürich beschreibt die Auswirkungen der Klimaveränderungen recht deutlich. So hat im Engadin (Schafberg bei Pontresina) zwischen 1987 und 1992 die Temperatur in den dortigen Permafrostgebieten dermaßen drastisch zugenommen ($0,5^{\circ}\text{C}$), daß es bereits zu Murabgängen und Rutschungen gekommen ist, wobei vorsorglich die Bevölkerung evakuiert werden mußte. Derzeit ist die Geschwindigkeit des Temperaturanstieges zehnmal so hoch wie im vergangenen Jahrhundert (HAEBERLI, 1973, 1990). Als Folge dieser Einflüsse ist in alpinen Wildbachgebieten zukünftig mit erhöhten Oberflächenabflüssen und mit einer erhöhten Bereitschaft zu Massenbewegungen zu rechnen.

Ergänzend kommt hinzu, daß an den alpinen Raum in zunehmendem Maße anthropogene Nutzungsansprüche gestellt werden, die wiederum mit höheren Schutzansprüchen verbunden sind.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die genannten Einflüsse und Phänomene zukünftig neben der vermehrten direkten Gefährdung von Siedlungsflächen und infrastrukturell erschlossenen Räumen durch gravitative Hangbewegungen auch eine erhöhte Bereitschaft zur Bereitstellung von Feststoffen durch eben diese Prozesse in Wildbachgebieten erwarten lassen.

Eine vermehrte Schadensbildung und eine überproportionale Erhöhung des Schadenspotentials wären die Folgen.

D.h. aus dem direkten Zusammenhang zwischen den erwähnten Einflüssen und der geologisch induzierten Stabilität oder Instabilität von Hangflanken sowie den damit verbundenen höheren Schutzansprüchen wurde das Forschungsprojekt "Integrales Wildbachschutzkonzept" initiiert.

3. Das "Integrale Wildbachschutzkonzept"

3.1 Zur Wahl des Forschungsansatzes

Abtrag und Abfluß und die daraus resultierende Wildbachtätigkeit können nicht als isolierte naturräumliche Phänomene aufgefaßt werden. Sie sind in hohem Maße von Faktoren abhängig, die durch eine auf den Bach beschränkte - also linienhafte - Betrachtung nicht erkannt werden können.

Die Analyse des Abtrags- und Abflußgeschehens muß sich auf das gesamte topographische und geologische Einzugsgebiet ausdehnen, wobei systemanalytisch im Sinne von VESTER (1980) und interdisziplinär vorgegangen werden muß.

Dieser Forschungsansatz soll es ermöglichen, die Zusammenhänge zwischen den systemimmanenten Faktoren Geologie, Tektonik, Geomorphologie, Boden und Vegetation sowie den externen Faktoren wie Abfluß (Klima) und anthropogene Einflüsse, die zur erhöhten Instabilität des Systems führen, zu erkennen und zu deuten.

3.2 Grundlagen (s. Tab. 1)

Grundlagen des Projekts waren in einem ersten Schritt umfassende Erhebungen zu den das Abtrags- und Abflußgeschehen bestimmenden geo- und biogenen Faktoren. Diese Erhebungen wurden in 23 für den bayerischen Alpenraum weitgehend im Hinblick auf die Geologie, den Wildbachcharakter, das Abtragsgeschehen, die Vegetation und die Nutzung repräsentativen Wildbacheinzugsgebieten durchgeführt.

In ihnen wurden Kartierungen (Maßstab 1:5000) und Erhebungen zu Geologie, Geomorphologie (Abtragsgeschehen), Boden und Vegetation vorgenommen.

Im Bereich der Geologie erfolgten Aufschlußkartierungen, wobei zusätzlich zum Anstehenden das Subanstehende unter nur geringer Schutt- und Hanglehmbedeckung und das Vermutet Anstehende ausgeschieden wurden. Bei letzterem liegen die Gesteinsserien unter mächtigeren Lockergesteinsablagerungen, wobei jedoch nicht mit ausgedehnten lithographischen Wechseln zu rechnen ist.

Darüber hinaus wurden Berichte angefertigt, in denen besonders auf Faktoren wie Gesteinsausbildung und die tektonischen Verhältnisse eingegangen wird. Zusätzlich erfolgten noch jeweils Luftbildlineamentauswertungen.

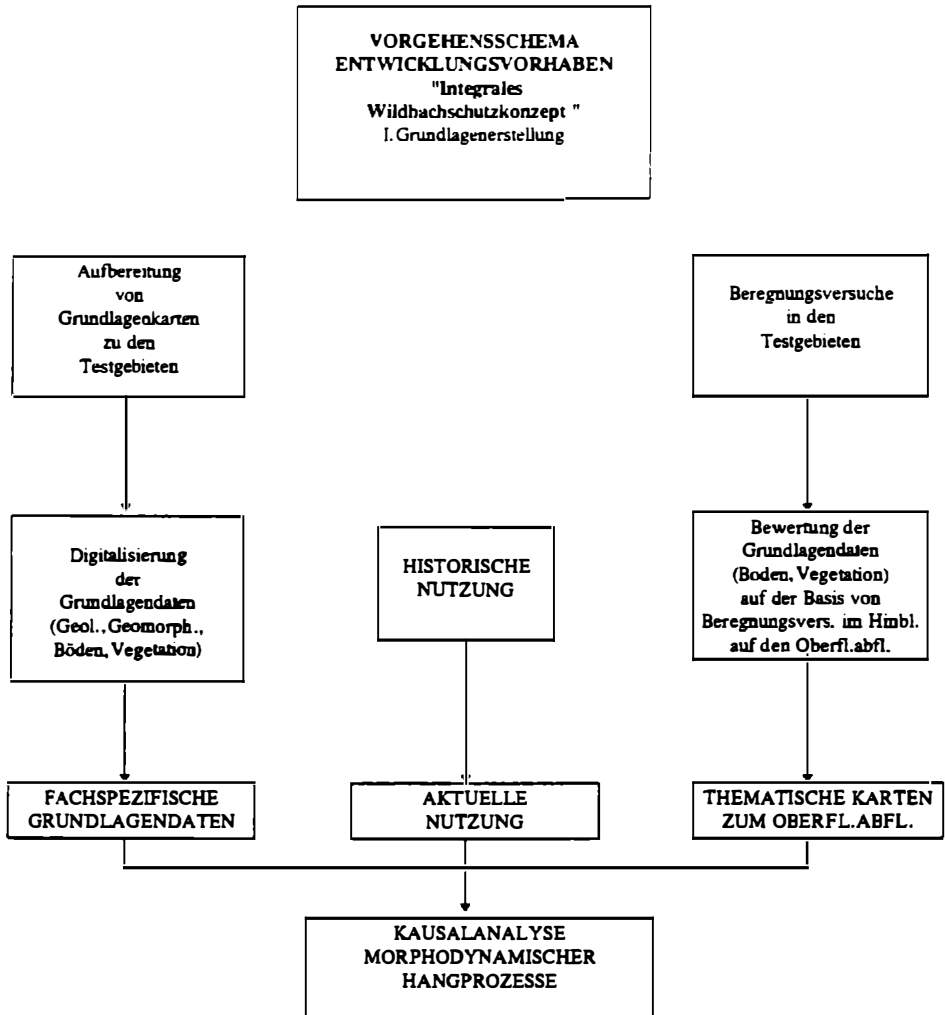
Die geologische Kartierung richtete sich nach der heutzutage üblichen stratigraphischen Gliederung. In anderen Fachbereichen wurden eigene Legenden entworfen, wobei sich diese jedoch an gebräuchliche Systematiken anlehnen.

Die Erhebungen wurden teils in Eigenregie durchgeführt, zum größeren Teil wurden sie jedoch in Werkverträgen vergeben. Sie sind in allen 23 Testgebieten abgeschlossen.

Die Karten werden digitalisiert und vielfach in einzelne Bearbeitungsebenen zerlegt, um später mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (Arc Info) auch computergestützt analytisch tätig werden zu können.

In einer zweiten Schiene werden Aufnahmen zur historischen und aktuellen Nutzung vorgenommen, die vor allem später helfen sollen, die davon ausgehenden Einflüsse auf die Morphodynamik zu klären.

Auf einer dritten Ebene wird dem Abflußverhalten der verschiedenen Standorte bei Starkregenereignissen mit Hilfe künstlicher Beregnungsversuche nachgegangen. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen liefern Erkenntnisse über abflußwirksame und abflußhemmende natürliche und anthropogene Standortfaktoren.



Tab. 1: Schema der Grundlagenerstellung, gegliedert in drei Erhebungsbereiche, als erster Schritt zur Kausalanalyse hin.

D.h. es sind einerseits Aussagen über die Menge und das zeitliche Eintreten von Oberflächenabfluß und Abtrag in Abhängigkeit von den örtlichen Geo- und Biofaktoren sowie eventueller Nutzungseinflüsse möglich, andererseits wird die Ausweisung von Flächen mit hohem Wasseraufnahmevermögen im Hinblick auf die Gefahrenabschätzung durch Massenbewegungen erleichtert.

Ergebnisse aus rund 240 Versuchen im Gebirge ermöglichen bereits jetzt, einzelne Vegetations- und Bodenkarten zum Fragenkomplex "Oberflächenabfluß und Infiltration" zu interpretieren und zu Abflußkarten zu synthetisieren.

3.3 Die Kausalanalyse (s. Tab. 2)

Der zweite Entwicklungsschritt besteht in einer dreieggliederten Kausalanalyse, der die Karten des Abtragsgeschehen zugrunde gelegt werden.

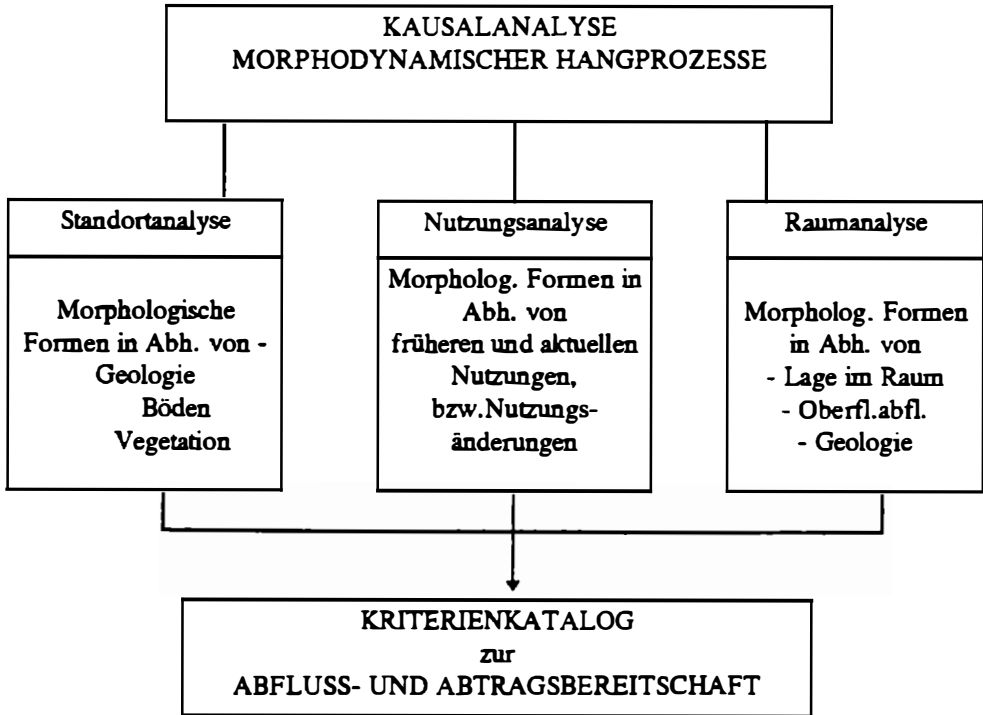
Diese Karten werden mit den jeweils entsprechenden geologischen, boden- und vegetationskundlichen sowie Nutzungs- und Abflußkarten der Testgebiete überlagert. Danach werden z.T. GIS-unterstützte Analysen in den oben angeführten Bearbeitungsebenen durchgeführt, wobei im Folgenden auf die Analyse geologischer Faktoren näher eingegangen werden soll.

Die Analyse der systemaren Prozesse unter den derzeitigen Verhältnissen ist zwingende Voraussetzung für die Beurteilung und Abschätzung des Gefahrenpotentials und der zukünftig möglichen Wildbachgefahren.

Darüber hinaus treten morphodynamische Hangprozesse nicht wahllos verstreut auf und laufen nicht willkürlich ab. Ihre Entstehungsorte sind vielmehr an gewisse Zonen oder Standorte gebunden, die von Natur aus dazu neigen, deren Instabilität zumeist aus geologischer Sicht präformiert ist.

Tab.2 zeigt das Vorgehensschema bei der Kausalanalyse morphodynamischer Hangprozesse.

VORGEHENSWEISE
ENTWICKLUNGSVORHABEN
"Integrales Wildbachschutzkonzept"
II. Kausalanalyse



Tab. 2: Der II. Entwicklungsschritt im "Integralen Wildbachschutzkonzept" beinhaltet eine dreigegliederte Kausalanalyse. Sie soll die Erstellung eines "Kriterienkataloges zur Abfluß- und Abtragsbereitschaft ermöglichen.

3.3.1 Die Standortanalyse

Bei der Standortanalyse erfolgt zunächst eine Überlagerung von rezenten und relikten Abtragsformen in den Testgebieten mit den jeweils dazugehörigen Standortbedingungen.

Für den Bereich Geologie soll dabei geklärt werden, in welchen geologischen Formationen welche Hangprozesse auftreten, welche geotechnischen Eigenschaften dafür relevant waren und wie groß der Einfluß tektonischer Strukturen ist. Im Anschluß daran erfolgt eine Auswertung nach Häufigkeiten bestimmter Standortfaktoren oder -kombinationen mit bestimmten morphologischen Formen.

Wie wichtig die Standortanalyse ist, ergibt sich neben den hinlänglich bedeutungsvollen Daten zur Tektonik und zum Trennflächengefüge auch aus den Gesteinseigenschaften. So haben beispielsweise Untersuchungen in Bändertonen von periglazialen Talverfüllungen gezeigt, daß im Bereich niedriger Wassergehalte eine geringe Wasserzunahme ausreicht, um eine negative Scherfestigkeitsveränderung herbeizuführen (BUNZA, 1992). Solche lakustrinen Ablagerungen sind in den Talverfüllungen der bayerischen Alpen weit verbreitet.

3.3.2 Die Raumanalyse

Die Durchführung einer Raumanalyse ist deshalb notwendig, da für Massenbewegungen nicht nur die standortspezifischen Eigenschaften sondern auch raumwirksame Prozesse verantwortlich sein können. Dabei kommen hier insbesondere die Ursachen Klima bzw. Abfluß und Geologie zum Tragen.

Oberflächenabfluß und Versickerungsvermögen spielen im Abtragsgeschehen eine große Rolle. So wird z.B. vielfach beobachtet, daß Rutschungen von z.T. großflächigem und tiefgründigem Ausmaß in Waldbeständen auf gut durchlässigen Böden auftreten. Ihre Entstehung ist nur z.T. auf Standortfaktoren wie die Materialeigenschaften, dagegen hauptsächlich auf zusätzliche Wassereinträge aus oberen Hangbereichen nach Starkniederschlägen und/oder bei Schneeschmelze zurückzuführen. Letztendlich führen dann hohe Bergwasserdrucke zur Anbruchsbildung (s.Abb.2).

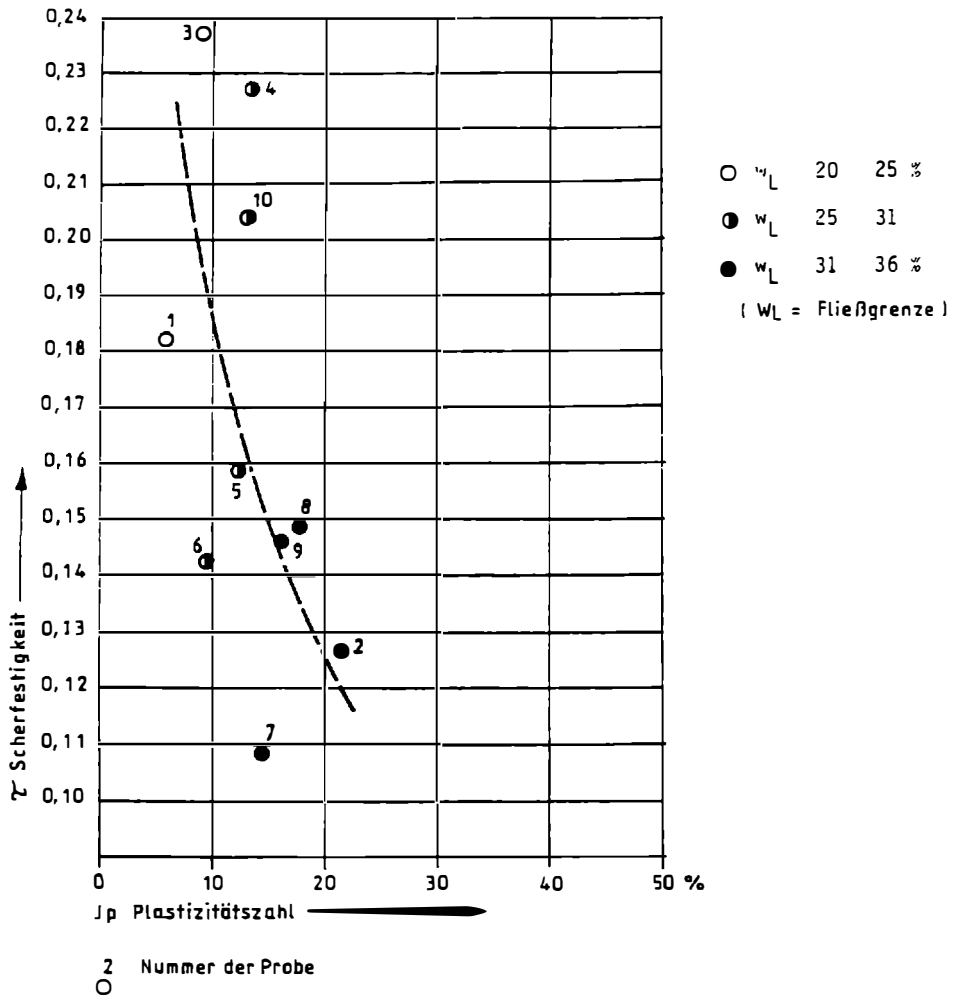


Abb. 1: Beziehungen zwischen der Plastizitätszahl und der Scherfestigkeit in Bändertonproben (n. BUNZA, 1192 S.271, Abb. 107)



Abb. 2: Zusätzliche Wassereinträge aus oberen Hangbereichen führen oftmals in unterliegenden, gut wasseraufnahmefähigen Böschungen zu Rutschungen.

Hier erweist sich insbesondere die Kenntnis um die abflußfördernden und abflußhemmenden Faktoren vor allem des Boden-Vegetationskomplexes, wie sie bei zahlreichen künstlichen Beregnungsversuchen im Gebirge erlangt und vertieft werden konnte (s.BUNZA & SCHAUER,1989), zur Klärung des Abtragsgeschehens, für die Erstellung von Abflußkarten (s.3.3) und für die Planung von Schutzkonzepten als unvergleichlich wichtig.

Bisher 240 Versuche zeigten, daß vor allem extensive Nutzungen, wie Kahlschläge, Beweidung und Tourismus, vielfach zu Profilverkürzungen, Stausohlenbildungen und bei ansteigendem Schluff- und Tongehalt zu Hydromorphierungserscheinungen führen, die erhöhte Oberflächenabflüsse bei Starkregen und in der Folge eine erhöhte Bereitschaft zu Hangbewegungen und letztlich ausgedehnte Rutschungen bedingen können (BUNZA,1992;1993).

Der Einfluß geologisch raumwirksamer Faktoren wie Tektonik und Hydrogeologie ist bekannt und wurde bei zahlreichen Untersuchungen immer wieder bestätigt (s.a. BUNZA, 1992). Insbesondere im Hinblick auf Vorbereitung und Auslösung tiefgründiger, großräumiger Massenbewegungen nehmen die mit der Tektonik verbundene Präformierung von Bewegungsbahnen und -zonen sowie die hydrogeologischen Verhältnisse im gesamten geologischen Einzugsgebiet (z.B. Karstwasser; Wasserwege entlang tektonischer Linien) herausragende Funktionen ein.

Um solche raumwirksamen Einflüsse bei den Untersuchungen zu erfassen, werden die morphologischen Formen in Hanglängenprofilen bzw. ausgewählten Transsekten im Zusammenhang mit der Tektonik, mit Lineamenten, geologischen Profilen, anderen hangdynamischen Prozessen, hydrogeologischen Erscheinungen und dem möglichen Oberflächenabfluß zu analysieren sein.

3.3.3 Die Nutzungsanalyse

Viele morphodynamischen Phänomene sind das Ergebnis aktueller und früherer Nutzungseinflüsse (s.a. VOIGHT, 1978; BUNZA, 1993).

Deshalb wird derzeit die Nutzungsanalyse bei ausgewählten Testgebieten im Kalkalpin, Flysch und Helvetikum durchgeführt. Die Analyse speziell dieses Zusammenhangs wird sich insbesondere im Hinblick auf Nutzungsänderungen in Bezug auf Präventivmaßnahmen als wichtig erweisen.

3.4 Erste Ergebnisse

Bisher wurden für sieben Testgebiete Standortanalysen im Bereich "Geologie" durchgeführt, erste Versuche zur Raumanalyse vorgenommen und für die Nutzungsanalyse Grundlagen erhoben.

Im Folgenden werden erste standortanalytische Ergebnisse aus je einem Einzugsgebiet im Flysch und je einem im Kalkalpin vorgestellt.

In der Flyschzone wurde das Testgebiet "Grasgehren" in den Allgäuer Alpen am Riedbergpaß untersucht. Es ist ca. 1,8 km² groß und nimmt ein zwischen 1430m und 1786m ü. NN gelegenes Kar mit einem ausgedehnten Hochmoorkomplex und der Grasgehren Alpe in seinem Zentrum ein. Das Gebiet wird almwirtschaftlich und touristisch stark genutzt, der Bewaldungsanteil liegt bei 15%.

