

MITTEILUNGEN

der Gesellschaft der
Geologie- und Bergbaustudenten
in Österreich



33. Band

VORSTAND FÜR DAS JAHR 1985/86

Obmann:	W. LEITHNER
Obmann-Stellvertreter:	F. OTTNER
1. Kassier:	M. ROCKENSCHAUB
2. Kassier:	H. STEININGER
Rechnungsprüfer:	Dr. H. HÄUSLER
Schriftführer:	M. WAGREICH

SCHRIFTFLEITUNG

W. LEITHNER
(Institut für Geologie, Universität Wien)

BEIRAT:

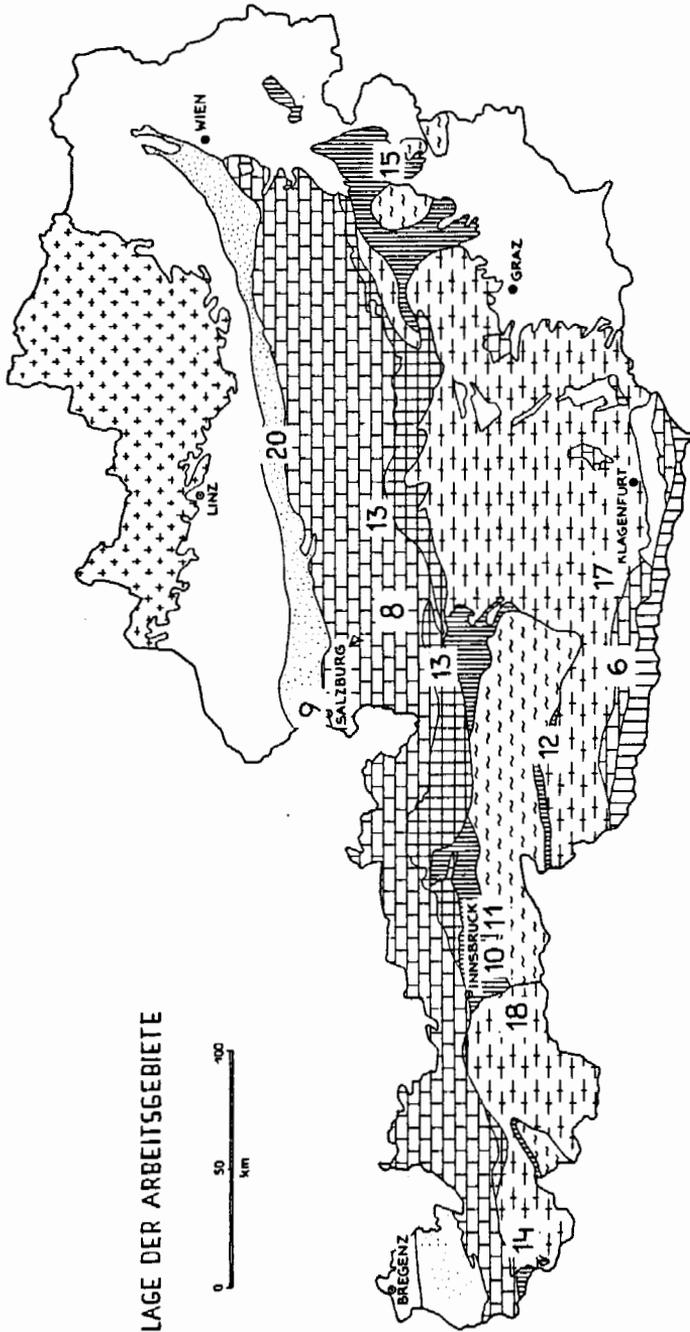
Dr. R. LEIN
Dr. R. POISEL

Zeichner: Leo LEITNER

Alle Rechte vorbehalten.
Die Artikel stellen die Auffassungen der Autoren selbst dar.
Für Inhalt und Form sind die Verfasser verantwortlich.

Herausgeber, Eigentümer und Verleger:
Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich,
am Institut für Geologie der Universität Wien,
A-1010 Wien, Universitätsstraße 7.

Druck: Offsetdruckerei Anton Riegelnik
A-1080 Wien, Piaristengasse 19



LAGE DER ARBEITSGEBIETE

Wir danken den Förderern und Spendern dieses Bandes

Dr. A. BERNHAUSER, Wien	S. A. NICOL, Erlangen
DDr. H. BERTLE, Schruns	Dr. W. NOWY, Klosterneuburg
Dr. H. BRANDECKER, Salzburg	Dr. H. PEER, Leoben
Prof. Dr. E. BRAUMÜLLER, Perchtoldsdorf	Prof. Dr. W. E. PETRASCHECK, Wien
Dr. F. BRIX, Wien	Prof. Dr. W. POHL, Braunschweig
Prof. Dr. E. CLAR, Wien	Dr. R. POISEL, Wien
Prof. Dr. Ch. EXNER, Wien	Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH, Wr. Neu- stadt
Dr. H. FISCHER, Wien	Dr. H. SCHMIED, Wien
Dr. W. FÜRLINGER, Salzburg	Dr. W. SCHNABEL, Wien
Prof. Dr. K. G. H. GÖTZINGER, Wien	Dr. O. SCHULZ, Wien
Prof. Dr. G. GRAF, Bad Mittendorf	Dr. G. SPAUN, Salzburg
Dr. R. GRILL, Wien	A. STRASSER, Salzburg
Dr. G. HAGENGUTH, Köln	Doz. Dr. M. THÖNI, Wien
Dr. H. HALBMAYER, Wien	Dr. F. TRAUB, München
Prof. Dr. G. HORNINGER, Gallsbach	Doz. Dr. N. VAVRA, Wien
Prof. Dr. F. KAHLER, Klagenfurt	Dr. W. S. VOGLER, Köln
Prof. Dr. G. KLEINSCHMIDT, Darmstadt	Prof. Hofrat Dr. Dipl. Ing. P. WIEDEN, Wien
Dr. H. G. KRAULIZ, Wien	Dr. W. ZIMMER, Wien
Dr. H. M. LIEBERMAN, Wien	
Dr. G. MUTSCHLECHNER, Innsbruck	