Der südliche Bereich wird von Gesteinen der Feuerstätter Zone aufgebaut. Vorherrschend

sind dabei Serien der Junghansen Schichten, die in Piesenkopf Fazies mit Sandsteinen auftreten. Untergeordnet finden sich Feuerstätter Sandstein, Bolgenkonglomerat und Rote Gschlif Schichten (s.Abb.3).

Die meist vielfach gefalteten Serien der Feuerstätter Zone streichen allgemein W bis E sowie SW bis NE und fallen teilweise nach N bis NW aber auch S bis SE ein. Abgesehen von den Sandsteinen sind die übrigen Gesteinsserien als Grundwasserstauer wirksam, sodaß nahezu das gesamte Gebiet deutlich vernäßt ist. Oberflächliches Hangkriechen kann vielerorts beobachtet werden.

Die Deckengrenze zum nördlich folgenden, tektonisch hangenden rhenodanubischen Flysch steht nahezu senkrecht. An der Basis stehen Ofterschwanger Schichten an, darüber folgt Reiselberger Sandstein (s.Abb.3). Lokalmoräne findet sich häufig, sie ist jedoch oft von jüngerem Schutt überlagert.

Rein oberflächlich betrachtet vermittelt das Gebiet einen ruhigen, sanften, weitgehend ungestörten Charakter. Bei der Gebietsaufnahme fanden sich jedoch zahlreiche Abtragsformen, sowohl im Fest- als auch im Lockergestein. Die Anbrüche weisen unterschiedliche Größen, zwischen ca. 50m^2 und 1000m^2 auf; sie treten ausschließlich auf Hängen mit einem Neigungsbereich um 30° auf. Relikte Formen herrschen gegenüber rezenten vor.

Hervorzuheben sind im Festgestein Sackungen sowie ein Talzuschubbereich, im Lockergestein treten hauptsächlich Rotationsrutschungen sowie kleinere Erd- und Schuttströme auf (s. Abb.3).

Zur Standortanalyse (s.a.ZIEGLER,1994) werden folgende Erhebungen durchgeführt:



- a) Die prozentuale Verteilung von pseudofesten Gesteinen gegenüber festen gibt Auskunft, wie groß die Bereiche sind, in denen aufgrund der Gesteinseigenschaften mit natürlicher, erhöhter Labilität der Hänge zu rechnen ist. Im Falle des Testgebietes Grasgehren trifft dies für 96% der Fläche zu.
- b) Zur Beurteilung der in den jeweiligen Gebieten vorkommenden Gesteinsformationen gegenüber ihrer Anfälligkeit für Massenbewegungen werden Listen mit Daten zur lithologischen Ausbildung und zu den wichtigsten geotechnischen Eigenschaften erhoben. Diese Daten entstammen großteils den Geländeprotokollen, werden jedoch noch durch Literaturlauswertungen und aus Erhebungen in anderen Projekten und Gutachten ergänzt. Sie werden ferner den erhobenen Abtragsprozessen in den verschiedenen Gesteinsserien gegenübergestellt. Dadurch kann festgestellt werden, ob in einer bestimmten Formation oder für ein Gestein die Neigung zu einem bevorzugten Abtragsprozess besteht.
- c) In einem weiteren Schritt werden die kartierten Abtragsprozesse der Tektonik gegenübergestellt; dabei wird versucht, Vorkommen und Art der Massenbewegungen durch die tektonischen Verhältnisse zu deuten. Auch hier werden die Daten den Geländeprotokollen entnommen.

Eine dementsprechende Auswertung für das Testgebiet Grasgehren erbrachte ein bevorzugtes Auftreten von Sackungen im Reiselberger Sandstein.



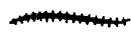


VEREINFACHTE GEOTECHNISCHE KARTE DES GRASGEHREN- KESSELS, OBERALLGÄU

Legende

Abtragsformen

-   Rotationsanbruch tief (rez./rel.)
-  Rotationsanbr.
flach (relikt)
-  Translationsanbruch (rez.)
-   nicht näher def. Anbruch
(rezent;relikt)
-  Sackung (aktiv)
-   Talzuschub (akt.;pot.akt.)
-  Erd- u. Schuttstrom
(pot. aktiv)
-  Kriech-u./od. Fließ-
bewegung, flach (pot. akt.)
-  Kriech-u./od. Fließ-
körper, flach (pot. akt.)
-   Rutschmasse
-   Rutschbuckel (rez.,relikt)
-   Uferanbruch (rez.,relikt)
-  Schnee- u. Lawinschurf
-  Kar
-  Quellaustritt
-  Nackensee; abflußlose Senke

Geologie

-  Lockergestein, undiff.
-  Hang-, Blockschutt
-  Lokalmoränenwall
- Feuerstätter Zone**
- Fo Junghansen Schichten
- Fb Bolgenkonglomerat
- Fs Feuerstätter Sandstein
- Rhenodanubische Flysch Zone**
- fp Piesenkopf Serie
- fs Reiselsberger Sandstein
- fo Ofterschwanger Sch.
-  Deckengrenze
(vermutet;nachgewiesen)
-  Lineament
(undeutlich; deutlich)

(Kartengrundlagen siehe Schriftenverzeichnis)

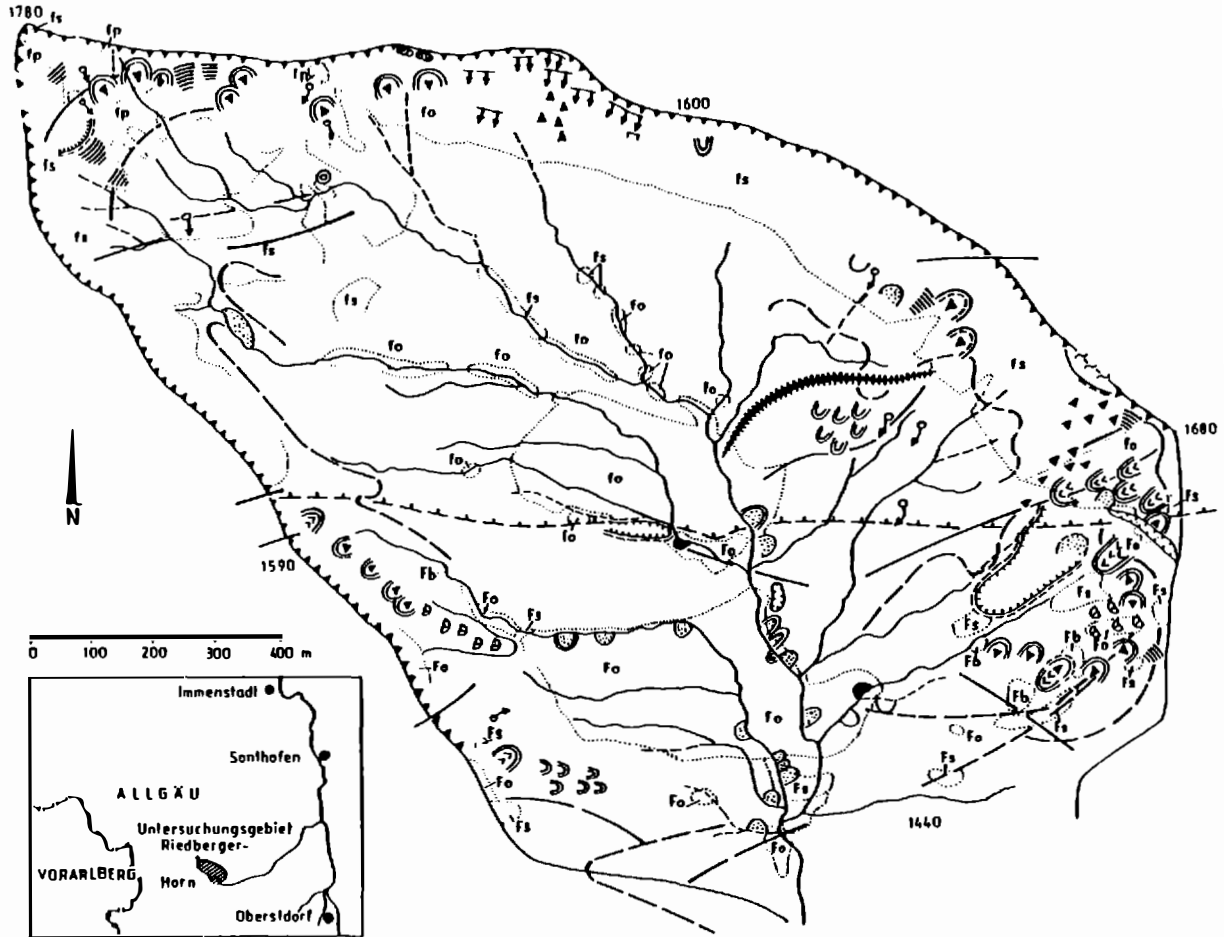


Abb. 3: Geotechnische Karte des Grasgehren Kessels am Riedbergaß (Oberallgäu).

Dies dürfte ursächlich nur bedingt mit seinen Eigenschaften zusammenhängen; vielmehr wird ihr Zustandekommen durch die Lagerung des Sandsteins begünstigt - die Bewegungen verlaufen parallel zum Streichen und Fallen (s. Tab. 3)

Die Luftbildlineamentauswertung zeigt darüber hinaus, daß viele Prozesse auch von Lineamenten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit beeinflußt werden. So kann dies für zwei Sackungen und zwei Erdströme als sicher gelten (s. Tab. 3).

Für etliche Prozesse dürften Klufflächen verantwortlich sein (s. Tab. 3). Dabei ist es sicherlich ein Manko, daß keine Aufnahmen des Trennflächengefüges gemacht werden konnten. Dies lag an der für Geländeerhebungen zu kurz bemessenen Zeitspanne, wobei erschwerend hinzukam, daß für die Mehrzahl der Testgebiete an sich keine ausreichend genauen geologischen Unterlagen zur Verfügung standen.

Im Kalkalpin wurde das 1,7 km² große Gebiet des Scheibengrabens südwestlich von Bad Wiessee am Tegernsee untersucht.

Das Gebiet gliedert sich in zwei tektonische Einheiten, die unterlagernde Allgäu Decke und die über diese überschobene Lechtal Decke (s. Abb. 4). Innerhalb der Allgäu Decke bestehen deckeninterne Überschiebungen, die Lechtal Decke wird vom Großen Muldenzug aufgebaut und erreicht im Fockenstein als höchsten Punkt des Einzugsgebietes (1564m über NN) eine markante Erhebung. Ca. 1,5 km nördlich des Gebietes streicht die Überschiebung Kalkalpin/Flysch aus.
























Die Gesteine im Untersuchungsgebiet gehören der Tiroler Fazies an, wobei die einzelnen Schichtglieder relativ geringmächtig sind.

Auch im Scheibengraben wurden die vorhin beschriebenen Erhebungen zur Standortanalyse durchgeführt (s. ALTFELD, 1993). Für den Bereich "Lockergesteine i.a." fällt auf, daß insbesondere rotationsförmige Anbrüche ausnahmslos an quartäre Ablagerungen oder an autochthone, tiefgründige Verwitterungsmassen aus veränderlichfesten Gesteinen gebunden sind (s. Abb. 5).

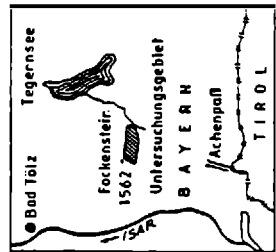
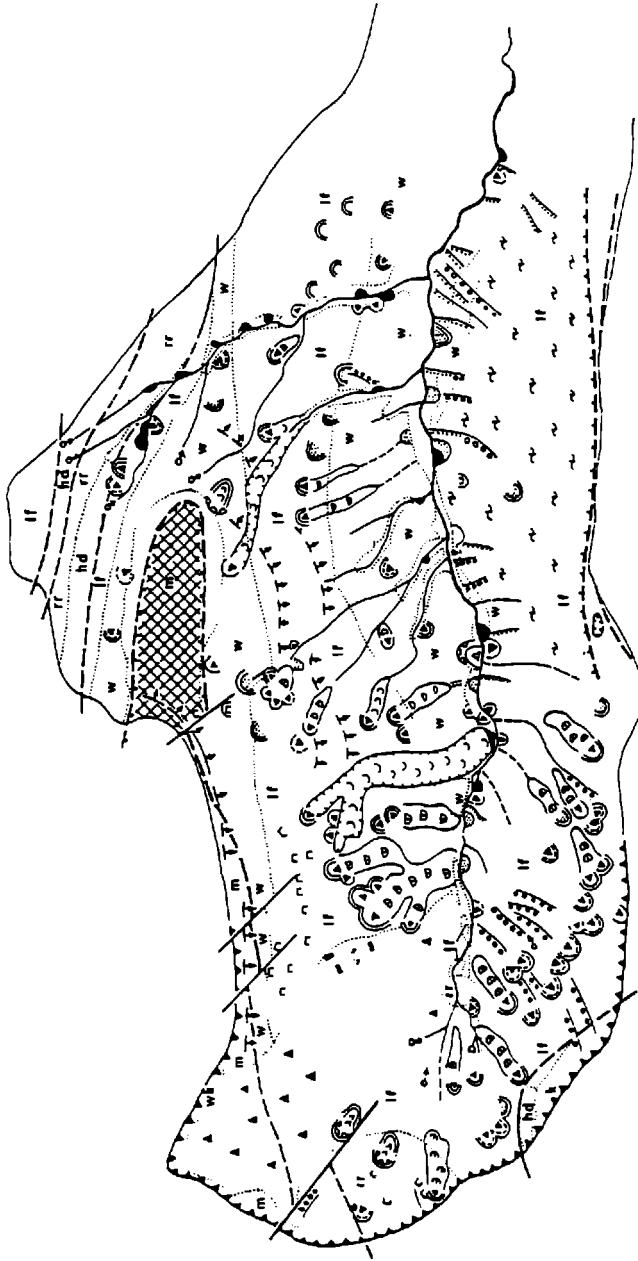
Anbruchsformen	Anbruch II Str. + Fallen mit dem Hang	Anbruch II Streichen + Fallen gegen den Hang	Anbruch senkr. zum Streichen	schräg zum Str.	ohne Schlicht- angabe	Anbr. im Str. eines Lineaments
2 Rotationsanbr. tiefgr. relik			1 (300/90)			1
1 Rotationsanbr. flach relik						1
1 Transl.anbr. rezent						1
19 Transl.anbr. relik	1 (150/90)	2 (015/70, 340/20)	4 (200/55, 325/85, 355/55, 170/55)	1 (000/45)		11
1 Transl.bod.anbr. rez.						1
3 Transl.bod.anbr. rel.	1 (205/20)				2 (am Ufer)	
3 n.n. def.b. Anbr. rez.				1 (150/70)		2
2 n.n. def.b. Anbr. relik					2 (am Ufer)	
7 Sackungen akt.	5 (210/40, 190/70, 185,45)					2 (080)
5 Kriechbeweg. fl. pot. akt.					5 (in der Fallinie)	
1 Kriechgeb. fl. pot. akt.					1 (in der Fallinie)	
3 Erd./Schuttstr. pot. aktiv					1 (in der Fallinie)	2 = 1 zw. 2 Lineam. (100), 1 (025)
1 Talzus Schub verm.aktiv			1 (145/30)			
10 Quellaustritte ständig						8 2 = 1(050), 1(080)

Tab. 3: Grasgehren Kessel Tektonik

Legende

Abtragsformen	Geologie
 Rotationsanbr. tief (rez./rel.)	 Lockergest. undiff.
 Rotationsanbr. flach (rez./rel.)	 Hang-, Blockschutt
 Translationsanbr. (rez./rel.)	 subalpiner Karst
 nicht näher def. Anbruch (rez./rel.)	w Aptychen-/Ammerg. Sch.
 Nischenanbr. aus Felsgleitg. (rez./rel.)	If Allgäu Sch.
 Sackung (aktiv)	k Kössener Sch., undiff.
 Talzuschub (verm.; pot. akt.)	hd Hauptdolomit
 Erd- u. Schuttstrom (pot. akt.)	r Raibler Sch., undiff.
 Kriech- u. / od. Fließbewegung, tief (pot. akt.)	rr Raibler Rauwacke
 Kriech- u. / od. Fließkörper, flach (pot. akt.)	wk Wettersteinkalk
 Rutschmasse	m Alp. Muschelkalk., undiff.
 Rutschbuckel (rez./rel.)	
 Uferanbruch (rez./rel.)	 Störungen (vermutet; nachgewiesen)
 Rinnenanbruch, flach (rez./rel.)	 Überschiebungen (undeutlich; deutlich)
 Schnee- u. Lawinschurf	
 Kar	
 Quellaustritt	
 Nackensee; abflußlose Senke	

(Kartengrundlagen ALTFELD, 1992; siehe Schriftenverzeichnis)



Scheibengraben - Lockergesteine

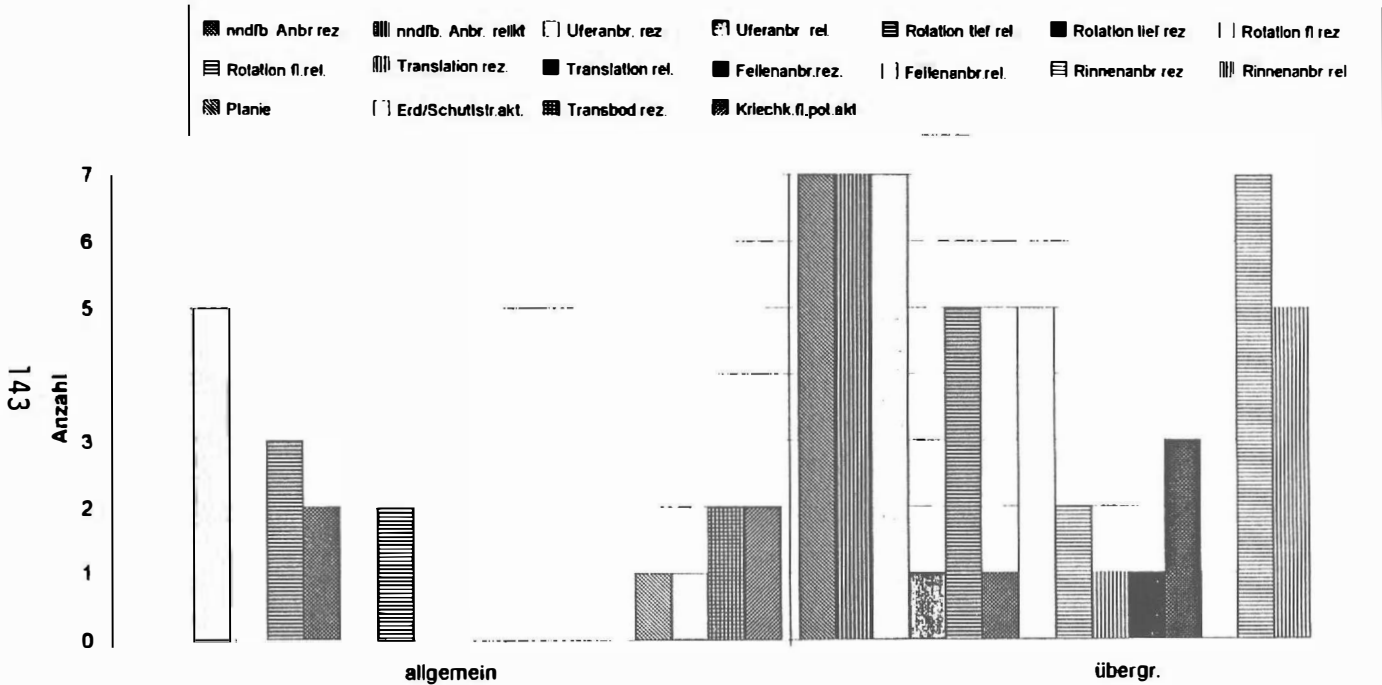


Abb. 5: Anzahl des Auftretens von Hangbewegungen in quartären Lockermassen (allgemein) und tiefgründigem Verwitterungsschutt veränderlichfester Gesteine (übergr.) im Scheibengraben bei Bad Wiessee.

Für den von der Neuhütten Alm kommenden Erd- und Schuttstrom (s. Abb. 4) sind neben den Eigenschaften einer mächtigen Verwitterungsschuttdecke aus Allgäu Schichten das hangparallele Einfallen dieser im Untergrund verantwortlich. Eine derartige präformierte Gleitfläche weist geringe Reibungswiderstände auf, wodurch auch die relativ hohe Geschwindigkeit des Erd- und Schuttstromes, zusätzlich zum verantwortlichen Wassergehalt, leichter erklärbar wird (s.a. HERZOG, 1990). Am nördlich gelegenen Hang konnten großräumige Sackungsbewegungen im Bereich des Verwitterungsschuttes aus Allgäu- und Ammergauer Schichten beobachtet werden (s. Abb. 4). Bis zu 7 m mächtige Schollen bewegen sich hier großflächig hangabwärts. Die Sackungsbereiche befinden sich großteils unterhalb des verkarsteten Muschelkalkkomplexes, woher Karstwasser in beachtlichen Mengen und in großer Kontinuität in unterliegende Hänge geschüttet wird. Im Festgestein sind als hangdynamische Prozesse hauptsächlich Bergzerreibungen und Talzuschübe erwähnenswert (s. Abb. 6).

Bezüglich der Bergzerreibung mit anschließendem, sackendem Talzuschub innerhalb der Allgäu Schichten entlang der südlichen Gebietsgrenze kann hier angenommen werden, daß die Scherfläche einer durchgescherten out-of-syncline die Bewegungsbahn im Oberhang bildet. In Richtung Scheiben Graben geht dann die Bewegung in einen sackenden Talzuschub über (s. Abb.4; ALTFELD,1992). Eine Ursache für die Bewegung ist also in tektonischen Vorgängen zu suchen, durch welche eine hangparallel einfallende Scherfläche und damit eine präformierte Gleitfläche im Oberhang gebildet wurde. Zusätzlich fällt auf, daß im Hang keine Quellen oder Rinnen auftreten, diese finden sich erst in unteren Bereichen, wo Sperrausdehnungen zu vermuten sind. Das bedeutet, daß das Bergwasser Motor der Bewegung sein dürfte.

Am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes ist eine nordgerichtete Bergzerreibung in der Raibler Rauhwacke ausgewiesen (s.Abb.4). Hier sind in erster Linie die starke Auslaugung und Klüftigkeit des Gesteins als auslösende Faktoren zu nennen. Daneben spielt auch das hohe Karstwasserangebot aus dem tektonisch überlagernden Muschelkalk eine große Rolle sowie ein möglicher Zusammenhang mit einer Bergzerreibung im Gipfel- und Ostgrat des Fockensteins.

Scheibengraben - Festgesteine

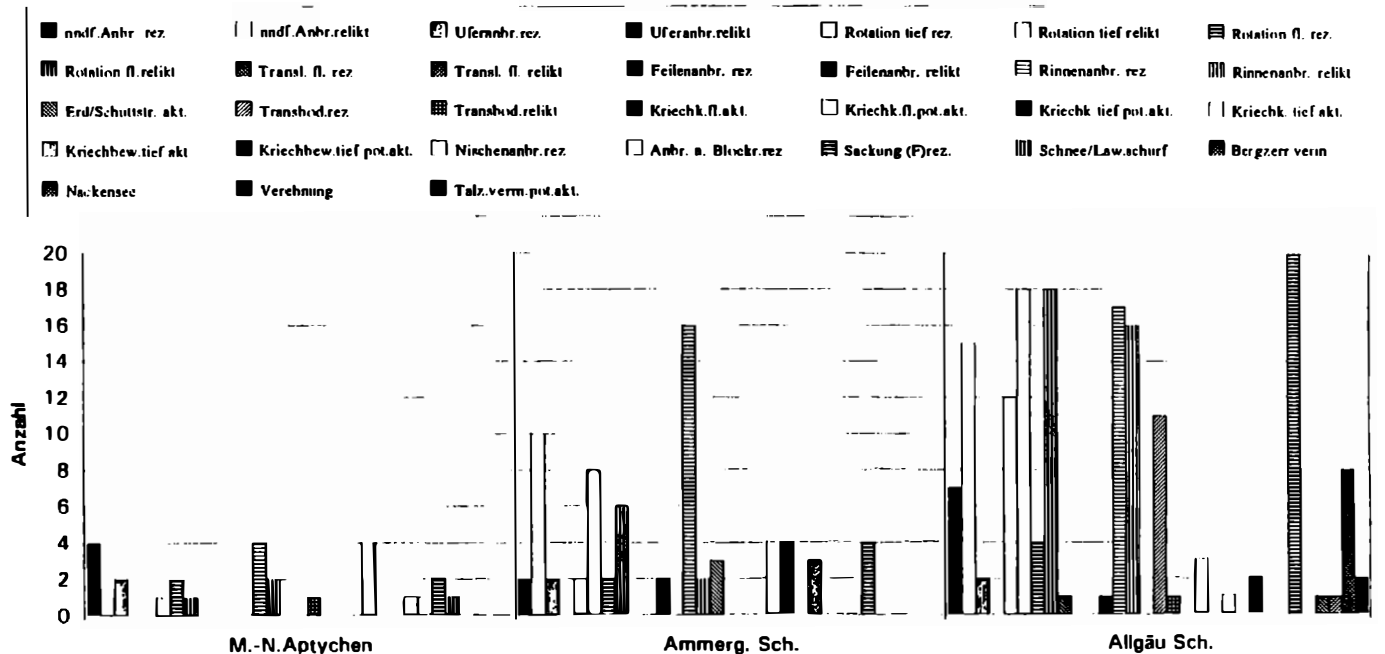


Abb. 6: Anzahl des Auftretens von Abtragsprozessen in den Festgesteinen des Scheibengrabens bei Bad Wiessee (Ausschnitt).

Letztere betrifft den Muschelkalk und den Wettersteinkalk der Lechtaldecke und ist wie jene in den Raibler Rauhacken nordgerichtet. Tektonisch bedingt ist hier die Unterlagerung der kompetenten Kalke durch inkompetente veränderlichste Kalk-/Mergelwechselfolgen der Ammergauer Schichten, welche sicherlich ein Ursachenfaktor für die Bergzerreissung ist (ALTFELD, 1993).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß durch die bisherigen Analysen in sieben Testgebieten der bedeutende Einfluß der Geologie, insbesondere in struktureller Hinsicht (Tektonik), auf das Abtragsgeschehen bestätigt wurde. So wie ja in einigen Gebieten der Einfluß der Überschiebungs- und Lateralverschiebungstektonik groß ist, ist in anderen Testgebieten die Wirkung der Lagerungsverhältnisse signifikant. Vor allem kommt es im Bereich der alpinen Überschiebungen immer wieder zur Überlagerung veränderlichster Gesteine durch kompetente Gesteine. Dieses weit verbreitete Phänomen löst oftmals bedeutende und tiefgreifende Abtragsformen aus.

Auf der anderen Seite haben z.B. hangparalleles oder hangeinwärtiges Einfallen der Schichten oder tektonische Zerrüttungszonen im Bereich von Störungen große Bedeutung, ebenso wie Klüfte oder Kluftsysteme.

3.5 Bearbeitungsprobleme

Für eine EDV-gestützte Standort- und Raumanalyse ergeben sich nach den bisherigen Erfahrungen aus diesem Projekt vor allem für die Geologie u.a. folgende bedeutsame Probleme:

Das Einfallen von Schichtflächen, Klüften und Störungsflächen ist ein dreidimensionales Phänomen, das nicht auf GIS-Ebene dargestellt werden kann. Dies bedeutet aber, daß für die Analyse u.U. entscheidende Informationen nicht durch die EDV zur Verfügung gestellt werden können. Dies wiederum bedeutet, daß der Bezug Abtrag/Geologie nur zu einem geringen Teil EDV-gestützt hergestellt werden kann dreidimensionale Informationen müssen händisch analysiert werden.

Der Versuch von GIS-Bearbeitern, die Auswertung der Lagerungsverhältnisse mit den Abtragsprozessen durch ein eigenens "layer" darzustellen, hat ein Handicap: während bodenkundliche und vegetationskundliche Kartierungen flächendeckend sind, sind geologische Kartierungen Aufschlußkartierungen - sie zeichnen sich also durch mehr oder weniger "große Informationslücken" aus, die durch die Interpretation des Bearbeiters ausgefüllt werden müssen. Diese Informationslücken werden im Fall der Lagerungsverhältnisse umso bedeutender, je komplizierter die tektonischen Strukturen sind und können nur durch Modellvorstellungen ausgefüllt werden. Ob die so produzierten Informationen dann aber tatsächlich noch der natürlichen Situation entsprechen, sei dahingestellt.

Weiterhin problematisch sind Anbrüche, die über Grenzen von Gesteinseinheiten hinausgehen. Sie stören die Statistik z.T. in erheblichem Maße, denn hier stellt sich die Frage, ob die Schichtgrenze der auslösende Moment des Anbruchs war, oder ob sich der Anbruch in der hangabwärtigen Einheit entwickelt hat inden er sich lediglich retrograd in die höhere Einheit eingeschnitten hat. Zur Klärung dieses Problems muß daher auf die Kenntnis des Bearbeiters zurückgegriffen werden, wobei die Lösung dieser Fragen, wie sich gezeigt hat, weitgehend möglich ist.

4 Weiteres Vorgehen

Standortanalytisch wird der aufgezeigte Weg weiter beschritten, raumanalytisch müssen die angerissenen Probleme und Zusammenhänge insbesondere zur Tektonik und zur Hydrogeologie weiter verfolgt werden. Dabei wird zusätzlich noch auf die synthetisierten Abflußkarten eingegangen werden.

Mit Hilfe der Analysen weiterer Testgebiete oder bestimmter Gruppen von Prozessen sowie der Auswertung der Boden- und Vegetationsverhältnisse und der Nutzungskarten soll dann letztendlich die Erstellung eines Kataloges ermöglicht werden, der die typischen und maßgeblichen Kriterien und Faktorenkombinationen beinhalten soll, die für das Auftreten bestimmter hangdynamischer Prozesse verantwortlich sind (s. Tab.4).

**VORGEHENSSCHEMA
ENTWICKLUNGSVORHABEN**
"Integrales
Wildbachschutzkonzept"
III. Grundlagen für die Praxis

KRITERIENKATALOG
zur
**ABTRAGS- UND
ABFLUSSBEREITSCHAFT**



GEFÄHRDUNGSKARTEN
(ausgewählter Testgebiete)



MASSNAHMENKARTEN
(ausgewählter Testgebiete)

Tab. 4: Der dritte Entwicklungsschritt im "Integralen Wildbachschutzkonzept"

Dieses Wissen um die Kriterien für das Auftreten bestimmter Abtragsprozesse wird letztlich die Ansprache der jeweiligen Gefahrenart, die zur Ausweisung einer Gefahrenzone führt, ermöglichen. D.h. es soll ermöglicht werden, Karten zu erstellen, die die Zonen aktueller und potentieller Instabilität aufzeigen.

Dies soll letztlich auch für andere Wildbachgebiete möglich sein, um dort die Beurteilung des Gefahrenpotentials mit Hilfe des genannten Kriterienkataloges schneller und besser als bisher zu ermöglichen.

Die Gefährdungskarten werden dann die Grundlage für die Entwicklung ursachenbezogener und funktionsgerechter Schutzmaßnahmen, darstellen (s. Tab.4).

Inwieweit bei diesem weiteren Vorgehen eine intensivere GIS-Bearbeitung möglich sein wird, wird sich zeigen. Derzeit ist jedoch klar, daß einer computergestützten Auswertung insbesondere in der Geologie beachtliche Grenzen gesetzt sind und die meisten Zusammenhänge händisch erarbeitet werden müssen. Und ohne die entsprechenden Geländeerhebungen wird auch zukünftig eine Einschätzung der Hänge in alpinen Wildbacheinzugsgebieten auf ihre Neigung zu dynamischen Prozessen nicht möglich sein. Vielleicht gelingt es jedoch mit Hilfe der hier dargestellten GIS-unterstützten Untersuchungen, diese Neigung besser einzuschätzen.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

ALTFELD, O.(1992): Bericht zur geologischen und geomorphologischen Kartierung im Einzugsgebiet des Scheibengraben bei Bad Wiessee am Tegernsee.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft.

ALTFELD, O.(1993): Standortanalyse zum Abtragsgeschehen im Scheibengraben bei Bad Wiessee am Tegernsee.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft.

- BUNZA, G.(1992): Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde.
-Forschungsber.d.Dt. Alpenvereins.Bd.5,359 S., München.
- BUNZA, G.(1992): Die Erfassung des aktuellen Abtragsgeschehens mit Hilfe geomorphologischer Kartierungen zur Beurteilung von potentiellen Gefahrenräumen.
-Int.Symp.Interpraevent 1992- Bern, Tagungspubl.,Bd.6, S.213-236.
- BUNZA,G.& SCHAUER,TH.(1989): Der Einfluß von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der bayerischen Alpen.
In: Grundlagen des Wasserbaus. Aktuelle Beiträge. Info-Ber. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, S. 127-150, München.
- HAEBERLI,W.(1973): Die Basistemperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen.
- Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glaziologie,IX,S.221-227.
- HAEBERLI,W.(1990): Permafrost. Int. Fachtagung. 11.Mai 1990 in Zürich
Mitt.Nr. 108,1990, der VAW der ETH-Zürich, 71-80.
- HERZOG,A.(1990): Geologisch geotechnische Untersuchungen des Gebietes Neuhüttenalm/Fockenstein.
Unveröff. Dipl.Arb., Lehrst. f. Angew. Geol. d. Univ. Erlangen Nürnberg.
- LÖHMANNSRÖBEN,R.(1992): Die Bedeutung der Bodenkartierung für die Beurteilung morpho- und hydrodynamischer Prozesse in Wildbacheinzugsgebieten.
- Int.Symp.Interpraevent 1992 - Bern, Tagungspubl.,Bd.6, S. 237 - 250.

OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMIN. D. INNEREN (1992):

Wildbäche, Lawinen Programm 2000. Wasserwirtschaft in Bayern, H.24, München.

SIEGENTHALER,U.(1990): Klimaszenarien aufgrund des veränderten Treibhauseffektes. Int. Fachtagung, 11.Mai 1990 in Zürich; Mitt.Nr.108,1990, der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich, 7-19.

THOM,P.&SIMET,CH.(1990):Bericht zur geologischen Kartierung im Wildbacheinzugsgebiet "Grasgehrenkessel".

- Unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

VESTER,F.(1980): Neuland des Denkens. Hanser (Erstausg.), München; bzw. Deutscher Taschenbuchverlag (Lizenzausg. 1984), München.

VOIGHT,B.(1978): Rockslides and Avalanches, 1 Natural Phenomena

- (Developments in Geotechnical Engineering 14 A).

Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam Oxford New York.

ZIEGLER,R.(1994): Standortanalyse zum Abtragungsgeschehen im "Grasgehrenkessel" am Riedbergpaß (Oberallgäu).

- Unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

Kartengrundlagen:

ALTFELD, O. (1992): Geol. und geomorph. Kartierung Scheibengraben bei Bad Wiessee 1:5000.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft.

DIETMANN, TH. (1991): Geomorph. Kartierung Grasgehren (Riedbergpaß) 1:5000.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

**THOM, P. & SIMET, CH. (1990): Geolog. Kartierung im Maßstab 1:5000 im
Wildbacheinzugsgebiet " Grasgehrenkessel "
- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft**

**Autor: Univ.-Doz. Dr. Günther Bunza
Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67
0636 München**

Hydrogeologische Untersuchungen zur Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten in der Oststeiermark (Gemeinde Hartberg und Hartberg-Umgebung)

H. HÄUSLER

Inhalt

Zusammenfassung

- 1.0 Einleitung und Problemstellung**
- 2.0 Kurzcharakterisierung der Schichtfolge und Tektonik**
 - 2.1 Kristallin des Ringkogelgebietes**
 - 2.2 Tertiär und Quartär südlich von Hartberg**
 - 2.3 Junge Bruchtektonik**
- 3.0 Naturraumpotentialkarten 1:10.000**
 - 3.1 Wasserdurchlässigkeit des Bodens**
 - 3.2 Erosionsgefahr, Rutschungs- und Überschwemmungsgefährdung**
 - 3.3 Bohrprofilkarte**
 - 3.4 Kluft-, Störungs-, Lineament und Talnetzanalyse**
- 4.0 Hydrogeologisch-geohydrologisches Wirkungsgefüge**
- 5.0 Klassifizierung von Wasserspenden**
 - 5.1 Charakterisierung nach der Wasserhärte**
 - 5.2 Charakterisierung von Quellen nach der Schwankungsziffer der Schüttung**
- 6.0 Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes als Grundlage für die Rekonstruktion vermutlicher Infiltrationsgebiete**
- 7.0 Hydrogeologische Modelle**
- 8.0 Aktuelle anthropogene Gefährdung**
- 9.0 Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten**
- 10.0 Literatur**

Zusammenfassung

Für die generelle Abgrenzung von Schongebieten im Raum Hartberg-Umgebung (Oststeiermark) wurde ein kombiniertes Untersuchungs- und Auswerteprogramm durchgeführt, das eine geologisch-geomorphologische Geländekartierung im Maßstab 1 : 5.000 (geogenes Risikopotential) inklusive Flachbohrungen und geoelektrischer Tiefensondierungen nach der WENNER-Methode, lithologische Untersuchungen und Bestimmung von Durchlässigkeitsbeiwerten, die Auswertung von Strukturdaten (Gelände, Luft- und Satellitenbilder) der hydrogeologisch relevanten Bruchzonen, eine Quellkartierung und Brunnenaufnahme, hydrochemische Untersuchungen, die Ermittlung der Jahresganglinien von 27 ausgewählten Brunnen (Schüttung, Elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Wasser-Temperatur, Sauerstoff-Isotope), sowie die Ermittlung von Tritium- und C14-Daten beinhaltet. Die Grundlage für die Erstellung der hydrogeologischen Modelle waren 9 Naturraumpotentialkarten im Maßstab 1 : 10.000 und betrafen:

Wasserdurchlässigkeit des Bodens

Erosionsgefahr, Rutschungs- und Überschwemmungsgefährdung

Bohrprofilkarte

Abgedeckte geologische Karte

Kluft-, Störungs-, Lineament und Talnetzanalyse

Jahresganglinien der Wassertemperatur, Schüttung, Elektrischen Leitfähigkeit, Sauerstoffisotopen und des pH-Wertes

Rekonstruktion der mittleren Höhe der Einzugsgebiete aufgrund der Sauerstoffisotopen als Grundlage einer Plausibilitätsprüfung für mögliche Infiltrationsgebiete

Synoptische Darstellung der vermutlichen Infiltrationsgebiete unter Berücksichtigung der orographischen und hydrogeologischen Einzugsgebiete, der Jahresganglinien der Wassertemperatur, Schüttung und Sauerstoffisotopen sowie der Hydrochemie

Provisorische Übersichtskarte der anthropogenen Beeinflussung

Aus den synoptischen Auswertungen der thematischen Karten wurden folgende 6 verschiedene hydrogeologische Modelle erstellt:

1. Das hydrogeologische Modell für die Folgequellen aus dem Kristallin des Ringkogelgebietes dürfte prinzipiell aus zwei sich überlagernden Mechanismen eines Basisabflusses mit periodischem Zwischenabfluß bestehen.
- 2.a. Das hydrogeologische Modell für die oberflächennahen und grundgebirgsnahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen, Wässer ist noch sehr unklar. Möglicherweise trifft ein kombiniertes Modell aus Kluft- und Verwerfungsquelle zu.
- 2.b. Das hydrogeologische Modell für die grundgebirgsnahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen Arteser läßt sich generell mit der, über dem Kristallin gegen Süden abfallenden, tertiären Schichtfolge erklären.
3. Das hydrogeologische Modell für das oberflächennahe, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundene, erbohrte Wasser des Brunnen 47 wird vermutlich stark durch die junge Bruchtektonik beeinflusst.
- 4.a. Das hydrogeologische Modell für die oberflächennahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen, erbohrten Wässer beinhaltet sandige und karbonatische Serien als Aquifer.
- 4.b. Für die oberflächennahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen Wallerquellen trifft vermutlich ein kombiniertes hydrogeologisches Modell zu.
5. Das hydrogeologische Modell für die, im Liegenden und Hangenden der "Karbonatreichen Serie" des Sarmat erbohrten Arteser läßt mehrere Grundwasserstockwerke unter dem Talboden erkennen und läßt sich generell gut mit der, mit wenigen Graden gegen Süden, unter den stauenden Tonstein des Unterpannon abfallenden, tertiären Schichtfolge erklären.

6. Das hydrogeologische Modell für die Schichtstauquellen im Tertiär südlich Hartberg bei Hopfau basiert auf einem Stauhorizont des Unterpannon (Tonstein), an dem die Wässer aus verschiedenen, über dem Talboden liegenden wasserführenden Horizonten aus dem hangenden "Mehlsand" bzw. aus dem geringmächtigen Schotter (Kapfensteiner Schotter) des Mittel-Pannon austreten.

Resultierend aus diesen Voruntersuchungen und der Beurteilung der anthropogenen Gefährdung aufgrund einer Klassifizierung der Nitratbelastung und der Kartierung der Abfalldeponien werden Vorschläge für die Abgrenzung der Grundwasserschutz- und Schongebiete im Raum Hartberg-Umgebung angeführt.

1.0 Einleitung und Problemstellung

Die von 1991 bis 1993 durchgeführten Untersuchungen zur Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung wurden im Rahmen dreier Diplomarbeiten durchgeführt. Die beiden Arbeiten von M. JUNG: "Zur Geologie der Umgebung von Hartberg (Oststeiermark) unter besonderer Berücksichtigung der jungen Bruchtektonik" und von G. BIEBER: "Zur Hydrogeologie der Umgebung von Hartberg (Oststeiermark) unter besonderer Berücksichtigung des anthropogenen Risikopotentials" wurden am Institut für Geologie der Universität Wien bearbeitet.

Die Arbeit von Frau M. SCHWARZ: "Ausweisung von Vorranggebieten zum Schutz des Grundwassers im Gebiet von Hartberg (Oststeiermark)" stellt eine Grundsatzstudie am Institut für Raumplanung der Universität für Bodenkultur in Wien dar. Die besonders geländeintensiven und laboraufwendigen Projektarbeiten erfolgten aufgrund einer Drittmittelfinanzierung (50% Land Steiermark, 50% Stadtwerke Hartberg).

Die allgemeine Problemstellung "Vermehrter Wasserverbrauch - zu geringes Angebot" konkretisiert sich im Raum Hartberg durch geringe Schüttungsmengen der Ringkugel-Wasserleitung, durch eine Übernutzung der Grundwasservorkommen im Hartberger Safental, durch die generelle Übernutzung der artesischen Wässer (speziell als Hausbrunnen; L. BERNHAUPT et al. 1972), die Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers durch mineralischen und animalischen Dünger und die Auswirkungen

von Altlasten und wilden Deponien (anthropogenes Gefahrenpotential), sowie das Ausmaß des Einflusses von Rutschungen, Überschwemmungen etc. (geogenes Gefahrenpotential).

Ziel der hydrogeologischen Projektarbeiten war die Erhebung des geogenen und anthropogenen Gefahrenpotentials für die derzeitige Trinkwassergewinnung, die Berücksichtigung dieses Gefahrenpotentials im Flächenwidmungsplan 1 : 5.000, sowie die Schaffung einer Beurteilungsgrundlage für eine mögliche Reduzierung des Gefahrenpotentials bei der künftigen Wassererschließung. Zweck der Untersuchungen war die Ausweisung von Vorranggebieten zum Schutz des Grundwassers, die Revision der Schutzgebiete der Quellen und der bestehenden Wasseranlagen sowie die Unterbreitung von Vorschlägen für die weitere Trinkwasser-Erschließung.