Kärntner Elektrizitätswerke AG, Klagenfurt
 Österreichische Donaukraftwerke AG, Wien
 Österreichische Draukraftwerke AG, Klagenfurt
 Tauernkraftwerke AG, Salzburg

Unser Dank gilt ebenso den hier nicht namentlich angeführten Spendern.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	R. STERN Herrn Univ.-Prof. Dr. E. H. WEISS zum 60. Geburtstag	1
2.	R. SCHWINGENSCHLÖGL Verzeichnis der wissenschaftlichen Publikationen von Prof. Weiss	7
3.	W. FÜRLINGER Die technische Geologie als Ziviltechniker-Sparte	15
4.	D. van HUSEN Bau- und hydrogeologische Bedeutung eiszeitlicher Vorgänge	23
5.	S. JACOBS & E. TENTSCHERT Gefügemessungen in gefrästen Stollen	47
6.	M. MOSER Ingenieurgeologische Karten für die Gefahrenzonenplanung in Hangbe- reichen	57
7.	R. POISEL Darstellung geologischer Flächengefüge unter Verwendung eines program- mierbaren Taschenrechners	77
8.	P. BAUMGARTNER, W. FRIEDEL & W. FÜRLINGER Sanierung einer Rutschung an der Standseilbahn Hallstatt (O.Ö.)	93
9.	G. HORNINGER Der Verbandssammlerstollen VS 3.1 durch den Mönchsberg, Salzburg . . .	105
10.	K. LIEGLER Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im NW-Bereich des zentra- len Tauernfensters	117
11.	H. HALBMAYER Ein Beitrag zu den Felsspannungsmessungen im Druckschacht und Kraft- hausschacht Häusling des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG .	113
12.	H. LITSCHER Die Frässtollen Wölla-, Draßnitz- und Lamnitzbach	145
13.	W. NOWY Die Bedeutung der Strukturgeologie anhand einiger Beispiele im Tunnel und Kraftwerkebau	159
14.	S. RADLER Versuch einer dynamischen Flutwellenberechnung am Beispiel des Stau- dammes Bolgenach	187
15.	G. RIEDMÜLLER & B. SCHWAIGHOFER Baugeologische Untersuchungen einer Felsgleitung an der Südbahn A 2	199
16.	B. SCHWAIGHOFER & H. W. MÜLLER Verwitterung und Tonmineralgenese im Kristallin der Uluguru-Berge, Tanzania	207

VI

17.	R. SCHIMANA Neue Ergebnisse zur Entwicklungsgeschichte des Kristallins um Radenthein (Kärnten, Österreich)	221
18.	Ch. MILOTA Retrograde Mineralreaktionen, ausgelöst durch Fluid-Aktivitäten, als charakteristisches Erscheinungsbild der alpidischen Metamorphose im Stubaikristallin	233
19.	H. HÄUSLER Die „historische“ Rolle der Wünschelrute für Aufgaben der Angewandten Geologie	265
20.	R. W. WIDDER Neuinterpretation des Buchdenkmalgranites	287
21.	Zusammenfassungen der bis Ende des Sommersemesters 1986 approbierten Dissertationen am Institut für Geologie der Universität Wien – Diplomarbeit	309 316
22.	Buchbesprechungen	317
23.	Hinweise für die Autoren	323
24.	Bisher erschienene Bände mit Kurztiteln der Arbeiten	327

E R R A T A :

Seite V :

11. H. HALDMAYER

Ein Beitrag zu den Felsspannungsmessungen im Druckschacht und Krafthauschacht Hüsling des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AGSeite 133 (statt 113)

Seite 117 :

Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im NW-Bereich des zentralen Tauernfensters

von

Klaus LIEGLER

mit 4 Abb. und 3 Beil. (statt 5 Beil.)

VERZEICHNIS DER BEILAGEN :

- Beilagen 1 - 3 : 6. M. MOSER : Ingenieurgeologische Karten für die Gefahrenzonenplanung in Hangbereichen.
- Beilagen 4 - 6 : 7. R. POISEL : Darstellung geologischer Flächengefüge unter Verwendung eines programmierbaren Taschenrechners.
- Beilagen 7 & 8 : 8. P. BAUMGARTNER, W. FRIEDEL & W. FURLINGER : Sanierung einer Rutschung an der Standseilbahn Hallstatt (o.ö.).
- Beilagen 9 - 11 : 10. K. LIEGLER : Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im NW-Bereich des zentralen Tauernfensters.
- Beilage 12 : 15. G. RIEDMÜLLER & B. SCHWAIGHOFER : Baugeologische Untersuchungen einer Felsgleitung an der Südauto-
bahn A 2.

HERRN UNIV.-PROF. Dr. E. H. WEISS
ZUM 60. GEBURTSTAG

Herr Dr. phil. WEISS Ernst Heinrich, ordentlicher Universitätsprofessor und Inhaber der Lehrkanzel für Baueologie an der Universität für Bodenkultur zu Wien wurde Sechzig.