Die Projektarbeiten umfaßten von Juli 1991 bis Dezember 1993:

Geologisch-geomorphologische Geländekartierung im Maßstab 1 : 5.000 (geogenes Risikopotential) inklusive Flachbohrungen

Lithologische Untersuchungen und Bestimmung von Durchlässigkeitsbeiwerten
Auswertung von Strukturdaten (Gelände, Luft- und Satellitenbilder) der hydrogeologisch relevanten Bruchzonen

Quellkartierung und Brunnenaufnahme

Hydrochemische Untersuchungen

Ermittlung der Jahresganglinien von 27 ausgewählten Brunnen (Schüttung, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Wasser-Temperatur, Sauerstoff-Isotope)

Ermittlung von Tritium- und C14-Daten ausgewählter Brunnen

2.0 Kurzcharakterisierung der Schichtfolge und Tektonik

Das bearbeitete Gebiet läßt sich in zwei unterschiedliche hydrogeologische Einheiten unterteilen (Abb. 1). Dies sind

1. das Raabalpenkristallin (Ringkogelgebiet), welches die hangendste tektonische Einheit des Unterostalpins bildet, und
2. das tertiäre Fürstenfelder Becken, das eine Teileinheit des Steirischen Beckens darstellt und somit dem pannonischen Sedimentationsraum zuzuordnen ist.

2.1 Kristallin des Ringkogelgebietes

Der Gesteinsbestand des Raabalpenkristallins besteht nördlich Hartberg aus metamorphen Sedimentgesteinen, die heute in Form von Granatglimmerschiefern, Schiefern und Paragneisen vorliegen, sowie aus alpidisch überprägten Orthogneisen, die aus Zweiglimmergraniten, Tonaliten (des Karbon) und Zweiglimmergranodioriten (des Perm) hervorgegangen sind. Die Schiefer sind meist nur sehr gering verwittert und im Meterbereich geklüftet, wobei lang anhaltende Klüfte eher selten sind. Die Bodenbildungen erreichen Mächtigkeiten von wenigen dm bis etwa $1\frac{1}{2}$ m. Eine großräumig verbreitete, tiefergreifende Verwitterung konnte nicht festgestellt werden. Im Gegensatz zu den Schiefern sind die grobkörnigen sauren Granitgneise bis in mehrere Meter Tiefe verwittert, sodaß es im Aufschluß auf den ersten Blick oft schwierig ist, anstehendes verwittertes Kristallin von tertiären Sanden zu unterscheiden. Die in situ-Verwitterung ist jedoch teilweise noch aufgrund der erkennbaren Schieferung oder Klüftung des ehemaligen Festgesteins zu erkennen.

Das Material der Verwitterungsdecke ist häufig extrem schlecht sortiert und führt einen hohen, siebanalytisch nicht differenzierbaren Feinanteil, was den Schluß auf eine geringe Durchlässigkeit zuläßt. Daneben tritt auch, speziell in Gesteinen granitischer Zusammensetzung eine bis mehrere Meter tiefeichende Verwitterung auf, wobei der noch vorhandene hohe Feldspatgehalt (G. ANTES, 1992, S. 75) auffällt.

Eine erste Interpretation der bisherigen Beobachtungen und der Jahresganglinien der Quellen des Ringkogelgebietes zeigt, ähnlich wie die Untersuchungen im nahegelegenen Kristallingebiet nördlich Pöllau (G. ANTES, 1992), daß die kurzfristige Wasserspeicherung hauptsächlich in der Verwitterungszone erfolgt (J. ZÖTL, 1967). Kf-Wert-Berechnungen (aus der Kornsummenkurve) von $3,7 \times 10E-6$ m/s für Verwitterungsmaterial aus einem Grobgnais und in situ-Infiltrationstests (Tracerinfiltrationstest INTEST nach W. KOLLMANN) im Verwitterungsmaterial des Steinbruches Schloffereck zur Beurteilung des Versickerungsverhaltens in der ungesättigten Zone mit einer vertikalen Versickerungsgeschwindigkeit von ca. 0.05 mm/sec (l. c.) charakterisieren den Verwitterungsschutt als durchlässig (G. ANTES, 1992).

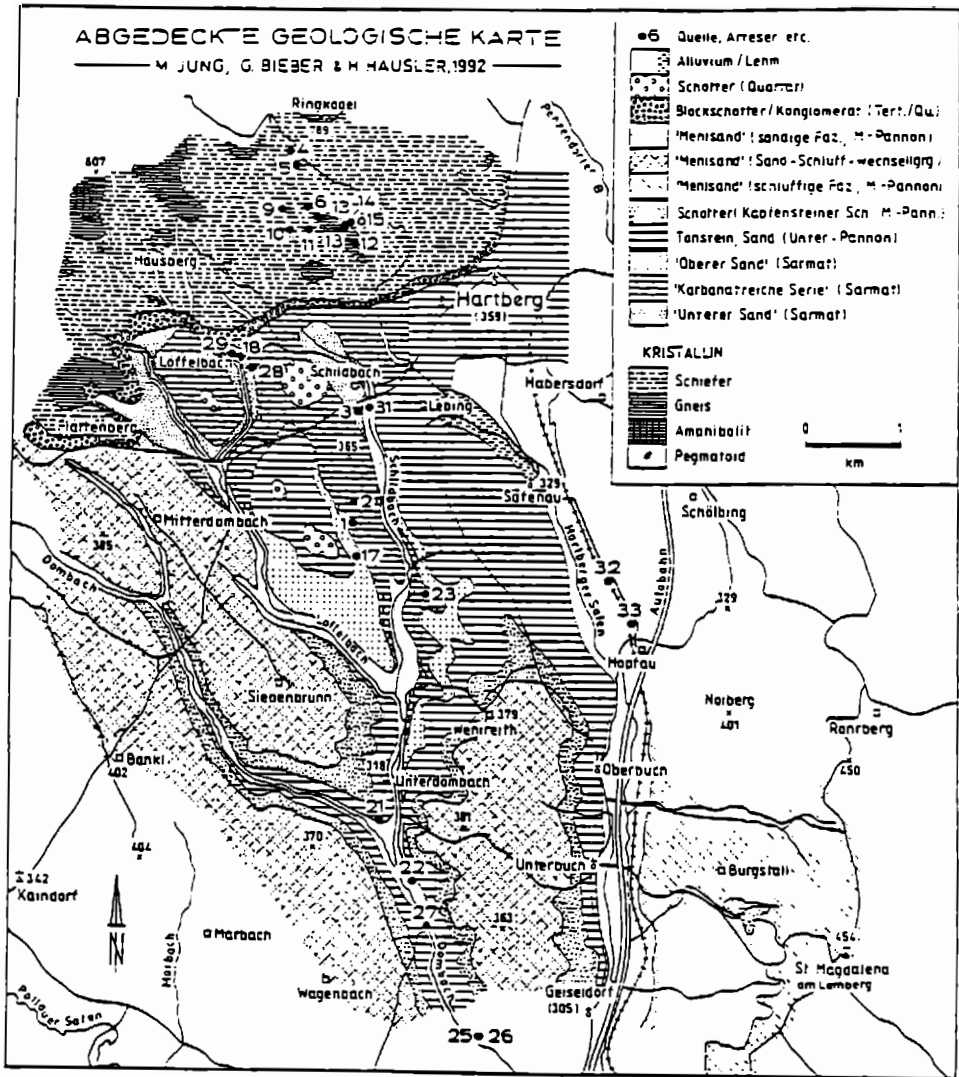


Abb. 1: Abgedeckte geologische Karte des Gebietes Hartberg-Umgebung (Oststeiermark) nach Aufnahmen von K. NEBERT (1985), sowie M. JUNG, G. BIEBER & H. HAUSLER (1992).

2.2 Tertiär und Quartär südlich von Hartberg

Die aufgrund der Obertagskartierung und der zahlreichen Bohrungen aufgeschlossenen tertiären Schichtfolgen betreffen vor allem die sandig-tonige Fazies des Sarmat und Pannon. Die für eine hydrogeologische Charakterisierung vereinfachte Legende (H. HÄUSLER & M. JUNG, 1992; Beilage 4: Abgedeckte geologische Karte 1:10.000) entspricht den Legenden der Karten von K. NEBERT (1952) und K. NEBERT (1985), wobei die Schichtfolge vom stratigraphisch Hangenden gegen das Liegende (nachfolgende Punkte 1-8) hydrogeologisch kurz charakterisiert wird.

1. Alluvium/Lehm (= "Alluvium", K. NEBERT, 1952; = "Alluvionen, Terrassenablagerungen", Quartär; K. NEBERT, 1985)

Für die in Aufschlußbohrungen SE Hartberg (Ersatzbrunnen Milchtrockenwerk Fa. Agrosserta NE Habersdorf) angetroffenen 1.4 bis 2.4 m mächtigen, linsenförmigen fluviatilen Grobsand- bis Feinkieslagen gibt M. SCHUCH (1980) Durchlässigkeitsbeiwerte von 2.0 bis 4.1 x 10E-3 m/s an, während sie für die Feinsand- und Schlufflagen größenordnungsmäßig nur 10E-5 bis 10E-6 m/s betragen.

2. Blockschotter/Konglomerat; Tertiär/Quartär (= "Blockschotter-Konglomerat"; "Blockschotter"; Mittelpannon; K. NEBERT, 1952; = "Grobklastischer Komplex", Pliozän; "Schuttmaterial" Quartär; K. NEBERT, 1985)

Am Südrand der Kristallinhänge des Ringkogels setzen Blockschuttkörper ein, die sich möglicherweise in ihrem basalen Anteil mit der sedimentären Abfolge des Tertiärs verzahnen. Dieses z. B. nördlich HARTBERG rinnenförmig aufgeschlossene Material ist vermutlich von Wildbächen abgelagert worden, da es schlecht gerundete und schlecht sortierte Gesteinsfragmente von cm bis zu einem 1/2 m Durchmesser beinhaltet.

3. Mehlsand, schluffige Fazies; sandige Fazies; Sand-Schluff-Wechselagerung; Mittel-Pannon (= "Mehlsande", Mittelpannon; K. NEBERT, 1952; = "Hangendfolge", Mittelpannonien; K. NEBERT, 1985)

Die in den "Mehlsanden" vorkommenden Fein- bis Grobsande und kiesigen Zwischenlagen sind aufgrund punktuell ermittelter kf-Werte von $3,87 \times 10E-4$ (Proben Sandgrube Scherf/Flattendorf) als durchlässig zu bezeichnen. Die Gesamtdurchlässigkeit der "Mehlsande" wird durch das Auftreten der tonigen und schluffigen Zwischenlagen jedoch herabgesetzt. Man kann daher in diesem Zusammenhang die "Mehlsande" als nur mehr gering durchlässig bezeichnen.

4. Schotter (Kapfensteiner Schotter; Mittel-Pannon; = "Kapfensteiner Schotterzug", Mittelpannon; K. NEBERT, 1952; = "Kapfensteiner Schotter", Mittelpannonien, K. NEBERT, 1985)

Der "Kapfensteiner Schotter" kann dann als nicht besonders gut durchlässig bezeichnet werden, wenn eine tonig-feinsandige Matrix vorherrscht und die Schotter stärker verfestigt sind. Fehlt diese Matrix, ist mit einer sehr guten Durchlässigkeit zu rechnen.

5. Tonstein, Sand; Unter-Pannon (= "Tegel und Sande", Unter-Pannon; K. NEBERT, 1952; = "Unterpannonien", K. NEBERT, 1985)

Die basalen Tegel zeichnen sich durch eine schlechte Durchlässigkeit aus. Mit einer Verbesserung der Wasserwegigkeit ist lokal wegen der Fossilführung nur an der Basis und in Bereichen mit Kryoturbationserscheinungen (z.B. in der Ziegelgrube Hartberg; H. FLÜGEL, 1963) bzw. in geklüfteten Bereichen zu rechnen.

6. Oberer Sand, Sarmat (= "Obere fluviatile Sande", Sarmat; K. NEBERT, 1952; = "2. Sedimentationszyklus", Sarmatien, K. NEBERT, 1985)

Die hydrogeologische Charakterisierung des "Oberen Sandes" ist vergleichbar mit der von "Unterer Sand" (Sarmat).

7. Karbonatreiche Serie, Sarmat (= "Vorwiegend marine brackische Kalke, Kalksandsteine und Tegel", Sarmat; K. NEBERT, 1952; = "1. Sedimentationszyklus", Sarmatien, K. NEBERT, 1985)

Für die aus Pumpversuchen ermittelten Kf-Werte des sarmatischen Karbonatkomplexes geben T. HARUM & H. LEDITZKY (1986) mittlere Werte aus dem Stationär- und Interstationärzustand von $K_f = 1.1 \times 10^{-5}$ m/s und Kf-Werte aus der Wiederaufspiegelung von 3.9×10^{-6} m/s an, was eine relativ geringe Durchlässigkeit des inhomogenen sarmatischen Grundwasserleiters bedeutet.

8. Unterer Sand, Sarmat (= "Untere fluviatile Sande", Sarmat; K. NEBERT, 1952; = "1. Sedimentationszyklus" Sarmatien, K. NEBERT, 1985)

Die "Unteren fluviatilen Sande" müßten wegen ihrer Zusammensetzung hauptsächlich Fein- bis Mittelsande - einen guten Wasserleiter bilden, obwohl sie in oberflächennahen Aufschlüssen nur bodenfeucht beobachtet werden konnten. Der durch Siebung (Proben Sandgrube Klampfl) ermittelte kf-Wert von 5.4×10^{-4} m/s (Berechnung der Durchlässigkeit aus der Verteilung der Korngrößenklassen) würde ebenso dafür sprechen.

2.3 Junge Bruchtektonik

In Ergänzung zu den bisherigen Aufnahmen (K. NEBERT) wurde speziell auf die Erfassung der jungen Bruchtektonik geachtet, da sowohl die regionale Verteilung von Auflockerungszonen, als auch der Versatz von Grundwasser-führenden und Grundwasser-stauenden Horizonten für die hydrogeologische Modellbildung von großer Bedeutung sein kann. Auf die Bedeutung der Bruchtektonik für hydrogeologische Untersuchungen wiesen in jüngster Zeit T. HARUM & H. LEDITZKY (1986) hin.

Besonders gute Aufschlüsse mit post-mittelpannonen Horst- und Grabenstrukturen (maximales Alter 5 Mio. Jahre) finden sich beispielsweise in der Sandgrube südöstlich Flattendorf, in den Sandgruben südwestlich Kaindorf, sowie im Dombachtal südöstlich des Ritterhofes. Die sonst ungestört lagernden, schwach NNE-fallenden Feinsande der Kuppe nordwestlich Jungberg, 1.5 km nordwestlich Geiseldorf, werden von jungen Ost-West-streichenden offenen Klüften zerschnitten, wobei es lokal zu südgerichteten Abtreppungen gekommen ist.

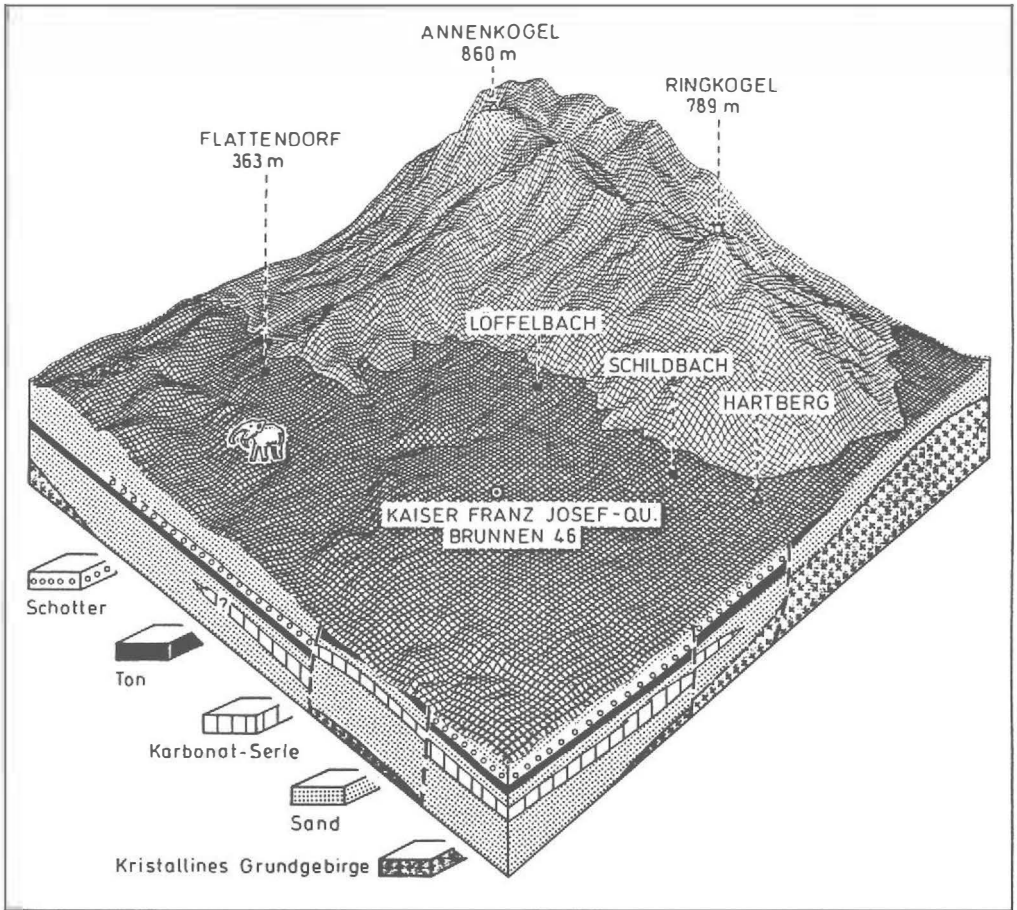


Abb. 2: Schematisches Blockbild der Lagerungsverhältnisse der tertiären Ablagerungen über dem kristallinen Grundgebirge südwestlich von Hartberg unter Verwendung des Digitalen Gelände-Höhenmodells (DGM). Aufgrund der geologischen Neukartierung rekonstruierte jungtertiäre (post-Mittelpannone) bis quartäre Horst- und Grabenstrukturen sind im Tertiärbecken südlich des Ringkogels nur andeutungsweise dargestellt. Südöstlich von Flattendorf liegt der berühmte Fundpunkt des Elefanten-ähnlichen Großsäugers *Dinotherium giganteum* KAUP.

Während im Kristallin nördlich Hartberg eine ungefähr NNE-SSW-streichende Hauptrichtung mit einer markanten zweiten, ungefähr West-Ost-streichenden Richtung vorherrscht, stellt im Gegensatz dazu ein NW-SE-streichendes, dominierendes Kluft- und Störungssystem die Hauptrichtung des Tertiärs dar. Daneben existiert im Tertiär noch eine zweite, WSW-ENE-streichende Klufttrichtung.

Neben einer Erfassung aller Strukturelemente im Gelände wurden auch die im Luftbild erkennbaren Lineamente, sowie die Satellitenbild-Lineamente von M. BUCHROITHNER (1984) dieses Gebietes ausgewertet. Dabei zeigt sich, daß das Nord-Süd-Maximum der Satellitenbild-Lineamente auch in den Luftbild-Lineamenten ausgeprägt ist, das NW-SE-Maximum der Luftbildrichtungen aber in den Satellitenbildrichtungen nur untergeordnet erscheint. In sehr guter Übereinstimmung mit der Luftbildauswertung liegt das NW-SE-streichende Maximum der Klüfte (und Störungen) im Tertiär. Ganz im Gegensatz dazu gibt die Kluftrose im Kristallin der näheren Umgebung nördlich Hartberg die oben angeführten Richtungen nur ganz untergeordnet wieder, es dominieren eigenartigerweise NNE-SSW und ENE-WSW-Richtungen, wofür noch keine Erklärung gefunden werden konnte.

In sehr guter Übereinstimmung sowohl mit den Hauptrichtungen der Störungen im Tertiär als auch mit den Luftbildlineamenten steht die Orientierung der älteren Talgeneration, die auch in der Azimutverteilung der jüngeren Talgenerationen sehr deutlich zum Ausdruck kommt.

3.0 Naturraumpotentialkarten 1 10.000

Folgende 9 Themenkarten im Maßstab 1 10.000 bildeten die Grundlage für die Beurteilung der hydrogeologischen Situation (Beilagen H. HÄUSLER & M. JUNG, 1992; HÄUSLER et al. 1993):

Wasserdurchlässigkeit des Bodens

Erosionsgefahr, Rutschungs- und Überschwemmungsgefährdung

Bohrprofilkarte

Abgedeckte geologische Karte

Kluft-, Störungs-, Lineament und Talnetzanalyse

Jahresganglinien der Wassertemperatur, Schüttung, Elektrischen Leitfähigkeit, Sauerstoffisotopen und des pH-Wertes 1991/1992

Rekonstruktion der mittleren Höhe der Einzugsgebiete aufgrund der Sauerstoffisotopen als Grundlage einer Plausibilitätsprüfung für mögliche Infiltrationsgebiete

Synoptische Darstellung der vermutlichen Infiltrationsgebiete unter Berücksichtigung der orographischen und hydrogeologischen Einzugsgebiete, der Jahresganglinien 1991/1992 (der Wassertemperatur, Schüttung und Sauerstoffisotopen) sowie der Hydrochemie

Provisorische Übersichtskarte der anthropogenen Beeinflussung der Brunnen, Quellen und Gerinne in den Sommer- und Herbstmonaten 1992/93

Im folgenden wird kurz auf die Ergebnisse der semiquantitativen Auswertung der Bodenkarten zur Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit der Böden, der Erosionsgefahr, Rutschungs- und Überschwemmungsgefährdung eingegangen und eine Bilanz der Auswertung von Bohrprofilen gezogen. Die Kluft-, Störungs-, Lineament und Talnetzanalyse war wiederum zur Beurteilung der hydrogeologisch relevanten Bruchtektonik von Bedeutung.

3.1 Wasserdurchlässigkeit des Bodens

Aufgrund der Beziehung je feinkörniger der Boden umso geringer die Wasserdurchlässigkeit und je grobkörniger desto größer die Durchlässigkeit - wurde eine Dreierklassifizierung in leichte Böden mit hoher Wasserdurchlässigkeit, mittelschwere Böden mit mittlerer Wasserdurchlässigkeit und schwere Böden mit gehemmter Wasserdurchlässigkeit durchgeführt.

Leichte Sand- bis sandige Schluffböden mit relativ hoher Wasserdurchlässigkeit bedingen bei Kontaminationen eine relativ hohe potentielle Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers. Mittelschwere tonige Sand-, sandige Lehm und lehmige Schluffböden führen bei einer "mittleren" Wasserdurchlässigkeit zu einer eher "mittleren" Kontaminationsgefährdung.

Schwere Böden wie sandige Tone, Lehme, schluffige Lehme, lehmige Tone und Tone führen zu Tagwasserstau und sind daher in dieser Abstufung am geringsten durchlässig, was somit eine relativ geringe potentielle Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers signalisiert.

3.2 Erosionsgefahr, Rutschungs- und Überschwemmungsgefährdung

Die flächendeckende Beurteilung der geogenen Gefährdung beruht auf der Auswertung der Bodenkarten 1 : 25.000 der Österreichischen Bodenkartierung (W. FRIEDINGER, 1977).

Böden, die besonders nach Starkniederschlägen **erosionsgefährdet** sind, finden sich speziell an den Abhängen des Ringkogels westlich Hartberg, sowie an den Westhängen zur Hartberger Safen. Es handelt sich dabei vor allem um sandige Böden, wie kalkfreie Lockersediment-Braunerde aus Tertiärsand (Bodenform 22), kalkfreier Kulturrohboden aus sandigem Tertiär-Material (Bodenform 41) und kalkfreier Planieboden aus feinem Tertiär-Material (Bodenform 43).

Rutschungsanfällige Böden finden sich im Bereich der kristallinen Verwitterungsdecke westlich Hartberg und im tertiären Hügelbereich östlich der Hartberger Safen. Die Übersichtskarte der rutschungsanfälligen Böden läßt, in Abhängigkeit von der Geologie zwei Gruppen von Risikobereichen erkennen, wobei die Bodenformen 28, 48 und 50 aufgrund ihres Auftretens in Hanglage speziell rutschungsgefährdet sind.

Westlich Hartberg treten z.B. seichte Rutschungen in der kristallinen Verwitterungsdecke auf, die zu bedeutenderen Schadensfällen (Translationsrutschungen) geführt haben. Die Rutschung an der Lokalität Hausberg (Löffelbach Nr. 99) wurde durch einen Starkniederschlag vom 3.-10. 5. 1954 (Meßstation Hartberg: Summe 90,9 mm Niederschlag) ausgelöst (W. BRANDL, 1955, S. 17 f.). Diese an der Grenze von Grobschutt über Kristallin stattgefundenen Rutschung spiegelt sich jedoch beispielsweise in der Auswertung der Bodenkarten nicht wider.

Die Abschätzung der **Überschwemmungsgefährdung** wurde in Hochwässer und Katastrophenhochwässer untergliedert. Die Klassifizierung der Überschwemmungs- bzw. Überstauungsgefahr bei Hochwässern umfaßt die Bodenformen 1-6, 10 und 26-27 und jene bei Katastrophenhochwasser die Bodenformen 7 (entwässerter, kalkfreier Brauner Auboden aus feinem Schwemmaterial) und 8 (kalkfreier Extremer Gley aus feinem Schwemmaterial).

Entsprechend der Breite der Täler und der Entwicklung des Bodentyps sind sowohl die Pöllauer Safen als auch die Hartberger Safen aber auch die kleineren Nebenbäche wie Dombach, Löffelbach und Schildbach sowie die orographisch linken Nebenbäche der Hartberger Safen Überstauungs- bzw. Überschwemmungsgefährdet.

3.3 Bohrprofilkarte

Für eine Übersicht des Aufbaues der tertiären Beckenfüllung im Raum Hartberg wurden folgende Bohrungen digitalisiert:

18 Bohrungen: 100-200 m
5 Bohrungen: 10-60 m
8 Bohrungen: 5-10 m

Ergänzende Untersuchungen erfolgten in feinen Lockersedimenten durch Seichtbohrungen (bis 7 m) mittels eines Handbohrgerätes in Kombination mit geoelektrischen Profilaufnahmen. Die Bohrprofilkarte läßt die raschen Mächtigkeitsschwankungen der jungtertiären Schichten über dem kristallinen Grundgebirge erkennen, die durch primäre Faziesunterschiede und die junge Bruchtektonik verursacht wurden. Die Bohrprofile bilden in Vergleich mit der abgedeckten geologischen Karte und der Analyse des Kluft- und Lineamentnetzes die Grundlage für die in Teil 5 des Projektberichtes (H. HÄUSLER, 1993) erstellte Prognose einer weiteren Trinkwasser-Erschließung.

3.4 Kluft-, Störungs-, Lineament- und Talnetzanalyse

Aus dem Vergleich des Trennflächengefüges, speziell der Störungsrichtungen, in den jungtertiären Ablagerungen mit den älteren und jüngeren Talrichtungen geht deutlich

hervor, daß der Bereich zwischen Hartberger Safen und Pöllauer Safen von einer jungen Bruchtektonik geprägt ist, die auch in den Luftbild- und Satellitenbild-Lineamenten ihren Niederschlag findet und lokal aufgrund von Erdbebenwirkungen noch rezent wirksam sein dürfte.

Die Konsequenz einer Rekonstruktion dieser jungen horst- und grabenartigen Bruchtektonik liegt einerseits in einer neuen Modellvorstellung über die Lagerungsverhältnisse der seichter- und tieferliegenden Aquifere südlich von Hartberg und andererseits in deren möglichen Bedeutung für eine linear erhöhte Grundwasserwegigkeit aber auch Kontaminationsgefahr.

Aufgrund der lokalen bruchtektonischen Analyse sei daher besonders auf die mögliche Kontaminationsgefahr bereits genutzter artesischer Wässer über solche Wegigkeiten hingewiesen.

4.0 Hydrogeologisch-geohydrologisches Wirkungsgefüge

Während gemäß DIN 4049 die Begriffe "Hydrogeologie" und "Geohydrologie" als gleichrangig angesehen werden und sich nur in den angewandten Arbeitsmethoden unterscheiden, hält H. ZETINIGG (1990) den Begriff "Geohydrologie" gemäß ÖNORM B 2400 für übergeordnet. Im folgenden wird daher kurz das Wirkungssystem "Hydrogeologie - Geohydrologie" anhand des durchgeführten Untersuchungsprogrammes in der Oststeiermark erläutert.

Die elektrische Leitfähigkeit gibt als Summenparameter eine Vorinformation über den Mineralisierungsgrad und läßt in Verbindung mit dem (zwar leicht meßbaren, aber schwer interpretierbaren) pH-Wert eine Einteilung in gering mineralisierte, saure und höher mineralisierte, basische Wässer zu.

Der Wasserchemismus wird einerseits durch die durchflossenen Aquifere (Kristallin: gering mineralisiert; Karbonat: stärker mineralisiert) sowie durch mineralische und animalische Düngung, Altlasten etc. beeinflusst. Hohe Keimzahl und hohe Nitratwerte sind beispielsweise rasch und billig zu ermittelnde Indikatoren einer stärkeren anthropogenen Beeinflussung.

Auf das Alter und die Verweildauer der Wässer geben Tritium und C14-Messungen Hinweise und die Sauerstoff-18-Messungen erlauben Rückschlüsse auf die mittlere Höhe des Infiltrationsgebietes.

Schüttungsmessungen sind die Summe aus einem Basisabfluß, der aus einem Kluft- und/oder Porenaquifer stammen kann und einem niederschlagsbedingten (bzw. Schmelzwasser-bedingten) Zwischenabfluß. Anhand der Niederschlagskurve des mittleren Monatsniederschlages (aus einer möglichst nahegelegenen Meßstation) ist, unter Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit des Niederschlages, eine Interpretation der Jahresganglinie des Abflußverhaltens einer Quelle möglich.

Eine eingehende Charakterisierung der Schüttung nach nur monatlichen Messungen ist, wie die Ergebnisse wöchentlicher Messungen im Ringkogelgebiet (W. BRANDL, 1950-1954) zeigen, problematisch. Trotzdem gibt in den meisten Fällen ein zeitlich "zufälliger" Meßwert je Monat im Vergleich mit der Jahres-Niederschlagskurve (Monatsmittel) über das Jahr eine Ganglinie, die sich gut interpretieren läßt. Die minimale und maximale Schüttung, die gemessen wurde, entspricht vermutlich nicht dem tatsächlichen Minimum und Maximum.

Dennoch drückt die Schwankungsziffer dieses Verhältnis größenordnungsmäßig richtig aus. Die Schüttung von Quellen gibt einen allgemeinen Hinweis auf die Größe des Einzugsgebietes bzw. Mächtigkeit des Aquifers und die Verweildauer des Wassers. Ein rasches Ansteigen der Schüttung nach Regen spricht bei oberflächennahen Quellen im allgemeinen für eine sehr kurze Verweildauer (INTERFLOW). Bei genutzten Quellen können dadurch Kontaminationen rasch in die Trinkwasserleitung gelangen.

Sehr gute Hinweise über den Zusammenhang zwischen Niederschlag und Schüttung, sowie zwischen Lufttemperatur und Wassertemperatur der Ringquellen verdanken wir den regelmäßigen Messungen von W. BRANDL (W. BRANDL: 1950, 1953, 1954) in den Jahren 1949 bis 1954 (Dez. 1948 bis Dez. 1949: wöchentlich).

W. BRANDL gelangte aufgrund dieser Beobachtungen schon in den Fünfzigerjahren zu folgenden Schlußfolgerungen:

Die Ringquellen erreichen den Höchststand der Wasserspende im Februar und März. Im Frühjahr erfolgt ein Absinken der Schüttung, die von August bis Oktober ihren Tiefstand erreicht und sich erst wieder im Spätherbst erhöht.

Es sind kurzfristig keine großen Temperaturschwankungen bekannt. Der jahreszeitliche Temperaturgang vollzieht sich gleichmäßig. Bei Schüttungsschwankungen treten stets auch Temperaturschwankungen auf. Es tritt eine deutliche Phasenverschiebung der Wassertemperatur gegenüber der Lufttemperatur auf.

Die Zunahme der Wasserspende erfolgt nach Niederschlägen jeweils außerordentlich rasch (nach 6 Stunden bis 5 Tagen). Nach Aufhören der Niederschläge ist ein mehr oder minder rasches Zurückgehen der Schüttung, besonders bei kleinen Quellen) zu verzeichnen.

Bei einem hohem Stand der Quellspende sind geringfügigere Niederschläge als zur Zeit niedriger Schüttung notwendig, um eine Erhöhung der Schüttung zu bewirken.

Hohe Schüttungsschwankungen und ein rasches Ansteigen der Ergiebigkeit, wenige Stunden nach Beginn der Niederschläge, weist auf eine seichte Lage der Quellen, eine schlechte Seihkraft und somit schlechte hygienische Verhältnisse hin.

Die Ursache der raschen Reaktion der Ringquellen auf Niederschläge liegt nicht nur in der relativ seichten Fassung und einem kleinen Einzugsgebiet sondern vor allem auch im verhältnismäßig durchlässigen Boden, besonders im Kristallin-Verwitterungsbereich.

Die Temperaturen der Quellen der westlichen Quellgruppe fallen und steigen zufolge der Lage im Wald verhältnismäßig langsam, da der Wald eine intensive Bodenerwärmung im Sommer ebenso wie eine Abkühlung im Winter hemmt.

Wo die Wasserergiebigkeit auch in Trockenzeiten nicht so stark sinkt, ist entweder das Einzugsgebiet etwas größer oder die Quellen sind tiefer gefaßt. Schwächer schwankende Quellen haben zweifellos ein bedeutend größeres Einzugsgebiet.

Die Tagesgang- und Jahresganglinie der Wassertemperatur ist ein Summenparameter, der in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Witterung generelle Aussagen über die Tiefe des Aquifers zulässt. Die in regelmäßigen Abständen durchgeführten Temperaturmessungen der Grundwässer ermöglichen im Vergleich mit dem Jahresgang der Lufttemperatur (Monatsmittel) eine Abschätzung der Beeinflussung der Wassertemperatur durch die Lufttemperatur.

Je oberflächennaher das Grundwasser liegt, desto größere Temperaturschwankungen sind zu erwarten. Bis zu Tiefen von 2 m wirken sich die täglichen Lufttemperaturschwankungen der Oberfläche etwas verzögert in der Grundwassertemperatur aus. In Tiefen zwischen 2 bis 5 m lassen sich größere monatliche Schwankungen feststellen, zwischen 5 bis 15 m machen sich größere jahreszeitliche Schwankungen abgeschwächt und verzögert bemerkbar (A. THURNER, 1967).

In Tiefen zwischen 15 und 20 m treten nur mehr Schwankungen von 1°C bis 2°C auf. Von einer örtlich variierenden Tiefe stellt sich die Zone der konstanten Temperatur (neutrale Zone) ein, die meist 1°C bis 3°C höher als die mittlere Jahrestemperatur ist. Unter dieser Zone der konstanten Temperatur wirkt sich die Erdwärme, die durch die Temperatur der geothermischen Tiefenstufe zum Ausdruck kommt, aus.

Die Grundwassertemperatur wird wesentlich von der Versickerungsgeschwindigkeit beeinflusst. Je langsamer die Niederschläge versickern, desto besser kann sich die Wassertemperatur in der Tiefe angleichen.

Bei einem raschen Versickern gelangt im Winter das kalte und im Sommer das warme Wasser zum Grundwasser, was sich in größeren Temperaturschwankungen bemerkbar macht. Bei einem Eindringen von Flußwasser in das Grundwasser kann es ebenfalls zu auffallenden Temperaturschwankungen kommen, die mit der Entfernung vom Fluß abnehmen (l. c.). Der Jahresgang der Wassertemperatur von Quellen, die von einem seichten Aquifer alimentiert werden, folgt mit etwas Verspätung dem jahreszeitlichen Verlauf der Lufttemperatur.

Die Temperatur artesischer Wässer, die beim Ausfluß gemessen wird, kann insofern Schwankungen unterworfen sein, als durch die Temperaturveränderungen verrohrter Brunnen, die auf die Wärmeänderung der obersten Erdschichten in Abhängigkeit von der Sonnenbestrahlung zurückzuführen ist, auch die Wärme des Wassers an der Entnahmestelle beeinflusst wird (W. BRANDL, 1954b, S. 18).

Erst die Kausalanalyse und synoptische Auswertung aller Meßergebnisse ermöglicht, bei genauestmöglicher Kenntnis des geologischen Untergrundes, die Aufstellung hydrogeologischer Modelle. Erst wenn in einem geologisch so unterschiedlich aufgebauten und faziell rasch wechselnden, fluviatil-marinen tertiären Randgebiet wie dem Hartberger Raum eine begründete Vorstellung über ein hydrogeologisches Modell besteht, können gezielte Untersuchungen für die Abgrenzung von Schongebieten erfolgen.

5.0 Klassifizierung von Wasserspenden

Für die Klassenbildung von Quellwässern wurde neben der Wassertemperatur die Quellschüttung, die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, das Ca/Mg-Verhältnis und vor allem die Wasserhärte herangezogen.

5.1 Charakterisierung nach der Wasserhärte

Generell können die weichen Wässer des kristallinen Hügellandes von den harten Wässern aus dem Tertiär-Hügelland unterschieden werden.

1) Weiche Wässer des Kristallin-Gebietes NW Hartberg und aus dem Tertiär-Hügelland SE von Hopfau

Die untersuchten Kluft-(Folge)-Quellen des Ringkogel-Gebietes (Tab. 2: H4-H12; Tab. 3: H13-H15) sind relativ saure Wässer (pH 6.0-6.7) mit einer Gesamthärte unter 5 °dH. Entsprechend der geringen Gesamtmineralisation liegt ihre elektrische Leitfähigkeit zwischen 100 und 200 µS/cm.

Nr.		Höhe (m)	T °C	l/s	pH	°dH	Ca/Mg	Elektr. LF
H 4	Q	645	9.0	0.25	6.7	1.5	4	90
H 5	Q	620	8.8	0.2	6.5	1.8	3	100
H 6	Q	570	9.2	0.2	6.2	1.5	7.4	80
H 7	Q	540	9.0	0.1	6.5	1.6	2.4	80
H 9	Q	540	9.8	0.5	6.2	2.0	4.8	90
H10	Q	510	9.7	0.3	6.0	1.9		60
H11	Q	510	9.9	0.2	6.2	2.2		70
H12	Q	475	9.3	0.7	6.7	3.3	4.8	150
H17	B	(12m)	10.4	1.0	6.7	3.3	2.5-4.8	150

Tab. 2: Die "sehr weichen" Wässer der Kluft-(Folge)-Quellen des Ringkogels (B = Bohrung; Meter unter GOK; Q = Quelle).

Die Ringkogelquellen sind gering ergebige Quellen, die in wenigen Fällen Schüttungsmengen von 1 l/s erreichen. Die Schüttungsmengen und das Wasseralter der Kristallinquellen stehen in einem engen Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge. Diese Quellen reagieren rasch auf Niederschlagsereignisse (junges Wasser). Andererseits sind in längeren niederschlagsfreien Perioden die Quellschüttungen (mit älterem Wasser) zwar gering aber gleichmäßig, was die Vermutung nahelegt, daß zwei unterschiedliche Speichermechanismen wirksam sind. Der kurzfristig auf Niederschlagsereignisse reagierende Quellschüttungsanteil ist auf oberflächennahen unterirdischen Abfluß (INTERFLOW) zurückzuführen, wobei für die Abflußbahnen gute Durchlässigkeit bei relativ geringem Speichervolumen anzunehmen ist, da nur dadurch die schnellen und großen Schüttungssteigerungen erklärt werden können. Die längerfristige Speicherung (BASEFLOW) erfolgt in basalen Teilen der Auflockerungszone, sowie in Klüften der oberflächlich gering verwitterten, kristallinen Gesteine.

In die Gruppe der "sehr weichen" und sauren Wässer fällt auch der südlich des Pumpwerkes Löffelbach gelegene Tertiärbrunnen H17 (Brunnen 47). Das bedeutet, daß das Wasser dieses 12 m tiefen Brunnens nicht durch die unterlagernden und unmittelbar östlich auftretenden karbonatreichen Sarmatschichten geflossen ist, sondern wahrscheinlich nur durch sandiges Tertiär. Das bedeutet ferner, daß es entweder aus dem Kristallin des Ringkogel-Gebietes stammt (ohne die karbonatreichen Sarmatschichten am Hangfuß zu durchfließen) oder daß das Einzugsgebiet weiter westlich zu suchen ist.

Zu den "weichen" Wässern zählen die Quellgruppe H13-H15 im Ringkogel-Gebiet und, mit etwas höherer Gesamtmineralisation, die Schichtstauquellen bei Hopfau (H32, H33; Tab. 3).

Nr.	Höhe (m)	T °C	l/s	pH	°dH	Ca/Mg	Elektr. LF
H13 Q	530	11.0	0.3	6.3	4.4	4	160
H14 Q	530	10.5	0.2	6.2	4.4	103	130
H15 Q	525	11.1	0.2	6.5	4.7	4	200
H32 Q	305	11.0	0.2	6.8	6.2		230
H33 Q	305	11.0	1.2	6.8	6.7		240

Tab. 3: Die "weichen" Wässer der Kluft-(Folge)-Quellen des Ringkogels und der Schichtstauquellen bei Hopfau (Q = Quelle).

2) Harte Wässer des Tertiär-Hügellandes südlich von Hartberg

Das aus 60 m Tiefe erbohrte, gespannte Wasser der Brunnen H 25 und H27 (Dombachtal) weist bei pH 7.7 mit relativ geringer Leitfähigkeit von 380 µS/cm eine relativ geringe Gesamthärte (8-10 °dH) auf (Tab. 4). Obwohl eine chemische Beeinflussung des Wassers beim Durchfließen kalkhaltiger Schichten erfolgt sein muß, ist ein Durchströmen der hangenden, "Karbonatreichen" Sarmatserie aufgrund der geringen Härte eher auszuschließen.

Nr.	Tiefe	T °C	l/s	pH	°dH	Ca/Mg	Elektr. LF
H25 A	62 m	13.0	* 1.5	7.7	8.0	4.9	380
H27 A	66 m	12.5	* 0.5	7.7	9.5	5.8	380

Tab. 4: Die "mittelharten" artesischen Wässer im Dombachtal (A = Arteser).

Mit 12-17 °dH fallen die meisten, in NW-SE-Erstreckung, parallel zum Auftreten der karbonatreichen, sarmatischen Serie angeordneten, Wasserspenden in die Klasse der ziemlich harten Wässer. Sie werden durch einen schwach alkalischen pH-Wert von 7.2-7.5 und durch eine relativ hohe Leitfähigkeit von 400-800 µS/cm charakterisiert (Tab. 5).

Nr.	Lage	°C	l/s	pH	°dH	Ca/Mg	Elektr. LF
H1	B 11 m	10.0	* 2.0	7.5	15.0	12	470
H3	B 10 m	11.0	* 1.8	7.2	17.5	33	800
H18	Q (360)	10.9	* 2.5	7.5	15.1	13.7	500
H21	W 9 m	10.9	* 3.0	7.4	15.7	6	560
H22	W 9 m	10.7	* 4.5	7.3	16.7	72.5	580
H26	A 21 m	10.7	* 2.4	7.5	13.7	3.4	440
H2B	B 7 m	1.0	1.0	7.3	16.9	14.8	540
H29	A 96 m	14.4	* 1.1	7.3	12.7		420
H31	A 96 m	14.0	* 0.2	7.3	13.5	6	380

Tab. 5: Die "ziemlich harten" Wässer im Umkreis der karbonatreichen Serie des Sarmat (B = Bohrung; Q = Quelle; W = Waller; A = Arteser).

Nach K. STUNDL (1954) ist anzunehmen, daß bei den Artesern in Grundgebirgsnähe der Chemismus des Wassers auf dessen Herkunft deutet, wobei ihr alkalischer Charakter auf die Änderung des (ursprünglich sauren) Chemismus beim Durchströmen der tertiären Schichten zurückgeht.

Aus dem Chemismus der Wässer lassen sich aufgrund der angeführten Werte bezüglich ihrer Mineralisation in ihrer Nord-Süd-Erstreckung folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1) H18, H28, H29: Die relativ seichten, etwa 5 m tiefen Fassungen der Römerquelle H18 und der Nöhlerquelle H28 liegen am Kristallinrand westlich, unmittelbar im Liegenden, der "Karbonatreichen Serie", im "Unteren Sand" (Sarmat). Daß das in fast 100 m Tiefe, im "Unteren Sand", erbohrte Wasser des Artesers H29 (Arteser LÖFFELBACH) die karbonatreiche Serie durchfließt, wird nicht nur durch die unmittelbare Nachbarschaft zu dieser, sondern auch durch die große Karbonathärte belegt.