In Graz, der steiermärkischen Landeshauptstadt schenkte ihm seine Mutter Rosa Weiss am 21. November 1926 das Leben. Diese Stadt Österreichs mit dem Ruf geistiger und kultureller Bedeutung prägte Kindheit und Jugend von Ernst Weiss. Dort wurde die Volksschule passiert, dort auch erlebte der Unterstufen-Mittelschüler den Anschluß, stieß bis zur Matura vor und mußte als kaum 18 Jahre junger Mann zu den Soldaten. Ein an vielen Erfahrungen reicher Ernst Weiss kehrte im Jahre 1948 aus der Kriegsgefangenschaft heim.

Im Herbst desselben Jahres durchstreiften wir Wände und Grate der Großvenedigergruppe, Begegnungen dort mit dem Geologen H. P. Cornelius festigten den Entschluß von Ernst Weiss, das Studium der Geologie in Graz angegangen zu haben. Eine bunte Studentenschar gediegener Persönlichkeiten fand sich an den Instituten der Universität zusammen, um sich an der Schule Metz/Heritsch zu orientieren und emporzuranken. Als Bohrknecht kam der hochsemestrige Studiosus mit der Baueologie näher in Berührung, als er bei den Aufschlußbohrungen für den neuen Semmering-Eisenbahntunnel beschäftigt war.

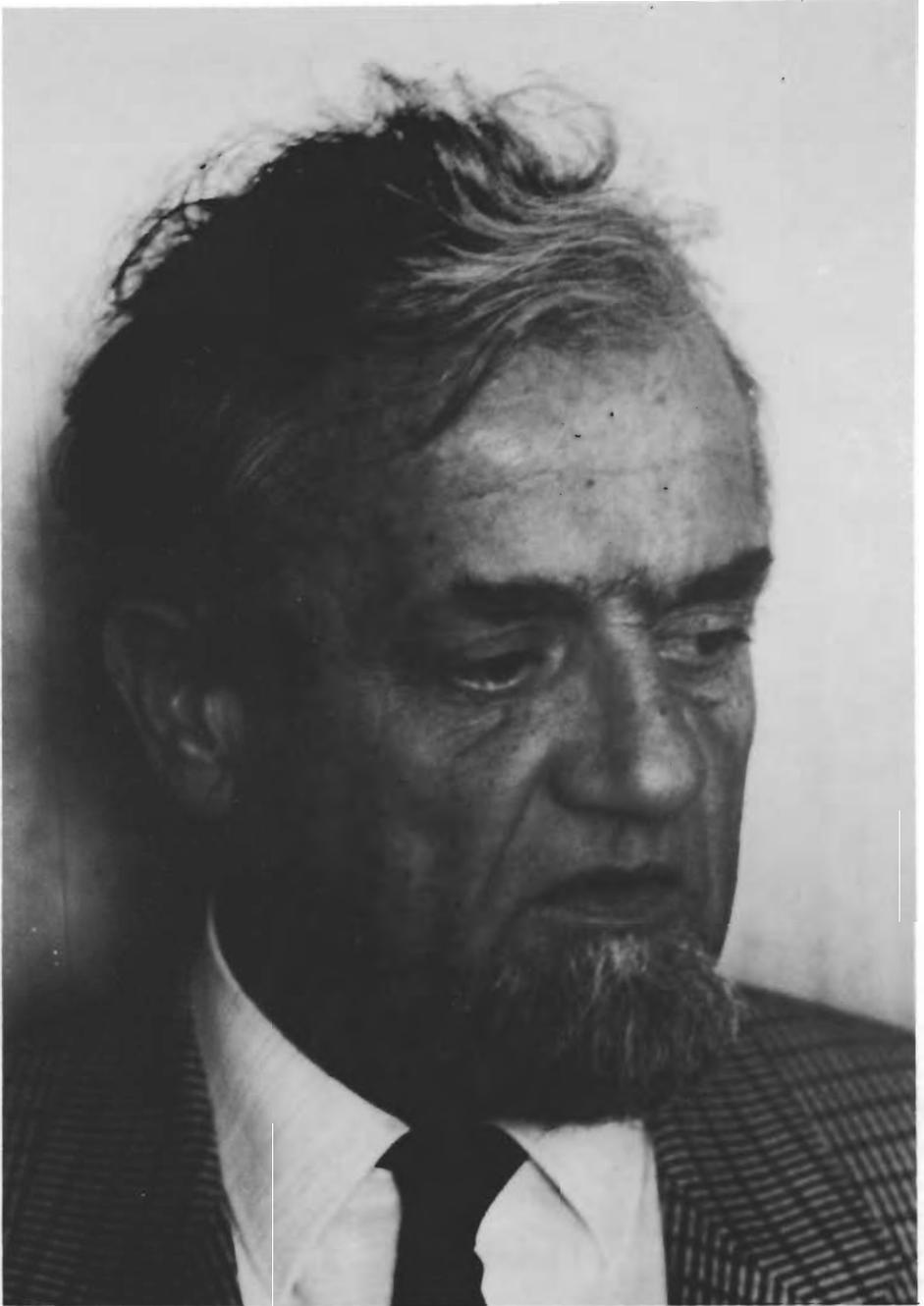
Die Dissertation im Kristallin der Niederen Tauern saugte den ersten wissenschaftlichen Schweiß und wurde mit dem Titel „Die Geologie der nordöstlichen Schladminger Tauern“ approbiert. Im Jahre 1954 stand ein junger, schlanker, zäher, tiefsinniger und herzensfroher Mann im Festsaal der Karl Franzens Universität zu Graz und wurde zum Dr. phil. promoviert. Ein Geologe war geboren, der seinen Weg dahin häufig selbst mit fachlichen Hürden besetzte, die es zu überspringen galt. Engagement, Talent und Fleiß waren seine Verbündeten.