2) H3, H31: Die relativ seichte (10 m) Fassung der Reisinger Quelle H3 liegt aufgrund der Lagerungsverhältnisse östlich des "Karbonatkörpers" im Liegenden ("Unterer Sand"), wird aber offensichtlich von Wässern gespeist, welche (im Einzugsgebiet) die "Karbonatreiche Serie" durchflossen haben. Wie für den Arteser LÖFFELBACH (H29) zeigt auch die hohe Karbonathärte des in fast 100 m Tiefe erbohrten Artesers H31 (Arteser SCHILDBACH II) das Durchfließen kalkreicher Serien an.

3) H1, H2 (H17): Der Brunnen H1 (Brunnen 46) liegt in 10 m Tiefe in der "Karbonatreichen Serie". Dasselbe gilt für das härtere Wasser von H2 (siehe unten). Trotz der unmittelbaren Nähe des Brunnens 47 (H17) zur "Karbonatreichen Serie" hat dessen Wasser (in 10 m Tiefe) aufgrund des gänzlich anderen Chemismus vermutlich eine andere Herkunft (siehe unten).

4) H21, H22, H26: Die beiden oberflächennahen Wallerquellen H21 (Fürhabquelle) und H22 (Kneisslquelle) treten am Südeinde des obertags nicht mehr aufgeschlossenen Karbonatzuges, im unmittelbar Hangenden der karbonatreichen Serie (Sarmat/Pannon) aus. Aufgrund der hohen Karbonathärte liegt eine längere Verweildauer des Wassers in der karbonatreichen Serie nahe. Daß auch das in etwa 20 m Tiefe erbohrte, gespannte Wasser des Artesers GEISELDORF II (H26) eine derart hohe Gesamthärte aufweist, deutet ebenfalls auf ein Durchfließen der gegen Süden abtauchenden, karbonatreichen Serie hin.

Die Gruppe der harten Wässer um 20 °dH ist durch einen relativ geringeren pH-Wert von 7.2-7.3 und eine relativ hohe elektrische Leitfähigkeit von 600-700 µS/cm charakterisiert (Tab. 6). Die große Karbonathärte dieser beiden Wasserspenden ist auf die Nähe zur karbonatreichen Serie (Sarmat) zurückzuführen.

Die in 8 m Tiefe gefaßte Kochquelle H2 liegt zur Gänze in der karbonatreichen Serie, das Wasser der Ziegelwaldquelle H23 fließt, zumindest im tiefergelegenen Bereich, bis zum Quellaustritt, in dieser.

Nr.	Lage	°C	l/s	pH	dH	Ca/Mg	Elektr. LF
H2	B 8 m	10.5	* 0.5	7.2	20.4	23	730
H23	Q (330)	10.2	0.4	7.3	18.7	6.1	590

Tab. 6: Die "harten" Wässer im Umkreis der "Karbonatreichen Serie" des Sarmat (B = Bohrung; Q = Quelle).

Während im Ca/Mg-Verhältnis die Unterschiede in der Charakterisierung saurer, weicher Wässer mit geringer Leitfähigkeit und alkalischer, harter Wässer mit hoher Leitfähigkeit nicht zum Ausdruck kommen, spiegelt sich im Ca-Mg-Diagramm der unterschiedliche Chemismus der Quellen im Kristallin und Tertiär sehr gut wider. In dieser Abbildung liegt auch H17 im Feld der Kristallinquellen, von den Quellen bei Hopfau standen noch keine chemische Analysen zur Verfügung.

5.2 Charakterisierung von Quellen nach der Schwankungsziffer der Schüttung

Die an den Ringkugelquellen und den beiden Quellen von Hopfau ermittelten Schüttungsschwankungen (Quotient aus Maximalschüttung Minimalschüttung) der Jahre 1991-92 lassen wegen des kurzen Zeitraumes nur mit Einschränkungen Rückschlüsse auf die Güte der Quellen für die Wasserversorgung zu. Für die Ringkugel-Quellen existieren jedoch Schwankungsziffern über einen längeren Zeitraum (1949-53; W. BRANDL, 1953, 1954).

Über die möglichen Ursachen einer Änderung der Schwankungsziffer (in Abhängigkeit von den Starkniederschlägen bzw. aufeinanderfolgenden Monatssummen) liegen noch keine Untersuchungen vor.

Versucht man vom Standpunkt der Wasserversorgung eine Einordnung der Quellen nach der Schwankungsziffer der Schüttung in die von J. STINY angegebene Klassifizierung:

ausgezeichnete Quelle	1-3
gut	3-5
minder gut	5-10
mäßig	10-20
schlecht	20-100
sehr schlecht	über 100

So lassen sich die oben angeführten Quellen folgendermaßen charakterisieren:

Tab. 7: Gegenüberstellung der Schwankungsziffern und der daraus abgeleiteten Quellgüte der untersuchten Quellen

Quelle	Schwankungsziffer		Quellgüte
H4 PFANDLER	1991-92	3.2	gut
H5 DOPPELHOFER	1991-92	7.1	schlecht bis minder gut
	1953	37	
	1949-52	125	
H6 LEBENBAUER II	1991-92	5	mäßig bis minder gut
	1953	3.5	
	1949-52	22.5	
H7 ALLMER	1991-92	5	mäßig bis minder gut
	1953	12	
	1949-52	24.5	
H9 LEBENBAUER I	1991-92	2	gut bis ausgezeichnet
	1953	1.8	
	1949-52	3.9	
H10 JAGERHOFER	1991-92	9	mäßig bis minder gut
	1953	6.9	
	1949-52	22.7	
H11 SCHEINER	1991-92	2.7	mäßig bis gut gut
	1953	2.8	
	1949-52	20	
	1991-92	5.4	

H13 HOFER	1991-92	37.5	
	1953	15	
	1949-52	111	sehr schlecht bis schlecht
H14 LEBENBAUER IV	1991-92	11.4	
	1953	3.0	
	1949-52	23.4	mäßig bis gut
H15 LEBENBAUER III	1991-92	5.5	
	1953	5.4	
	1949-52	13.5	mäßig bis minder gut
H32 HIRSCHBÖCK	1992	1.5	ausgezeichnet
H33 GUTMANN	1992	1.5	ausgezeichnet

6.0 Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes als Grundlage für die Rekonstruktion vermutlicher Infiltrationsgebiete

Der rechnerischen Ermittlung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes von Quellen liegt die Beziehung zugrunde (D. RANK, 1989), daß aus dem $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt von Quellwässern auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Quelle geschlossen werden kann. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis des Höheneffektes im Untersuchungsgebiet. Für die Berechnung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes wurde jeweils der Mittelwert der Sauerstoff-Isotopen ($\delta^{18}\text{O}$) von Messungen des baseflow herangezogen. Die Werte von jungen Wässern aus Starkniederschlägen wurden dadurch eliminiert. Die Berechnung der Regressionsgeraden erfolgte aus der Abschätzung der Höhe des mittleren Einzugsgebiets für je zwei Quellen mit dem niedrigsten und dem höchsten Einzugsgebiet. Für die Festlegung dieser Eichwerte wurden die Kristallinquellen H4 mit 670 m und H5 mit 700 m, sowie für die beiden Tertiärquellen südlich Löffelbach, H2 mit 350 m und H23 mit 380 m, herangezogen.

Es sei darauf hingewiesen, daß die gerechneten Modellhöhen nur aufgrund einer etwa 1-jährigen, regelmäßigen Messung der Sauerstoffisotopen ermittelt wurden und ferner ein möglicher Einfluß der Vegetationsbedeckung auf die Sauerstoffisotopen wegen des kurzen Beobachtungszeitraumes nicht berücksichtigt werden konnte. Die aus der Abschätzung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes der 4 angegebenen "Eichwässer" ermittelte Regressionsgerade ergibt eine Steigung von 2/10 bis 3/10

der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte je 100 m. In Beilage 7 (H. HÄUSLER & M. JUNG, 1992) wurden in einem ersten Arbeitsschritt 20-Meter-Isohypsen dieser ermittelten Werte ausgeschieden. Diese Minimalflächen sollen als Grundlage für eine weitere Abschätzung der Einzugsgebiete herangezogen werden, wobei in die Plausibilitätsprüfung neben dem orographischen Einzugsgebiet der hydrogeologische Aufbau sowie die Hydrochemie berücksichtigt werden.

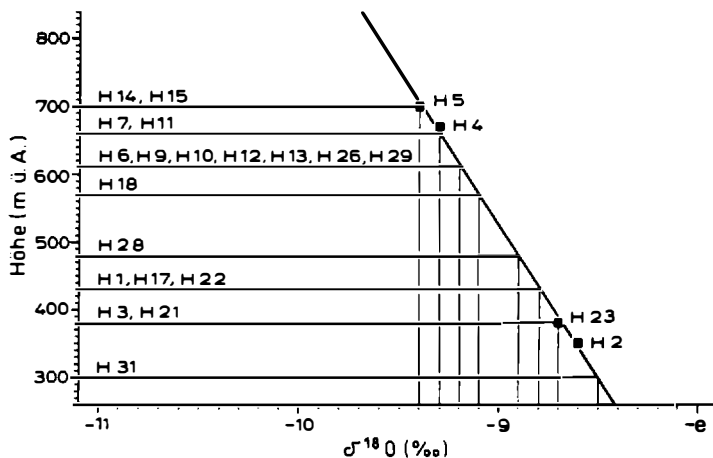


Abb. 3: Bestimmung der mittleren Höhe der Einzugsgebiete von Quellen aus dem $\delta^{18}\text{O}$ -Jahresmittel des Basisabflusses.

Über die Herkunft der fossilen Wässer der Arteser H25 und H27 können aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten keine Aussagen getroffen werden, da diese ein anderes Klima repräsentieren. Aus der so errechneten Höhenabhängigkeit des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes wurden die mittleren Höhen des Einzugsgebietes graphisch (Abb. 3) ermittelt.

Die Auswertung der Dauerbeobachtungen hat ergeben, daß sich die Quellen aus dem kristallinen Einzugsgebiet (Ringkugelquellen) und aus dem tonig-sandigen Tertiär deutlich von jenen unterscheiden, die an die karbonatreiche Serie des Sarmat gebunden sind. Möglicherweise bedingt die pH-Umstellung der sauren Wässer (6.0) aus dem Kristallin (Kluftwässer) beim Kontakt mit den Karbonaten des Sarmat eine Mischungskorrosion mit nachfolgender Erhöhung des pH-Wertes (bis 7.7). Es dürften somit im Grundgebirgs-nahen Tertiärbereich um Schildbach-Löffelbach die stärksten Kalklösungserscheinungen auftreten.

Nr.	δ18-O	Höhe	engerer Bereich	mögliches Infiltr.-G.	Mischalter in Jahren
H1	-8.8	430	420-440	380-600	6-7
H2	-8.6	350(EW)	340-360	340-400	
H3	-8.7	380	380-400	360-500	
H4	-9.3	670(EW)	660-680	660-780	100-1000
H5	-9.4	700(EW)	> 700	630-780	
H6	-9.2	610	600-620	580-730	
H7	-9.3	660	660-680	550-730	
H9	-9.2	610	600-620	550-730	10
H10	-9.2	610	600-620	520-730	
H11	-9.3	660	660-680	520-730	
H12	-9.2	610	600-620	490-730	5-6
H13	-9.2	610	600-620	540-720	
H14	-9.4	700	> 700	540-720	
H15	-9.4	700	> 700	540-720	
H17	-8.8	430	420-440	400-600	50-100
H18	-9.1	570	560-580	440-700	20-30
H21	-8.7	380	380-400	320-400	10
H22	-8.8	430	380-400 ?	320-400 ?	7
H23	-8.7	380(EW)	380-400	320-400	10 (60 ?)
H26	-9.2	610	600-620	480-700	?
H28	-8.9	480	480-500	400-600	15-30
H29	-9.2	610	600-620	480-600	100-1000
H31	-8.5	300	< 325	300-400	> 40
H32	-8.8	430	420-440	350-450	?
H33	-8.8	430	420-440	350-450	?

Tab. 8: Mittlere Höhe des Einzugsgebietes der bearbeiteten Wasserspenden (graphische Ermittlung, basierend auf 4 Höhen-Eichwerten (EW) für die Jahresmittel der δ18-O-Werte des baseflow, siehe Abb. 3). Festlegung eines engeren Bereiches und eines weiteren Höhenbereiches des jeweiligen, möglichen Infiltrationsgebietes und Angabe der Modellalter der Mischwässer.

7.0 Hydrogeologische Modelle

Für die meisten Wasserspenden, für die infolge der erhöhten Nitratwerte bzw. wegen des Auftretens coliformer Bakterien durch mineralische bzw. animalische Düngung eine Indikation für eine stärkere anthropogene Beeinträchtigung nachweisbar ist, ließ sich ein hydrogeologisches Zweikomponentenmodell erstellen. Dies bedeutet, daß ein älterer Wasseranteil, meist aus einem höhergelegenen Einzugsgebiet, in relativer Nähe zur Entnahmestelle mit einem jüngeren Wasseranteil, der offensichtlich stark anthropogen beeinflusst ist, vermischt wird.

Nach ihrem Auftreten, der Hydrochemie, sowie der Jahresganglinien etc. zeigen folgende untersuchte Wässer Gemeinsamkeiten, die jeweils in einem hydrogeologischen Modell interpretiert werden können:

- * Perennierende saure Folgequellen aus dem Kristallin des Ringkogelgebietes (H4-H15).
- * Saure Schichtstauquellen im Tertiär bei Hopfau (H32, H33).
- * Saures erbohrtes Wasser des Brunnens 47 (H17) nahe der "Karbonatreichen Serie" des Sarmat südlich Schildbach.
- * Alkalische Wässer des Sarmat nahe des Kristallinsockels NW Schildbach (H18, H28).
- * Alkalische Wässer aus der sarmatischen Serie südlich von Schildbach (H1, H2, H23).
- * Alkalische Wallerquellen im Hangenden der sarmatischen Serie südlich Unterdombach (H21, H22).
- * Arteser aus dem Sarmat nahe des Kristallinsockels von Löffelbach und Schildbach (H29, H31).
- * Arteser aus dem Sarmat westlich Geiseldorf (H25-H27).

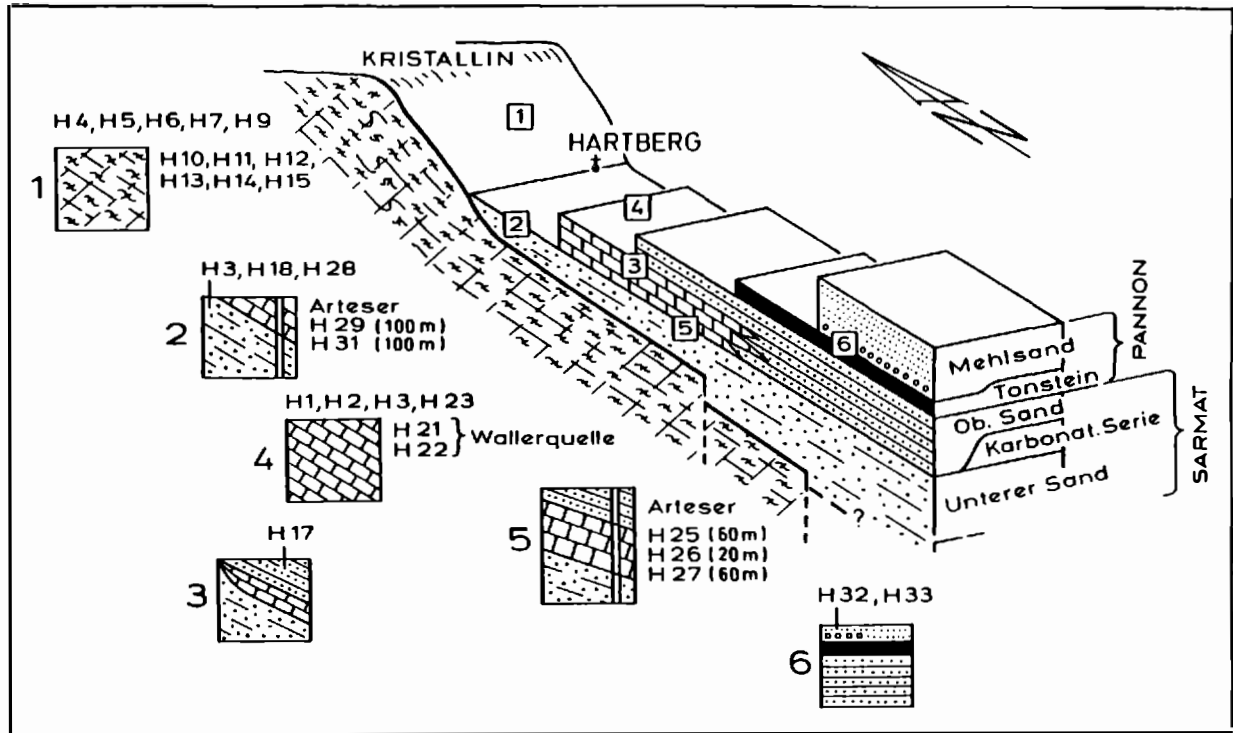


Abb. 4: Schematische Übersicht der Lagerungsverhältnisse des Tertiärs am kristallinen Grundgebirgsrand bei Hartberg mit ungefährender Position der bearbeiteten Quellen und Arteser. Numerierung der Quellengruppen 1-6 entspricht nachfolgender Textbeschreibung.

1) Das hydrogeologische Modell für die Folgequellen aus dem Kristallin des Ringkogelgebietes (H4, H5, H6, H7, H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15) dürfte prinzipiell aus zwei sich überlagernden Mechanismen bestehen.

Ein Basisabfluß (baseflow) aus relativ saurem (pH 6.0-6.7), gering mineralisiertem (100-200 µS/cm), weichem bis sehr weichem Wasser (0-8 °dH) mit relativ geringer, aber gleichbleibender Schüttung von 0.1-0.3 l/s und einem sehr hohen Wasseralter (Tritiumfrei; möglicherweise einige 100 bis 1000 Jahre) wird als Kluftquelle interpretiert. Das hydrographische Einzugsgebiet dieser Wässer muß nicht an das orographische Einzugsgebiet am Südhang des Kammes Ringkogel-Wullenstein gebunden sein. Es ist daher eine kleinräumige Überschneidung des orographischen Einzugsgebietes (im Norden) möglich, wobei das Prinzip der Wirksamkeit des orographischen Einzugsgebietes jedoch nicht ausgeschaltet wird. Deckschichten im hydrogeologischen Sinn, die eine Schutzfunktion für den Aquifer haben, sind nicht vorhanden.

Nach dem Auffüllen eines oberflächennahen Aquifers, der als ein in der Mächtigkeit variierender Porenwasserkörper aus Hangschutt und Verwitterungsmaterial interpretiert wird, setzt nach lang andauernden Regen bzw. Starkniederschlägen eine verstärkte Quellschüttung ein. Dabei wird - je nach Größe des Einzugsgebietes bzw. der Mächtigkeit des Porengrundwasserkörpers - nach einigen Stunden bis wenigen Tagen das junge Niederschlagswasser als Zwischenabfluß (interflow) geschüttet, wobei im Jahr 1991 eine Schüttungszunahme um einen Faktor 2 bis 20 beobachtet wurde. Nach einem ebenso raschen Abfluß des Regenwassers aus dem oberflächennahen Reservoir reduziert sich die Schüttung wieder auf den baseflow. Das hydrographische Einzugsgebiet dieser periodisch nach Starkniederschlägen schüttenden, den baseflow überlagernden, Quellwässer ist identisch mit dem jeweiligen orographischen Einzugsgebiet SW des Ringkogels.

2a) Das hydrogeologische Modell für die oberflächennahen und grundgebirgsnahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen, Wässer (H18, H28) ist noch sehr unklar. Möglicherweise trifft ein kombiniertes Modell aus Kluft- und Verwerfungsquelle zu.

Das 20-30 Jahre alte, bereits alkalische (pH 7.3-7.5), höher mineralisierte (500-550 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und ziemlich harte Mischwasser kann möglicherweise als ein ursprünglich aus dem Kristallin stammendes, saures Kluftwasser interpretiert werden, das in Wechselwirkung mit der im Raume Löffelbach aufgeschlossenen, mächtigeren karbonatischen Serie (? verkarsteter Kalk) getreten ist. Die Quellaustritte sind aufgrund der südfallenden Lagerung im "Unteren Sand", im Liegenden der "Karbonatreichen Serie". Ob für die Quellaustritte stauende Lagen im "Unteren Sand" oder eine (Ost-West- bzw. NW-SE-streichende) Bruchzone (Bruch- und Verwerfungsquelle?) die Ursache ist, ist noch ungeklärt. Als Einzugsgebiet kommt für die RÖMERQUELLE (H18) der höher gelegene Bereich des Ringkogels und für die NÖHRERQUELLE (H 28) eher der Hangfußbereich des Ringkogels, NE von Löffelbach, in Frage. Obwohl die Quellschüttungen von 1-2 l/s durch Starkregenereignisse nicht beeinflusst werden, ist eine starke anthropogene Beeinflussung vermutlich auf eine "Einspeisung" in die oberflächennahe "Karbonatreiche Serie" um Löffelbach zurückzuführen.

2b) Das hydrogeologische Modell für die grundgebirgsnahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen Arteser (H29, H31) läßt sich generell mit der, über dem Kristallin mit wenigen Graden gegen Süden abfallenden, tertiären Schichtfolge erklären.

Es handelt sich dabei um bereits ziemlich harte und schwach alkalische (pH 7.3), jedoch noch relativ gering mineralisierte (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Wässer, die keinen Anteil an Wasser enthalten, das jünger als 40 Jahre ist (Modellalter bis einige 100 Jahre und ? älter). Als Aquifer kommt vermutlich der "Untere Sand", im Liegenden der "Karbonatreichen Serie" des Sarmat, in Frage. Als Einzugsgebiet für das aus 100 m Tiefe stammende, gespannte Wasser des Artesers LÖFFELBACH (H29) kommt der nördlich gelegene Kristallinabhang westlich des Ringkogels in Frage, wobei der Aquifer im "Unteren Sand" vermutlich sowohl von Wässern alimentiert wird, die im Grenzbereich Glimmerschiefer/Karbonat-reiches Tertiär versickern, als auch von (alten) Kluftwässern aus dem Kristallin selbst (NW-SE-Störungen), die sich mit harten Wässern mischen bzw. in Kontakt mit Kalklagen des Sarmat treten.

Als Einzugsgebiet für das aus 100 m Tiefe, vermutlich ebenfalls aus dem "Unteren Sand" des Sarmat, stammende Wasser des Artesers SCHILDBACH II (H31) kommt - im Gegensatz zum Arteser LÖFFELBACH (H29) - nur das tiefergelegene Gebiet SW Hartberg in Frage. Da der Tonstein des Unterpannon als Stauhorizont von Osten her bis zum Schildbach reicht, reduziert sich das Einzugsgebiet des Artesers SCHILDBACH II auf das Gebiet westlich davon.

3) Das hydrogeologische Modell für das oberflächennahe, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundene, erbohrte Wasser von H17 (Brunnen 47) wird vermutlich stark durch die junge Bruchtektonik beeinflusst.

Das gut mit den Kristallinwässern vergleichbare, relativ saure (pH 6.7), gering mineralisierte (150 µS/cm), sehr weiche und bis 50-100 Jahre alte Mischwasser muß trotz der räumlichen Nähe zur karbonatreichen Sarmatserie entweder im Liegenden von dieser und/oder im Tertiär westlich davon geflossen sein. Als Infiltrationsgebiet kommt der Hangfuß des Ringkogels in einer Höhe von 400-500 m, etwa im Gebiet nördlich Löffelbach-Heckenberg, in Frage, wobei als Aquifer entweder die horizontal und vertikal stark variierenden Sandlagen des Mittel-Pannon (Sand-Schluff-Wechselagerung; "Mehlsand") und/oder (NW-SE-streichende) Klüfte in Frage kommen.

4a) Das hydrogeologische Modell für die oberflächennahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen, erbohrten Wässer (H1, H2, H3) bzw. die Quelle H23 beinhaltet den "Unteren Sand" (H3) bzw. die "Karbonatreiche Serie" (H1, H2) und den "Oberen Sand" (H23) des Sarmat als Aquifer. Für die Quelle H23 dürfte ein kombiniertes Modell zutreffen.

Ob der Austritt der Quelle H23 (ZIEGELWALDQUELLE) an einen stauenden Horizont oder an eine Verwerfungszone gebunden ist, ist noch unklar. Es könnte sich im oberen Bereich möglicherweise um eine Kluftquelle und im tieferen Bereich, dem Bereich der "Karbonatreichen Serie", um Karstwasser handeln. Das Wasser der aus geringer Tiefe (bis 10 m) erbohrten Quellen kann generell als ein 5-10 Jahre altes, aus dem umgebenden flacheren Tal- und Hügelbereich stammendes, heute relativ

hoch mineralisiertes (400-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), schwach alkalisches (7.2-7.5), in der "Karbonatreichen Serie" (H1, H2) bzw. in den sarmatischen Sanden im Liegenden (H3) und Hangenden (H23) der "Karbonatreichen Serie" fließendes, ziemlich hartes bis hartes Mischwasser charakterisiert werden. Für die Wässer der Brunnen H1 (BRUNNEN 46) und H2 (KOCHQUELLE) dürfte das Einzugsgebiet im nahegelegenen Einzugsgebiet des Schildbaches liegen. Während sich bei H1 Starkregenereignisse nicht bzw. anthropogene Einflüsse nur gering bemerkbar machen, trifft dies für H2 (und H3 REISINGERQUELLE) jedoch in starkem Maße zu. Das Einzugsgebiet der ZIEGELWALDQUELLE (H23) liegt westlich der bis zum ehemaligen Ziegelwerk anstehenden Tonstein-Serie des Unterpannon. Als Aquifer kommt daher sowohl der "Obere Sand" als auch die "Karbonatreiche Serie" in betracht. Obwohl die Quelle nicht von Starkregenereignissen beeinflusst wird, macht sich die oberflächliche anthropogene Beeinflussung stark bemerkbar. Daß die abnehmende Schüttung von Juli 91 bis Juni 92 der Niederschlagskurve folgt und dann gegenläufig ist, läßt sich wahrscheinlich damit erklären, daß ein Großteil des Niederschlages östlich der Quelle aufgrund der stauenden unterpannonen Schichten nicht der Quelle zufließt bzw. dort nicht druckhaft werden kann.

4b) Für die oberflächennahen, an die "Karbonatreiche Serie" des Sarmat gebundenen Wallerquellen (H21, H22) trifft vermutlich ein kombiniertes hydrogeologisches Modell zu.

Die schwach alkalischen (pH 7.3-7.4), stärker mineralisierten (550-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ziemlich harten, etwa 7-10 Jahre alten Mischwässer entstammen einem Reservoir aus der "Karbonatreichen Serie" bzw. aus dem "Oberen Sand" des Sarmat. Möglicherweise gelangt das Wasser auch aus den mittelpannonen Mehlsanden entlang von Klüften in den, im Liegenden der unterpannonen Tonsteinserie befindlichen, sarmatischen "Karbonatkörper". Ob das Aufwallen auf die stauende Wirkung der unterpannonen Tonsteine (Schichtstauwaller) oder auf eine NW-SE-streichende Bruchzone (Verwerfungswaller) zurückzuführen ist, ist noch unklar. Während Starkregenereignisse die relativ hohe Schüttung von mehreren l/s nicht beeinflussen, wirkt sich jedoch der anthropogene Einfluß bereits gravierend aus.

Über den Mechanismus dieser oberflächlichen "Einspeisung" kann noch nichts ausgesagt werden. Im Gegensatz zur Annahme von J. NOVAK (1983) muß für diese Wässer auch ein höhergelegenes Einzugsgebiet angenommen werden. Als Einzugsgebiet für die Wallerquelle H21 (Fürhabquelle) kommt dabei primär der östlich gelegene Höhenrücken (Kote 381) in Frage. Als Einzugsgebiet für die Wallerquelle H22 (Kneisslquelle) läßt sich primär ebenfalls der östlich gelegene Höhenzug (ostwärts Ritterhof) rekonstruieren, obwohl nach dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert auch ein etwa 50 m höheres Gebiet (? Ringkogel) berücksichtigt werden müßte.

5) Das hydrogeologische Modell für die, im Liegenden und Hangenden der "Karbonatreichen Serie" des Sarmat erbohrten Arteser (H25, H26, H27) läßt mehrere Grundwasserstockwerke unter dem Talboden erkennen und läßt sich generell gut mit der, mit wenigen Graden gegen Süden, unter den stauenden Tonstein des Unterpannon abfallenden, tertiären Schichtfolge erklären.

Als Einzugsgebiet für das im "Oberen Sand" aus 20 m Tiefe erbohrte, recht alkalische (pH 7.5-7.7), relativ gering mineralisierte (um 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mittelharte bis ziemlich harte Wasser des Arteser GEISELDORF II (H26) kommt ein Hügelgebiet in Frage das sich nach der mittleren Höhe nur im Ringkogelgebiet findet. Die starken Schwankungen der Leitfähigkeit aber auch der Sauerstoff-18-Isotopen deuten möglicherweise auf eine zeitweise Durchmischung mit Wässern aus höheren Horizonten hin, wobei jedoch eine oberflächennahe Beeinflussung ausgeschlossen ist. Über das Einzugsgebiet der aus 60 m Tiefe, aus einer sandreichen Serie des Sarmat erbohrten, eiszeitlichen Wässer der Arteser GEISELDORF I (H25) und III (H27) kann nichts Näheres ausgesagt werden. Der unregelmäßige Verlauf der Wassertemperatur, sowie die derzeit schwer interpretierbaren Schwankungen der Sauerstoff-18-Isotopen (peak im Juni 92) könnten ebenfalls auf eine zeitweise Durchmischung mit kälteren Wässern aus höhergelegenen Horizonten hinweisen, wobei jedoch eine oberflächennahe Beeinflussung ebenfalls ausgeschlossen ist. Angaben über den Druckspiegel bzw. über Druckspiegelschwankungen standen, wie bei den Artesern H29 und H31, für eine Auswertung nicht zur Verfügung.

6) Das hydrogeologische Modell für die Schichtstauquellen im Tertiär südlich Hartberg bei Hopfau (H32, H33) basiert auf einem Stauhorizont des Unterpannon (Tonstein), an dem die Wässer aus verschiedenen, über dem Talboden liegenden wasserführenden Horizonten aus dem hangenden "Mehlsand" bzw. aus dem geringmächtigen Schotter (Kapfensteiner Schotter) des Mittel-Pannon austreten. Das aus den "Mehlsanden" des Mittel-Pannon stammende, relativ saure (pH 6.8), relativ gering mineralisierte (200-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und weiche, bis mehrere Jahre alte Reservoir-Mischwasser, das von dem Tonstein des Unter-Pannon im Talboden der Hartberger Safen gestaut wird, wird nicht vom begleitenden Flußgrundwasser beeinflusst. Die Quellwässer werden von Starkniederschlägen nur indirekt beeinflusst, indem ein verstärkt ausgepreßtes Reservoirwasser die Schüttung erhöht. Das hydrographische Einzugsgebiet dieser Wässer muß nicht an das orographische Einzugsgebiet am Nord- und Westabhang der "Tonleiten", SE Hopfau, gebunden sein. Als Infiltrationsgebiet kommt der gesamte höher gelegene, Nord-Süd-streichende Bergrücken SE Hopfau, von Mitterberg über Buchberg nach Weinberg, in Frage. Die Wasserführung ist dabei an horizontal und vertikal nicht lange anhaltende Sand- und Schotterlagen innerhalb der schluffigen Fazies des Mittel-Pannon ("Mehlsand"), sowie möglicherweise an Klüfte, gebunden.

8.0 Aktuelle anthropogene Gefährdung

Für die Beurteilung der anthropogenen Verunreinigung standen bei manchen Quellen nur wenige chemische Analysen und bakteriologische Befunde zur Verfügung, in vielen Fällen jedoch 10- bis 20-jährige Angaben mit 2-3 Untersuchungen pro Jahr. Auch wenn aus dem Untersuchungsgebiet noch keine monatlichen Analysen zur Beurteilung der Ganglinie z. B. der Nitratwerte oder der Gesamtkeimzahl (im Vergleich mit landwirtschaftlichen Aktivitäten etc.) zur Verfügung stehen, ist daraus doch ein gewisser Trend erkennbar.

Um eine flächendeckende Aussage über die anthropogene Belastung des Grundwassers zu erhalten, wurden in den Sommer- und Herbstmonaten der Jahre 1992/93 sowohl Hausbrunnen als auch Oberflächengewässer auf ihren Nitrit-, Nitrat- und Chloridgehalt hin untersucht.

Insgesamt wurden die mittels Aquaquant-Schnellmessungen im Gelände ermittelten Nitrat- und Chlorid-Meßwerte von etwa 600 Meßpunkten eingetragen. Einschließlich aller Meßstellen mit Wiederholungsmessungen wurden über 1000 Messungen durchgeführt.

Die Oberflächengewässer zeigen eine relativ geringe Belastung, die zwischen 0 bis 30 mg Nitrat/l liegt. Die Ursache für diese niedrige Nitratkonzentration ist wahrscheinlich auf die Verdünnung in den Gerinnen zurückzuführen. Jedoch muß betont werden, daß die Oberläufe der Gerinne im Gegensatz zu den Unterläufen z. T. eine erheblich stärkere Nitratbelastung aufweisen. Der Grund für diese erhöhte Belastung dürfte in der landwirtschaftlichen Überdüngung und die dadurch entstandene Nitratauswaschung (Nitratabspülung bei Starkregen) liegen. Im Gegensatz zu den beprobten Quellen und Brunnen ist bei den Gerinnen eine erhöhte Nitrithäufigkeit festzustellen. Im Zuge einer einjährigen Schadstoffdauerbeobachtung an ausgewählten Punkten, die im Abstand von jeweils drei Monaten durchgeführt wurde, konnte an einigen Punkten eine periodische Erhöhung der Nitratbelastung festgestellt werden. Meßpunkte, die im Wald liegen, weisen eine geringere Nitratbelastung auf, wobei aber auch ein erhöhter Nitratintrag durch oberstromig liegende, landwirtschaftlich genutzte Flächen festgestellt werden konnte.

Ebenso kann bei den Quellen eine Unterteilung in schwächer nitratbelastete, sowie in stärker nitratbelastete vorgenommen werden. Das Einzugsgebiet der stärker nitratbelasteten Quellen liegt meist in landwirtschaftlich genutztem Gebiet. Dadurch wird ersichtlich, daß eine wasserundurchlässige Deckschicht in weiten Bereichen nicht vorhanden ist, obwohl eine Wechsellagerung von tertiären Sand-, Schluff- und Tonlagen vorherrscht. Das Einzugsgebiet der schwach oder nicht belasteten Quellen liegt meist in fortwirtschaftlich genutzten Flächen. Auffallend ist die relativ geringe Nitratbelastung der Quellen entlang der Bahnlinie Sebersdorf-Hartberg, welche größtenteils durch eine relativ hohe und konstante Schüttung gekennzeichnet sind. Dies obwohl das vermutliche Einzugsgebiet einiger Quellen in landwirtschaftlich genutztem Gebiet liegt. Diese Quellen entstammen wahrscheinlich einem tieferen Grundwasserhorizont, der durch wasserabdichtende Schichten (Schluff/Ton) im Hangenden vor Verunreinigung geschützt ist.

Die Nitratbelastung von Hausbrunnen wurde drei Kategorien zugeordnet:

- * Gering- bis nicht nitratbelastete Brunnen, die meist im Wald oder in nicht intensiv landwirtschaftlich genutztem Gebiet liegen.
- * Mittelmäßige bis starke Nitratbelastung von Brunnen, deren Einzugsgebiet in landwirtschaftlich genutzten Flächen liegt.
- * Extrem hohe Nitratbelastung von Brunnen durch Gülle,- Jauche,- Senk,- und Klärgruben sowie durch Misthaufen.

Die Brunnentiefe selbst hat keinen Einfluß auf die Wasserqualität, da durch nicht abgedichtete, oberflächennahe, nitratbelastete Grundwasserstockwerke die tiefer gelegenen GW-Leiter kontaminiert werden.

Selbst ein bereits vor vielen Jahren entfernter Misthaufen kann noch der Grund für eine erhöhte Nitratkonzentration im Brunnenwasser sein.

Die Aufnahme von Abfalldeponien betraf vor allem:

- * Hausmüll (größere Mengen inklusive Kühlschränke, Lackdosen etc.)
- * Bauschutt
- * Sonderabfall (Autowracks und Autoteile)
- * Illegale Deponierung von Gewerbe- und Geschäftsmüll
- * Illegale Gemeindedepoien
- * Abfälle aus der Abwasserreinigung (Klärschlammablagerungen)

Zusammenfassend läßt sich die anthropogene Gefährdung derzeit wie folgt charakterisieren:

Die Nitratgefährdung der Brunnen und Gewässer am Südhang des Ringkogels ist, wohl aufgrund der überwiegenden Waldnutzung und somit geringeren landwirtschaftlichen Nutzung, generell gering. Ausnahmen bilden Quellen um die Ortschaft Löffelberg sowie der Talgrund des Schildbaches. Eine mögliche Umwelt-Zeitbombe für das Grundwasser tickt in der abgedeckten Deponie NE Schildbach.

Während der Talbereich der Hartberger Safen nur östlich Eggendorf und östlich Oberbuch höhere Nitratwerte (bis 50 mg/l) aufweist, sind die Brunnen und Gerinne an den West-Abhängen zur Hartberger Safen häufig sehr stark Nitrat-belastet (bis 100 mg/l). Das vereinzelt Auftreten extrem stark Nitrat-belasteter Hausbrunnen (über 100 mg Nitrat/l) liegt möglicherweise an veralteten Brunnenfassungen.

Während eine illegale Deponierung von Filterkuchen einer Asphalterzeugungsanlage bereits zu gesundheitsgefährdenden Schädigungen des Grundwassers geführt hat, sind mögliche Auswirkungen der abgedeckten Gemeindedeponie NE Buchberg/St.Magdalena noch völlig unbekannt. Auch in diesem Bereich sollten regelmäßige hydrochemische Kontrollen in Brunnen und Probebohrungen erfolgen.

Die regionale Verteilung der heutigen anthropogenen Gefährdung des Grundwassers zeigt, daß speziell in den derzeitigen Hoffungsgebieten der Stadtwerke Hartberg die höchsten Nitratbelastungen und äußerst unangenehme bis nicht abschätzbare Altlasten und Deponien liegen.

9.0 Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten

Aus der Kombination der Untersuchungsergebnisse betreffend:

- * Geologische Kartierung und Auswertung tieferer Bohrungen
- * Lokale Seichtbohrungen und Geoelektrik-Profile
- * Geomorphologische Kartierung
- * Kf-Wert-Bestimmungen
- * Mittlere Höhe des Einzugsgebietes (Isotopenhydrologie)
- * Wasseralter
- * Basisabfluß
- * Jahresgangline der Wassertemperatur und Quellschüttung
- * Hydrochemie
- * Bakteriologischer Befund

ließ sich für einen Großteil der untersuchten Wasserspenden Größe und Ausdehnung der Zone I (Fassungsbereich; Ausdehnung mindestens 10 m), der Zone II (weiteres Schutzgebiet; 50 Tage Verweilzeit des Wassers) und des Schongebietes (Zone III: gesamtes hydrologisches Einzugsgebiet) abschätzen. Für eine genaue Festlegung wären im Einzelfall noch die Bestimmung der Grundwasser-Fließrichtung und der wahren Grundwasserfließgeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit) erforderlich.

1) Generell läßt sich über die Schutz- und Schongebiete der Ringkogel-Quellen (H4, H5, H6, H7, H9, H10, H12, H13, H14, H15; Folgequellen aus dem Kristallin) feststellen:

a) Der Basisabfluß wird von älterem Kluftwasser gespeist. In den meisten Fällen wäre der Fassungsbereich (Zone I) mit mindestens 10 m-Radius gemäß der Detailkartierung 1:1000 oberstromig zu erweitern und einzuzäunen. Da eine potentielle Hauptgefährdung von der Ringkogel-Straße ausgeht, sollte in den entsprechenden Straßenabschnitten auf das Wasserschutzgebiet aufmerksam gemacht werden (Geschwindigkeitsbeschränkung). Die Ableitung des Sickerwassers sollte sowohl im Bereich der Zone I als auch aus den oberstromig gelegenen Straßengräben erfolgen.

b) Der Zwischenabfluß stammt unmittelbar aus dem Niederschlag und durchfließt den lateral und vertikal zwischen dm- bis m-mächtigen Verwitterungsschutt bzw. den geringmächtigen Verwitterungsboden.

c) Die anthropogene Gefährdung, vor allem durch Düngereintrag, erfolgt derzeit in der Schutzzone II bzw. im Bereich der Schongebiete (= weiteres Infiltrationsgebiet).

2) Generell läßt sich über die Schutzgebiete der am Kristallinrand gelegenen, oberflächennahen Tertiär-Quellen (H1, H2, H3, H17, H18, H23, H28) feststellen:

a) Wo bereits vorhanden, soll der umzäunte Fassungsbereich der Zone I beibehalten werden.

b) Das Gebiet nördlich Löffelbach wäre als Schongebiet für die Quellen H1, H2, H17, H18 und H28 festzulegen.

Das Gebiet nördlich SCHILDBACH wäre als Schongebiet für die Quellen H3 und H23 festzulegen, wobei das engere Schongebiet für H23 im Raum Totterfeld festzulegen wäre.

c) Die anthropogene Gefährdung, vor allem durch Düngereintrag, erfolgt derzeit in der Schutzzone II bzw. im Bereich der Schongebiete (= weiteres Infiltrationsgebiet).

3) Generell läßt sich über die Schutzgebiete der Wallerquellen (H21, H22) feststellen:

a) Wo bereits vorhanden, soll der umzäunte Fassungsbereich der Zone I beibehalten werden.

b) Während eine Verunreinigung der älteren Wasserkomponente im Raum Löffelbach-Schildbach wegen des etwas höheren Mischalters (7-10 Jahre) eher von untergeordneter Bedeutung ist, kommt vor allem dem Schongebiet der Abhänge SE Unterdombach (oberflächennaher Zufluß), speziell bei H21, eine große Bedeutung zu.

c) Die anthropogene Gefährdung, vor allem durch Düngereintrag, erfolgt derzeit in der Schutzzone II bzw. im Bereich der Schongebiete (= weiteres Infiltrationsgebiet).

4) Generell läßt sich über die Schutzgebiete der grundgebirgsnahen Arteser aus dem Tertiär (H29, H31) feststellen:

Eine Schongebietsfestlegung ist derzeit nicht möglich. Für H31 kämen jedenfalls die tiefgelegenen Geländeteile um Hartberg und für H29 die Südabhänge Wullmenstein-Ringkogel in Betracht.

5) Generell läßt sich über die Schutzgebiete der grundgebirgsfernen Arteser aus dem Tertiär (H25, H26, H27) feststellen:

Eine Schongebietsfestlegung für diese erbohrten Arteser ist derzeit nicht möglich. Auch ein stärkerer negativer, anthropogener Einfluß im Infiltrationsgebiet kann sich wegen des hohen Wasseralters und der damit verbundenen geringen Erneuerungsrate innerhalb mehrerer Generationen nicht im Entnahmbereich auswirken. Die Festlegung einer Schutzzone II wäre, speziell im oberstromigen Bereich des Absenkebeckens, zu empfehlen.

6) Generell läßt sich über die Schutzgebiete der tertiären Schichtstauquellen SE Hartberg (H32, H33) feststellen:

- a) Vor Nutzung dieser Quellen sollte bereits eine Schutzzone I festgelegt werden.**
- b) Besondere Maßnahmen zum Schutz der bisher stark gefährdeten Guttmanquelle (H33, 1.15 l/s; 20 mg Nitrat/l + coliforme Bakterien) sollten (dringend in der Schutzzone II) im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Areale erfolgen.**
- c) Da aufgrund der rasch wechselnden hydrogeologischen Verhältnisse ein sehr großes Schongebiet östlich der Hartberger Safen ausgeschieden werden muß, sollten in diesem Raum rechtzeitig raumplanerische Maßnahmen erfolgen, die einen starken negativen anthropogenen Einfluß verhindern.**

Aussagen über die wahre Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bzw. über Neubildungsraten können aufgrund der durchgeführten Voruntersuchungen nur dahingehend getroffen werden, daß Quellschüttungen bzw. Entnahmen älterer Wässer (Tritiumfrei bzw. eiszeitliche Wässer) auf sehr langsame Fließgeschwindigkeiten bzw. sehr geringe Neubildungsraten schließen lassen.