Selbst ein solcher Geologe stürzt sich in das menschlich-gesellschaftspolitische Abenteuer einer Ehe. Die Berggefährtin Margarete war es, die ihm zwei Töchter gebar und mutig Schritt hielt im oft stürmischen Auf und Ab eines exzessiv getönten Geologendaseins.

Ernst Weiss kam 1954 provisorisch im Landesmuseum für Kärnten unter. Dort wurde er zwei Jahre lang als eine Art geologisches Hausfaktotum eingesetzt: Als Aufnahmogeologe, der die Kartierungsgebiete mit einem klapprigen Fahrrad ansteuerte und dort im Zelt oder Heustadl hauste; als Begleiter der Zoologen bei deren Höhlenbefahrungen; als Ordner der Literatur-, Gesteins- und Mineraliensammlungen; als Kurs- und Exkursionsleiter.

Allmählich erkannten Bautechniker, daß es da als Mitarbeiter von Prof. Dr. F. Kahler einen jungen Geologen im Lande gäbe, der Wissen mit Eingebung und einem Schuß Risikofreude zu verbinden wußte. Die baueologischen Aufgaben mehrten sich über das gesamte Land, der Erfahrungsschatz wuchs. Ein Provisorium auf Dauer? Danke Nein!

So landete Ernst Weiss 1956 in Nordschweden bei Boliden AB als Lagerstättegeologe in den einsamen Regionen Lapplands. Er war der erste Geologe, der die Sander'sche Gefügekunde für die Prospektion in diesen Gebieten mit Erfolg einsetzte. 1958 kehrte der erfundene Steiermärker wieder nach Kärnten zurück. Ein beamteter Planposten an der Landesbaudirektion winkte und wurde von den Zuständigen mit jener Freiheit ausgestattet, die ein Geologe vom Kaliber eines Ernst Weiss braucht, um konstruktiv arbeiten zu können. In diesem geistigen Freiraum entwickelte sich über mehr als ein Jahrzehnt zwischen Geologen, Projektanten und Bauausführenden jene legen-



däre kollegiale, auch freundschaftliche Zusammenarbeit, die Ernst Weiss entscheidend mitgestaltete. Als er im Jahre 1966 Chef der „Geologie von Kärnten“ wurde, besaß seine Baraffe EHW längst den autoritären Charakter eines Gütesiegels. Man sprach forthin davon, daß „Der EHW“ etwas feststellte, sagte oder schrieb.

Die fünfziger bis siebziger Jahre waren Perioden eines ausgeprägten Baubooms. Allein in Kärnten und der unmittelbaren Nachbarschaft wurden einige Großbauvorhaben wie Autobahn- und Straßentunnels, Großbrücken, Speicher- und Flußkraftwerksanlagen und Pipelines, sowie eine Vielzahl von sogenannten Kleinbauten projektiert und ausgeführt. Zusätzlich waren wichtige Aufgaben in Nord- und Zentralafrika und in Nordgriechenland zu erfüllen. Die Hochwasserkatastrophen der Jahre 1965 und 1966 forderten weitere Kräfte.

Das waren Zeiten für EHW und seine Mitarbeiter, die in fast Figaro gleicher Manier „hier“ und „dort“ zu werken hatten. Die Baugeologie erlebte dergestalt in jener Region einen ungemeinen Aufschwung, die Bedeutung des Baugeologen wuchs scheinbar wie von selbst. Wir alle jedoch wissen, welch gewaltiger persönlicher Einsatz von EHW dahinterstand.

Baugeologie und Bauwirtschaft, sowie viele verwandte Disziplinen verdanken dem Jubilar Impulse, die kaum überschaubar sind und nicht genug gewürdigt werden können.

1972 war es dann soweit. Der Geologe und Baugeologe Oberbaurat Dr. phil. Ernst Heinrich Weiss erhielt die Berufung als Hochschullehrer an die Universität für Bodenkultur in Wien und richtete dort die Lehrkanzel für Baugeologie im Rahmen des Institutes für Bodenforschung ein. Damit wurde genau jener Mensch gewonnen, der für den Typus einer stark angewandt orientierten Hohen Schule wichtig ist: Ein wissenschaftlich fundierter, erfahrener Praktiker und solider Handwerker mit einem angeborenen Talent zum guten, strengen aber verständigen Lehrer, traditionsverbunden und Neuem aufgeschlossen.

Mit dieser Ortsveränderung an den Ostrand der Alpen zog sich der Baugeologe EHW keineswegs aus den Inneralpen zurück, vielmehr stürmten neue Aufgaben auf ihn zu wie Lehre und Forschung an der Universität für Bodenkultur; Mitgliedschaft in der Staubeckenkommission des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft; Großbauvorhaben im Osten Österreichs; Ausweitung der internationalen Konsulententätigkeit. Kongreßteilnahmen, Studien- und Arbeitsaufenthalte in sämtlichen Kontinenten der Erde runden das Arbeitspensum ab.

So problemgeladen, zeitaufwendig und enervierend der Studienbetrieb auch sein kann, für EHW wird der Komplex allemal zu einem persönlichen Anliegen. Der Umgang mit jungen Menschen und der Einsatz für die Jugend liegen ihm; brummig und fordernd natürlich, manchmal auch sarkastisch. Völlig verschlossen und unzugänglich dann, wenn Desinteresse, Faulheit oder taktischer Schlendrian spürbar werden.

Schließlich denken auch die tüchtigen jungen Baugeologen daran, wie vehement EHW den Standpunkt vertrat, daß für die Zukunft dieser Beruf ein gesetzlich geschützter sein müsse, was Normalgeologen gegenüber einen modifizierten Studienweg und spätere prüfungsgebundene Registrierung bedinge.

Prüflinge, Mitarbeiter, Kontrahenten, Kommissionsmitglieder und Freunde wissen, daß EHW meist starke, oftmals sehr überraschende Argumente ins Treffen führt. Nur Freunde wissen, wie hart er arbeitet und mit sich selbst rauft, bis er die sachliche, doch stets personifizierte, Synthese zwischen Baugeologie, Baugeschehen, Bauwerk und den vielen Randbedingungen im Umfeld (Umweltgeologie heute) schaffen kann.

Nach fast 40-jähriger Freundschaft weiß ich eines und das halte ich hier fest, weil es mir für den Menschen EHW so typisch und für den Baugeologen EHW so wichtig scheint: Er stellt sich Problemen und macht sich deren Lösung nicht leicht, und er wird, Gott sei Dank, weiterrufen mit sich und der Welt.

Allein schon deshalb gehört er einem kleinen, elitären Kreis ähnlich Gesinnter an, besitzt also Seltenheitswert.

Denkvorgänge brauchen ihre Zeit. EHW opfert daher nie Qualitätsansprüche gewissen Zeitvorgaben, selbst auf die Gefahr hin, der Nichtpünktlichkeit geziehen zu werden.

Jene, die den außerberuflichen EHW kennen, schätzen ihn als diskussionsfreudigen Philosophen und Polyhistor, der Musik, den schönen Künsten und der Literatur stark verbunden; lieben ihn als geselligen Erzähler und Gesprächspartner, der zu guten Späßen immer aufgelegt ist, ein Naturliebhaber, der früher extremer und risikofreudiger Alpinist war. Freunde fühlen sich stark geborgen in seiner unbedingten Verlässlichkeit und seinem Verständnis für Probleme.

Der Stoff, mit dem der Geologe EHW arbeitet hat viele Kanten, Sprünge, Rauigkeiten und Farben. Seltener sind glatte harmonische Flächen. Spannungen und Schwachstellen gibt es ebenso wie Kompaktes. Eine Materie voll innerer Dynamik, mit Actio und Reactio. Findet die Persönlichkeitsstruktur des Jubilars hier nicht ihre Entsprechung?

Das Publikationsforum für junge Akademiker der Geowissenschaften gibt sich die Ehre eine kleine Festschrift zu gestalten. Zugleich damit wird der Dank an den Jubilar, Herrn O. Univ. Professor Dr. phil. Ernst Heinrich WEISS, für sein Bestreben abgestattet die österreichische baugeologische Tradition von J. Stini und O. Ampferer über E. Clar und G. Horninger fortzuführen und zu erweitern.

Gratulanten aus allen Lagern stellen sich mit den besten Wünschen ein. Die Freunde schließen sich an und wünschen Dir ein erfülltes Leben und fortan Spannung und Freude im Beruf.

Glück Auf !

Innsbruck 1986

R. Stern

**VERZEICHNIS DER WISSENSCHAFTLICHEN PUBLIKATIONEN
VON PROF. DR. E. H. WEISS**

(Verzeichnisse zusammengestellt von R. Schwingenschlögl)

- 01) – [in:] PAPP, A. & WEISS, E. H.: Ein Tortongeröll am Nordrand der Petzen. – Carinthia II, 66, 31–33, 1 Abb., Klagenfurt 1956.
- 02) WEISS, E. H.: Zur Petrographie der Hohen Wildstelle (Schladminger Tauern). – Miner. Mittbl. Joanneum, 2/1958, 9 Abb., 2 Prof., 1 Kt., Graz 1958.
- 03) – Drei Sedimentprofile in der Seitenkammer der Griffener Tropfsteinhöhle (III). – Carinthia II, 68, 16–23, 2 Abb., 2 Beil., Klagenfurt 1958.
- 04) – Eine Eis führende Schutthalde in den Gailtaler Alpen. – Carinthia II, 68, 62–63, Klagenfurt 1958.
- 05) – Das Kraftwerk Freibach „Die geologische Übersicht“. – ÖZE, 12/4, 229–244, 23 Abb., 1 Kt., Wien 1959.
- 06) – [in:] DOLENZ, H. & WEISS, E. H.: Die Kulturschichten in der Seitenkammer der Griffener Tropfsteinhöhle. Beiträge zur Kenntnis der Höhlen im Griffener Schloßberg (2. Folge), Carinthia II, 69, 13–26, 6 Abb., Klagenfurt 1959.
- 07) – [in:] DOLENZ, H. & WEISS, E. H.: Die Kulturschichten unter dem Höhlendach der Oberen Vorhöhle; Schnitt 1959. Beiträge zur Kenntnis der Höhlen im Griffener Schloßberg (3. Folge), Carinthia II, 70/2, 13–19, 1 Abb., Klagenfurt 1960.
- 08) – Ein Symposium mit Redaktion von 12 Mitarbeitern: „Ein Vorschlag zur qualitativen und quantitativen Klassifikation der kristallinen Schiefer“. – N. Jb. Miner. Mh., 1962, 7/8, 162–172, 5 Abb., Stuttgart 1962.
- 09) – Geologische Merkmale an neu erkundeten Kärntner Höhlen. – Carinthia II, 73, 91–115, 13 Abb., zahlr. Skizzen und Photos, Klagenfurt 1963.
- 10) – Vajont – Geologische Betrachtungen zur Felsgleitung in den Stausee. – Steir. Beitr. Hydrogeologie, 1963/64, 11–36, 10 Abb., Graz 1964.
- 11) – Ein Dazitvorkommen im Untergrund der Drau bei Lavamünd. – Carinthia II, 75, 39–46, 2 Abb., Klagenfurt 1965.
- 12) – Der Felsuntergrund an der Drau im Bereiche der neuen Villacher Nordbrücke. – Carinthia II, 75, 47–54, 2 Abb., Klagenfurt 1965.
- 13) – Zur Entstehung von Bruchstrukturen in glazialen Sand–Kies-Ablagerungen. – Carinthia II, 75, 55–63, 4 Abb., Klagenfurt 1965.
- 14) – [in:] SCHIECHTL, H. M., STERN, R. & WEISS, E. H.: In anatolischen Gebirgen. – Kärntner Museumsschriften, XXXI, 187 S., 60 Abb., 4 Taf., Klagenfurt 1965.
- 15) – Kraftwerksgruppe Fragant – 8. Geologische Übersicht, Voraussage und Erfahrung beim Bau. – ÖZE (Österr. Zeitschr. f. Elektrizitätswirtschaft), 22/10, 464–472, 2 Abb., Wien 1969.
- 16) – Eine neue Reliefdarstellung Kärntens. – Carinthia I, 160/4, 1076–1078, 1 Photo, Klagenfurt 1970.
- 17) – Der moderne Verkehrswegebau aus ingenieurgeologischer Sicht. – Sdr. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur in Wien. Fachveranstaltungen / Band V / Studienrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Teil 2, 1972, 25–56, 9 Abb., 1 Tab., Wien 1972.
- 18) – Die geologischen Verhältnisse und die baugeologischen Erfahrungen im Katsch-

- bergtunnel. – Tauernautobahn, 513–528, 2 Abb., Salzburg (Tauernautobahn AG) 1976.
- 19) – Die baueologische Prognose für den Schnellstraßentunnel durch den Arlberg, Tirol–Vorarlberg. – Rock Mechanics, Suppl. 5, 133–156, 9 Abb., Wien 1976.
 - 20) – [in:] LITSCHER, H. & WEISS, E. H.: Baueologische Untersuchungsergebnisse vom Untergrund der Sperre Hochwurten (Weißsee), Sonnblick. – Carinthia II, 167(87), 79–93, 6 Abb., 3 Tab., Klagenfurt 1977.
 - 21) – Zur Hydrogeologie des Grundwasseraustrittes der Gurk unterhalb der Prekova (Tiebelursprung). – Carinthia II, 167(87), 96–104, 4 Abb., Klagenfurt 1977.
 - 22) – Geologische Erfahrungen beim Bau des Arlberg Straßentunnels. – ÖIZ, 21/11, 395–402, 3 Abb., 2 Tab., Wien 1978.
 - 23) – [in:] RIEDMÜLLER, G. & WEISS, E. H.: Junge tektonische Bewegungserscheinungen im Liegenden der Silvrettedecke. – Verh. Geol. B.-A., 1979/2, 229–235, 3 Abb., Wien 1979.
 - 24) – Geologische Probleme bei der Projektierung von Kleinstaudämmen für Bewässerungszwecke im Dogonland, Republique du Mali. – ÖWW, 31(1/2), 21–29, 11 Abb., Wien 1979.
 - 25) – Pfeilerkopfmauer Minab, Iran – Baueologische Beurteilung. – PORR-Nachrichten, 79/80, 44–46, 1 Abb., Wien 1979.
 - 26) – [in:] HORNINGER, G. & WEISS, E. H.: Engineering Geology in Mountainous Regions. – Abh. Geol. B.-A., 34, 257–286, 14 figs., Vienna 1980.
 - 27) – Kulturtechnik und Ingenieurgeologie. – Wiener Mitt., 33, M1–M26, Wien 1980.
 - 28) – , MÜLLER, H. W., RIEDMÜLLER, G. & SCHWAIGHOFER, B.: Zum Problem quellfähiger Gesteine im Tunnelbau. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10/5, 207–210, 3 Abb., Innsbruck 1980.
 - 29) – Die baueologischen Erfahrungen im Arlberg Straßentunnel. – Festschrift „Der Arlberg Straßentunnel und die Zufahrtsrampen“, 263–277, 11 Abb. (Arlberg Straßentunnel AG), Innsbruck 1981.
 - 30) – Zur Geologie und Hangmechanik des Raumes zwischen Döllach und Fallbichl (Glocknerstraße-Süd-Rampe) im oberen Mölltal. – Mitt. österr. bodenkundl. Ges., Sdh. 3, Führer zur Exkursion durch das Glocknergebiet und die Karnischen Alpen in Kärnten, 8–19, 1 Abb., Wien 1981.
 - 31) – Zur Geologie des Nassfeld-Gartnerkofel-Gebietes, Kärnten. – Mitt. österr. bodenkundl. Ges., Sdh. 3, Führer zur Exkursion durch das Glocknergebiet und die Karnischen Alpen in Kärnten, 20–28, 1 Abb., Wien 1981.
 - 32) – Baueologische Betrachtungen zum Kraftwerksbau. – [In:] 100 Jahre Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, 333–352, Wien (Univ. f. Bodenkultur) 1983.
 - 33) – & MIKURA, E.: Geologische Kriterien bei der Kostenermittlung von Abtragsarbeiten im kristallinen Untergrund. – Felsbau, 1/34, 118–120, 3 Abb., Essen 1983.
 - 34) – [in:] SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E. H.: Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau, 3(4), 218–224, 8 Abb., 1 Tab., Essen 1985.

Verzeichnis der von Prof. Dr. E. H. Weiss betreuten Diplomarbeiten

(1. Prüfer)

1974

LANEVE ,Rudolf: Ingenieurgeologische Untersuchungen des Autobahntunnels durch den Assingberg.

1975

HÜPFL Rudolf: Ingenieurgeologische Analyse einer Dammdichtung – dargestellt am Beispiel des Gößkardammes der Kraftwerksgruppe Malta – Kärnten.

SWOBODA Günter: Die Portalbereiche des Arlberg–Schnellstraßen-Tunnels a) Ergebnisse der Verformungsmessungen im Vortunnel b) Baugeologische Aufnahme der Tunnelbereiche.

MITSCH Josef } Der Bau der Kölnbreinsperre im Maltatal aus der Sicht des
TSCHULIK Raimund } Verkehrswegebau (eine ingenieurgeologische Analyse).

1976

PETUTSCHNIK Ernst Dieter: Überprüfung und Beurteilung von Gesteinsvorkommen im Bereich der geplanten Trasse der Südautobahn; Abschnitt Pack–Twimberg.

1977

WEBER Fritz: Baugeologische Aufnahmen und Kriterien der Vortriebsmethoden im Selzthal-Tunnel, Steiermark.

SPIEGL Helmut: Untersuchungen über Straßenbaumaterialien im Kristallin der Böh-mischen Masse.

KAISER Christian: Die Ergebnisse der baugeologischen Aufnahme und der bodenme-chanischen Prüfungen des Bauabschnittes Ybbs–Ennsdorf der Produktenleitung West, mit besonderer Berücksichtigung der Rutschgebiete in den Strengbergen.

GROSS Horst: Grundwasserverhältnisse beim Wiener U-Bahn Bau.

MANFREDA Josef: Kartierung der Rutschungen des Thurnbaches und Vorschläge für deren Sanierung.

1978

HASCHA Rudolf: Mitterbergtunnel – Südautobahn – Baugeologische Dokumenta-tion.

1979

BRANDSTETTER Franz: Ingenieurgeologische, bodenmechanische Analyse des Rutschgeländes Schilfteich im Garten der WIG 74 in Oberlaa.

MÖSSLER Siegfried: Mögliche Verunreinigungsherde der Thomas- und Unions-quelle; obere Fellach–Stadt Villach (ein Beitrag zur Hydrogeologie der Dobratsch Ostseite).

WALTENBERGER Friedrich: Baugeologische Dokumentation der Baustraße Ziller-tal von Maurach bis Häusling.

LEDERER Johann: Beileitungsstollen Fleißalm (KW Fragant) – baugeologische Do-kumentation.

1980

SCHLOSSER Hansjörg: Aufgaben der Erdwissenschaften bei der Prospektion, der Exploration, dem Transport (Pipelines) und der Lagerung des Erdöls in einer gesonderten Beschreibung der österreichischen Verhältnisse.

1981

GRITSCH Helmut: Ingenieurgeologische Untersuchungsergebnisse im Kraftwerksbau Kärntens: 1. Sperrstelle und Stauraum Zirmsee, Sonnblick 2. Eckbergstraße in der Kleinen Zirknitz, Mölltal 3. Mauer und Dämme Forstsee, Velden a/Wörther See.

RIECKH Florian: Die Stollen des KW Bodendorf (STEWEG) im oberen Murtal.

THEMESL Helmut: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Raume Jaunfeldspeicher Edling—Wölfnitzbach (Mittelkärnten) und die Nutzungsmöglichkeit von Grundwasservorkommen.

KITTL Harald: Geomechanische Interpretation bruchtektonischer Erscheinungsformen im Bereich des Beileitungsstollens Wöllabach.

1983

ERHART-SCHIPPEK Werner: Hydrogeologische Untersuchungsergebnisse im Raum Hagensdorf—Luising, Burgenland (unter Miteinbeziehung statistischer Analysen und wasserwirtschaftlicher Aspekte).

CZERNY Helmut: Die Untergrundverhältnisse einiger österreichischer Sperren und der Versuch eines Kostenvergleiches.

1984

ANGERER Ralph: Quartärgeologische Aufnahme im Drauabschnitt zwischen Villach und Rosegg.

BEYWINKLER Herbert R.: Ingenieurgeologische und geodätische Untersuchung eines aktiven Rutschhanges der Liegenschaft Garstenauer im Pechgraben, Laussa (OÖ).

SCHULZ Reinhard: Untergrundabdichtungen und Geschiebeuntersuchungen im Mölltal, Kärnten.

LAPUSCH Gunther: Ergebnisse der quartärgeologischen Stauraumkartierung des Zillergründls und zweier Stollenkartierungen.

SAMMER Hermann: Aufnahme d. Hydrogeol., Erosion und Vegetation des Einzugsgebietes des Gödnacher Baches mit Vorschlägen über die Sicherungsmaßnahmen.

1985

LUKAN Manfred: Aufnahme und Erläuterung von quartären Kiesen, Sanden und Moränen im östlichen Klagenfurter Becken.

BERTAGNOLI Michael: Geologische Untersuchung des Raumes zwischen Hirschegg-Rein, Packsperrre und Hierzmannsperrre und generelle geologische Stollenprognose für einen Beileitungs- und Triebwasserstollen im Zuge des Projektes „Neue Sperrre Pack“.

MURER Erwin: Untergrundabdichtung Damm—Zirmsee (KW-Zirknitz)

HOLZHUBER Michael: Ergebnisse der geologischen Aufnahme und der geotechnischen Messung im Abschnitt 297 m bis 1910 m des Triebwasserstollens Zillergründl, Tirol.

1986

- SCHEIBENREITER Paul: Geologische Aufnahme des Staudammes Wurten/Fragant, Kärnten (Projekt „Dammerhöhung“).
- GERSTNER Reinhold: Geologische Erkundungen und Dichtungsmaßnahmen am Speicher Freibach – Kraftwerk Freibach der Kärntner Elektrizitäts-Gesellschaft. 1. Teil: Geologie und Morphologie des Speichers. 2. Teil: Teilsanierung der Untergrunddichtung des Freibach-Dammes.
- SCHMALZMEIER Reinhard: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Kristallingebiet von Bretstein, östliche Wölzer Tauern, Steiermark.

Verzeichnis der von Prof. Dr. E. H. Weiss betreuten Diplomarbeiten (2. Prüfer)

1976

- | | |
|-------------------|--|
| HAULEITNER Rudolf | } Spezielle Betrachtung des Schwerstofftransportes der drei Flüsse Steyr, Krumme Steyr und Reichramingbach unter besonderer Berücksichtigung der geologischen und morphologischen Gegebenheiten. |
| KAFFAREK Werner | |
- HOLZMANN Heinz: Im Zuge der Untersuchungen für die Speicherprojektierung Molln wurden in den Jahren 1969–1970 Umweltisotopengehaltmessungen an 32 Gewässerbeobachtungsstellen durchgeführt.

1979

- KLIMKA Ferdinand Karl: Speicherwirtschaft Nordafrikas am Beispiel Ägyptens, Tunesiens und Marokkos.
- HINKER Wolfgang: Feststofftransport im Einzugsgebiet des Wolfgrabens.

1980

- NEUNTEUFEL Erich: Datenbank-System zur Erfassung bodenmechanischer Kennwerte.

1982

- WANIVENHAUS Bernd: Ursache der Flutwelle Nare Dranka 1977 Nepal – Himalaya.
- JENTSCH Gunter: Ablauf der Flutwelle Nare Dranka Nepal – Himalaya.
- PRIMETZHOFFER Felix: Abflußverhalten im Einzugsgebiet des Speichers Margaritze.
- OBWEGS Robert: Verdichtungskontrollen im Rohrleitungsbau.

1983

- PISTECKY Wilfried: Das Qattara-Projekt.
- PFEIL Johann: Vergleich von FE-Berechnungen an einem Staudamm.
- BERGER Rupprecht: Auswertung von Modellversuchen.
- SCHWINGHAMMER Konrad: Zerstörungsfreie Verdichtungskontrollen im Rohrleitungsbau bei glasfaserverstärkten Kunststoffrohren.
- PAUSZ Erwin: Auswirkung von Modellversuchen für den aktiven und passiven Erd- druck (Verzerrungsfelder).

1984

- LA ROCHE Gabriele: Bodendynamische Grundlagen zur Berechnung schwingender Bodenbearbeitungswerkzeuge.
- ROTTLER Martin: Varianten für die Herstellung einer tiefen Baugrube in feinkörnigen Böden mit starkem Wasserandrang.
- ZORZI Michael: Untersuchung über die Vertikalbelastung eingebetteter Rohre.
- REITERER Andreas: Unterlagen zu einem Projekt im Tiefentalbach im Sellrain-Tal (Tirol).

1985

- SCHMIED Engelbert: Unterlagen für die Erstellung eines Verbauungsprojektes für den Ploiergraben (Gemeinde Kleinarl, Bez. St. Johann/P.G.).
- RAEISSI Hadi: Anwendung der Methode der finiten Elemente bei der Berechnung eines Staudammes.

1986

- BREDL Peter: Felsmechanische Demonstrations-Modellversuche mit dem Base-Friction Gerät.
- PERR Manfred: Untersuchungen über ein nichtlineares Stoffgesetz für Böden. Allgemeine räumliche Verformung.
- SALAMAT Ali: Erfassung von Erddruck- und Tragfähigkeitsbeiwerten durch Näherungsfunktionen.

Verzeichnis der von Prof. Dr. E. H. Weiss betreuten Dissertationen und Habilitationen

Dissertationen

1974

MÜLLER, Harald, Dipl. Ing.: Mineralogische Untersuchungen an Böden auf Lockersedimenten des Wiener Raumes in Abhängigkeit vom Klima.
Begutachter: FRANZ, WEISS

1976

MIKURA Erik: Die Wellenstruktur im Bittescher Gneis nordwestlich Horn, Niederösterreich.
Begutachter: WEISS, TOLLMANN

1978

STEINGRUBER Rolf, Dipl. Ing.: Problematik von Bewässerungsspeichern im Dogonland (Mali).
Begutachter: RADLER, WEISS

1982

FIGALA Gerd, Dipl. Ing.: Grundwassererschließung für eine zentrale Wasserversorgung in einem alpinen Raum.
Begutachter: RADLER, WEISS

1983

PREINDL Peter, Dipl. Ing.: Einfluß des in-situ Spannungszustandes auf die Standsicherheit.
Begutachter: PREGL, WEISS

Habilitationen

1975

SCHWAIGHOFER Bernd, Dr. phil.: Die Verwitterung basischer Vulkanite.

1976

RIEDMÜLLER Gunther, Dr. phil.: Genese und Charakteristik der Rauhacken.

1981

MÜLLER Harald, Dipl. Ing., Dr. rer. nat.: Mineralogische, chemische und morphologische Untersuchungen an Verwitterungsprofilen vulkanischer und metamorpher Gesteine.

Die technische Geologie als Ziviltechniker-Sparte

von

Werner FÜRLINGER

Anschrift des Verfassers:

Dr. phil. Werner Furlinger

Ingenieurkonsulent für technische Geologie (