10.0 Literatur

ANTES, G. (1992): Hydrogeologische Untersuchungen im Raum Pöllau, Oststeiermark.- Unveröff. Dipl.-Arb. Formal. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 97 S., 71 Abb., 21 Tab., 7 Kt.-Beil., Wien.

BERNHART, L., ZETINIGG, H. & ZÖTL, J. (1972): Untersuchungen an artesischen Wässern in der nördlichen Oststeiermark.- Ber. Wasserwirtsch. Rahmenplanung, 21, 3-115, Graz.

BRANDL, W. (1950a): Hydrogeologische Studie vom Gebiet des Ringkogels bei Hartberg.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 3, 21-30, 1 Abb., Graz.

BRANDL, W. (1950b): Die artesischen Brunnen im Gebiet der Gemeinde Grafendorf bei Hartberg und ihre hydrogeologischen Voraussetzungen.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 4, 31-39, Graz.

BRANDL, W. (1953): Die Quellen der Wasserleitung von Hartberg am Ringkogel.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 6, 3-21, 1 Abb., Graz.

BRANDL, W. (1954a): Schüttungs- und Temperaturmessungen an den Quellen der Wasserleitung von Hartberg am Ringkogel im Jahr 1953 und 1. Halbjahr 1954.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 7, 3-7, 1 Taf., Graz.

BRANDL, W. (1954b): Die artesischen Brunnen am Süd- und Ostfuß des Masenberges bei Hartberg.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 7, 8-19, Graz.

BUCHROITHNER, M. F. (1984): Erläuterungen zur Karte der Landsat-Bildlineamente von Österreich 1 : 500.000.- 16 S., 1 Abb., 1 Taf., (Geol. B.-A.) Wien.

FLÜGEL, H. (1963): Eiszeitliche Bodenfrostbildungen am Alpenrand.- Natur und Museum, 93, 324-330, Frankfurt a. Main, 1963.

FRIEDINGER, W. (1977): Erläuterungen zur Bodenkarte 1 : 25 000, Kartierungsbereich 43, HARTBERG, Steiermark.- 205 S., 11 Kt., (BMLF) Wien.

HÄUSLER, H. (1993): Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung.- Projekt-Endbericht, 5. Teil: Vorschläge für die weitere Trinkwassererschliessung.- 23 S., 1 Beilage 1 : 25.000, (Inst. f. Geologie der Univ. Wien), Wien.

HÄUSLER, H. & JUNG, M. (1992): Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung.- Projekt-Endbericht 1. Teil: Naturräumliche Grundlagen.- 54 S., 17 Abb., 5 Beil., (Inst. f. Geologie der Univ. Wien) Wien.

HÄUSLER, H., BIEBER, G. & JUNG, M. (1993): Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung.- Projekt-Endbericht, 3. Teil: Anthropogenes Risikopotential.- 115 S., 5 Abb., 18 Taf., Beil. 8-9; Wien (Inst. f. Geologie der Univ. Wien), Wien.

HÄUSLER, H., JUNG, M. & BIEBER, G. (1993): Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung.- Projekt-Endbericht, 2. Teil: Dauerbeobachtungen. 61 S., 7 Abb., 7 Tab., Beil. 6-7; Anhang: 71 S., 71 Abb., 27 Tab., (Inst. f. Geologie der Univ. Wien), Wien.

HÄUSLER, H. & SCHWARZ, M. (1993): Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung.- Projekt-Endbericht, 4. Teil: Ausweisung von Vorranggebieten zum Schutz des Grundwassers. 76 S., 3 Abb., Beil., (Inst. f. Geologie der Univ. Wien), Wien.

HARUM, T. & LEDITZKY, H. P. (1986): Hydrogeologisches Gutachten für die Brunnen I und II des Ring-Gesundheitszentrums Schildbach.- Unveröff. Gutachten, 18 S., 3 Abb., 1 Tab., Graz 1986.

NEBERT, K. (1951): Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen im Jungtertiär südwestlich von Hartberg (Oststeiermark).- Berg- u. Hüttenmänn. Mh., 96, 9-14, 30-37, 50-57, Wien.

NEBERT, K. (1985): Kohlengeologische Erkundung des Neogens entlang des Ostrandes der Zentralalpen.- Arch. f. Lagerstättenforsch., 6, 23-77, 46 Abb., 14 Tab., (Geol.-B. A.), Wien.

NOVAK, J. (1983): Ergiebigkeitsmessungen der Brunnen Fürhab und Kneissl im Dombachtal.- Unveröff. Gutachten, 17 S., 1 Abb., Graz 1983.

RANK, D. (1989): Isotopenverhältnisse - die Fingerabdrücke des Wassers.- Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwiss. Kenntnisse in Wien, 127, 147-176, 17 Abb., Wien.

SCHUCH, M. (1980): Ergebnisse der hydrogeologischen und geohydrologischen Untersuchungen im rechtsufrigen Bereich des Safenbaches NNE von Habersdorf.- Unveröff. Gutachten, 10 S., 2 Abb., Innsbruck.

STUNDL, K. (1954): Der Chemismus der artesischen Wässer am Süd- und Ostfuß des Masenberges bei Hartberg.- Beitr. Hydrogeol. Steiermark, 7, 19-21, 1 Tab., Graz.

THURNER, A. (1967): Hydrogeologie.- 350 S., 187 Abb., (Springer) Wien.

ZETINIGG, H. (1972): Die Bohrungen zur Untersuchung artesischer Wässer in Grafendorf und Seibersdorf (Oststeiermark).- Ber. Wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 21, 47-86, 2 Abb., 4 Taf., Graz.

ZETINIGG, H. (1990): Bemerkungen zur Entwicklung des Begriffes Hydrogeologie.- Mitt. naturwis. Ver. Steiermark., 120, 145-154, 1 Tab., Graz.

ZÖTL, J. (1967): Gutachtliche Äußerung betreffend die Erweiterung der Wasserversorgung der Stadt Hartberg.- 7 S., Unveröff. Gutachten, 1 Beil., Graz.

Dank

Für die fachliche Unterstützung danken wir Herrn Oberbaurat Doz. Dr. H. ZETINIGG (Amt der Steiermärkischen Landesregierung). Für die Interpretation der Isotopenwerte möchten wir dem Leiter der Abteilung Isotopengeophysik des Geotechnischen Institutes der BFPZ-ARSENAL, Herrn Hofrat Dr. D. RANK, sehr herzlich danken.

Autor: Ass.Prof.Univ.Doiz.Dr. Hermann HÄUSLER
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

Langzeituntersuchungen an Schmal- und Schlitzwandmassen unter dem Einfluß von kontaminierten Wässern und Schadstofflösungen

H. Soyoye, F. Ottner, B. Schwaighofer

Zusammenfassung

Bei der Umschließung einer Hausmülldeponie in Niederösterreich wurden Rückstellproben der verwendeten Schmal- u. Schlitzwandmasse untersucht. In Perkolationsversuchen wurden die Dichtwandmassen mindestens 1 Jahr folgenden Sickerwässern und Schadstofflösungen ausgesetzt: kontaminiertem Grundwasser aus der Umschließung, Sickerwasser derselben Hausmülldeponie, synthetischem Sickerwasser, 1molarer Salzsäure, 0,005molarer Bleichloridlösung und 1molarer Natronlauge sowie als Vergleichslösung demineralisiertem Wasser. Schüttelversuche wurden ergänzend durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Schmalwandmasse sowohl von basischen wie auch sauren Prüfflüssigkeiten teilweise überaus stark angegriffen wurde, während die Schlitzwandmasse weitgehend unbeeinträchtigt blieb.

1. Einleitung

Dichtwandmassen werden in Form von Schmal- u. Schlitzwänden zur Sicherung von Altlasten eingesetzt. Dabei soll sowohl der Zutritt von Grundwasser in die Altlast unterbunden werden wie auch der Austritt von kontaminiertem Sickerwasser minimiert werden.

Die Dichtwandmassen bestehen im allgemeinen aus hydraulischen Bindemitteln (Zement, Hüttensande), Bentonit, Zuschlag (Quarz-, Ton-, Kalksteinmehl u.a.) sowie verschiedenen Zusätzen (z.B. Verflüssigern). Bentonit wird aufgrund der guten Schadstoffadsorptionskapazität und auch anderer Vorzüge wie der langandauernden Verarbeitbarkeit der Suspension zu wenigen Prozenten auf der Baustelle direkt beigemischt, bzw. können Bentonite auch schon fixer Bestandteil von Fertigmischungen sein.

Im Unterschied zur herkömmlichen Anwendungsweise der Dichtwände im Wasserbau, werden in der Altlastensicherung die Dichtwandmassen mit sehr unterschiedlichen Rezepturen und mit viel höheren Wasser/Feststoff-Verhältnissen hergestellt. Diese Dichtwandmassen sind teils aggressiven Sickerwässern und Schadstoffen ausgesetzt, sodaß nicht ohne Vorbehalt von den wasserbaulichen Erfahrungen her auf eine ausreichende Langzeitbeständigkeit geschlossen werden kann.

2. Durchgeführte Untersuchungen

In dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden Rückstellproben von zwei Dichtwandmassen (einer Schmal- und einer Schlitzwandmasse) einer Hausmülldeponie in Niederösterreich auf ihre Beständigkeit unter dem Einfluß verschiedener Prüfflüssigkeiten untersucht.

Die beiden Dichtwandmassen wurden in Perkolations- und Schüttelversuchen mit demineralisiertem Wasser, kontaminiertem Grundwasser aus der Umschließung der Hausmülldeponie, Sickerwasser derselben Hausmülldeponie, synthetischem Sickerwasser, Salzsäure (1 molar), Bleichloridlösung (0,005 molar) und Natronlauge (1 molar) in Kontakt gebracht.

Bei der Schmalwandmasse handelt es sich um eine Mischung aus einem Fertigprodukt der Fa. Dyckerhoff, Wiesbaden, mit der Bezeichnung SOLIDUR® 274c, einem Dolomitsteinmehl und Leitungswasser.

Laut Firmenprospekt besteht Solidur® 274c "aus mineralischen Bindemitteln und Tonkomponenten"

<i>Schmalwandmasse: 150-170kg</i>	<i>Solidur® 274c</i>
<i>500kg</i>	<i>Steinmehl</i>
<i>760kg</i>	<i>Wasser</i>

Die Schlitzwandmasse besteht gänzlich aus einem Fertigprodukt der Fa. Dyckerhoff, Wiesbaden, mit der Bezeichnung SOLIDUR® 274 sowie Leitungswasser.

<i>Schlitzwandmasse: 250kg</i>	<i>Solidur® 274</i>
<i>912 l</i>	<i>Wasser</i>

SCHWEITZER, 1991 gibt für Solidur® 274 folgende Inhaltsstoffe an:

10-60 Gew. %	Natriumbentonit
36-81 Gew. %	Hüttensand
2-4,5 Gew. %	Anreger insbesondere Portlandzementklinker
2-4,5 Gew. %	Kieselsäure (dispers)

Die zu untersuchenden Proben wurden direkt der Mischmaschine entnommen, in Styroporzylinder gegossen und bis zur Bearbeitung unter Wasser gelagert. Folgende Parameter wurden ermittelt:

- Physikalische Parameter

Feststoffdichte

Trockendichte

Porenanteil

Wassergehalt

Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert)

Druckfestigkeit

- Mineralogische Zusammensetzung

- Chemische Zusammensetzung

3. Ergebnisse

Die aufgetretenen Wechselwirkungen zwischen Dichtwandmasse und Prüfflüssigkeit wurden durch die Analyse der flüssigen Phase bzw. durch geochemische und mineralogische Analysen der Feststoffe erfaßt. Als wesentliche Reaktionen traten auf:

Veränderungen des Gesamtmineralbestandes durch die Lösung von Karbonaten und Anreicherung von Quarz und Cristobalit bzw. durch Auslaugung von Si-Ionen.

Neubildung von Mineralen (Kalzit, Aragonit, Magnesit, Bleisulfid, Gips).

Veränderungen der Struktur (Dichte und Porenanteil) durch Lösungsvorgänge.

Verstärkung des **Absetzverhaltens** und Verzögerung des **Abbindeverhaltens** unter Zusatz von Sickerwasser zum Anmachwasser der Schmalwandmasse.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Schmalwandmasse von demineralisiertem Wasser, Bleichloridlösung (0,005molar) und Natronlauge (1molar) praktisch nicht beeinträchtigt wurde. Jedoch griffen sowohl basische (kontaminiertes Grundwasser und Sickerwasser) wie saure Prüfflüssigkeiten (synthetisches Sickerwasser und 1molare Salzsäure) die Schmalwandmasse bis zu 2/3 der Gesamtprobe überaus stark an. Die Entfestigung wurde bei den

sauren Medien durch die Lösung der Karbonate verursacht, durch die basischen Medien wurde Silizium gelöst und Karbonate wurden neu gebildet.

Selbst eine massive Entfestigung führte nicht immer unmittelbar zu erhöhten k-Werten, da die gelösten Anteile vorerst in Porenräumen darunterliegender Bereiche ausgefällt wurden. Es ist aber zu erwarten, daß nach entsprechendem Zeitraum auch die untersten Bereiche zerstört werden würden. Die Schlitzwandfertigmischung *Solidur@274* wurde unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht bis deutlich geringer beeinträchtigt.

Allgemein konnte festgestellt werden, daß die Durchlässigkeitsentwicklung zu Versuchsende d.h. nach etwa 1 bis 1,5 Jahren nicht als abgeschlossen betrachtet werden durfte. Tendenziell war der k-Wert, der sich aus dem Durchfluß durch einen Probenquerschnitt in einem Meßintervall unter Berücksichtigung der Druckverhältnisse berechnet, zu Versuchsende bei den meisten Proben noch leicht steigend.

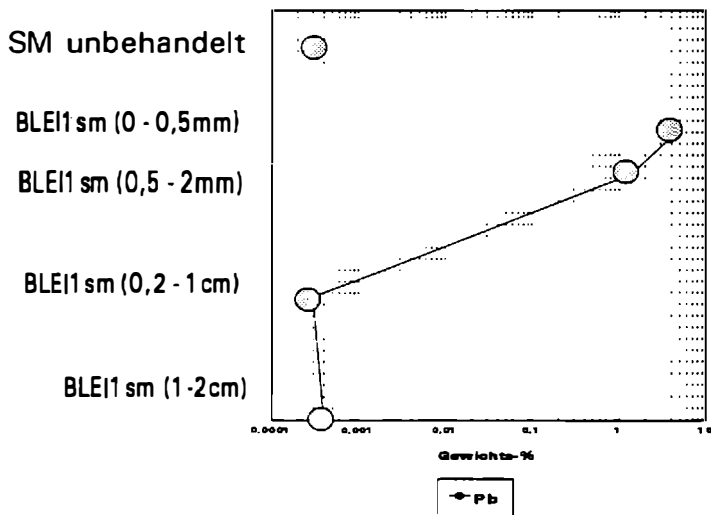
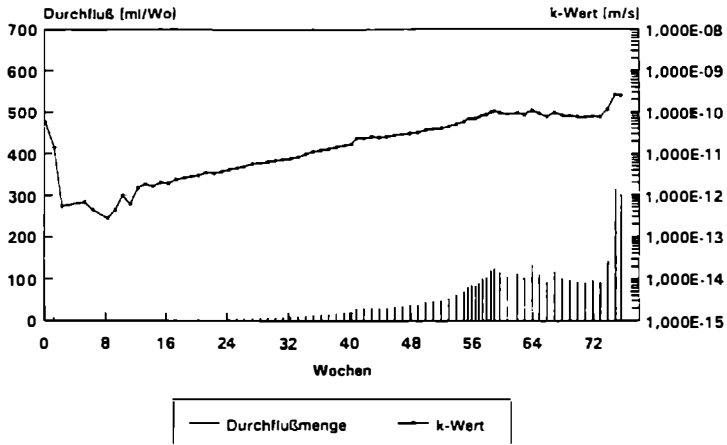


Abb.1: Bleirückhalt der Schmalwandmasse in den obersten 2mm der Galenit (PbS)

Durchfluß und k-Wert



Überlagerungshöhe: $H = 1000\text{cm}$
 Hydr. Gradient: $i = 232,6$
 Ausgetauschtes Porenvolumen: 12,1

Abb.2: Schmalwandprobe mit Sickerwasser perkoliert, k-Wert auch zu Versuchsende tendenziell steigend

k-WERTE

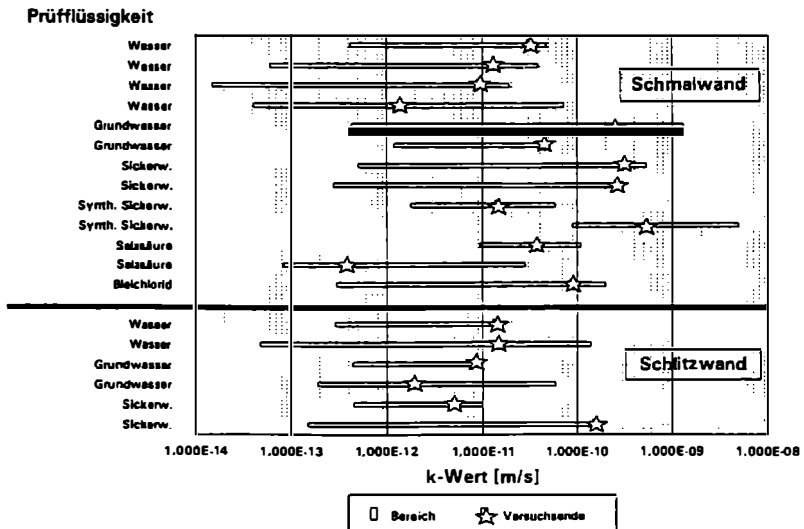


Abb.3: Übersicht k-Werte zu Versuchsende

Die vorliegende Untersuchung zeigt, daß der Auswahl des Zuschlags besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Sie unterstreicht wiederum die Wichtigkeit der mittlerweile immer öfter geforderten Untersuchung von Dichtwandmassen nicht nur unter dem Einfluß von Wasser, sondern auch und gerade unter dem Einfluß von Originalsickerwässern bzw. standardisierten, synthetischen Sickerwässern. Von ausschlaggebender Bedeutung ist auch eine methodisch bedingte, ausreichend lange Versuchszeit, die erst eine Abschätzung der Langzeiterosionsstabilität und der damit verbundenen Durchlässigkeitsentwicklung der Dichtwandmassen ermöglicht.

Literatur:

- HAM, R. et al., 1979: Background Study on the Development of a Standard Leaching Test. United States Environmental Protection Agency (EPA)-600/2-79-109, Ohio.
- KNAAK, B., 1992: Tone als Barrieregesteine bei Mülldeponien Mineralogische und Geochemische Untersuchungen an Tonen aus Mannersdorf, Göllersdorf und Hennersdorf. Unveröff. Diplomarbeit, Abt. f. Baugeologie, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- OTTNER, F., 1991: Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tonigen Barrieregesteinen von Deponieanlagen. Unveröff. Diss., Abt. f. Baugeologie, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- OTTNER, F., SCHWAIGHOFER, B., MÜLLER, H. W., 1990: Tone der niederösterreichischen Molassezone als Barrieregesteine. Mitt. Österr. Geol. Ges., 83, Themenband Umweltgeologie, 1991-209.
- SCHWEITZER, F., 1991: Eignung von Fertigmischungen für Dichtungsschlitzwände. Wasserwirtschaft 81 (1991)5, S.222-231.
- SOYOYE, H., 1994: Perkolationsversuche an Schmal- und Schlitzwandmassen der Hausmülldeponie St. Valentin. Unveröff. Diplomarbeit a. d. Abt. f. Baugeologie, Universität f. Bodenkultur, Wien.
- ZIEGLER, C., 1993: Untersuchungen über den Schadstofftransport durch Dichtwandmassen im Zusammenhang mit der Umschließung von Deponien und Altlasten. Unveröff. Diplomarbeit am Inst. f. Geotechnik, Univ. f. Bodenkultur, Wien u. am Inst. f. Wassergüte u. Abfallwirtschaft, TU Wien.

Autoren: Dipl.Ing. Hadwig Soyoye & Dr. Franz Ottner
Univ.Prof.Dr. Bernd Schwaighofer
Institut für Bodenforschung und Baugeologie
Abteilung Baugeologie
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien

ADV

**Arbeitsgemeinschaft
Druckschacht
Vermunt**



JÄGER

Technische Geschäftsführung
JÄGER Baugesellschaft mbH
Batloggstraße 95, A-6780 Schruns
Telefon 0 55 56 / 71 81-0
Telefax 0 55 56 / 71 81-31



STUAG

Kaufmännische Geschäftsführung
STUAG Bau-Aktiengesellschaft
Seilerstätte 18-20, A-1015 Wien
Telefon 02 22 / 51 5 57-0
Telefax 02 22 / 51 5 57-110



**universale
BAU**

UNIVERSALE-BAU AG
Hietzinger Kai 133
Postfach 270, A-1131 Wien
Telefon 02 22 / 87817-0



Gruppe

Proterra Umwelttechnik

Für die Lösung Ihrer Umweltprobleme...



...wählen Sie einen kompetenten Partner!

Von der Behördenvertretung bis zum Sanierungsabschluß vertreten wir **Ihre** Interessen.

**Proterra
Umwelttechnik**

Tel. 0222/40 440-3300
Gerasdorfer Straße 151
A-1210 Wien

Kupon an obige
Adresse
senden!

- Ja, informieren Sie mich über folgende Dienstleistungen:
- Tankstellensanierung
 - Mikrobiologische Sanierung (Bodenluftabsaugung)
 - Sanierung von CKW-Schäden
 - Grundstücksbewertung
 - Soforthilfe bei Ölunfällen
 - Grundwassersanierung

Name: Hr./Fr. _____

Firma: _____

Adresse: _____

Telefon: _____

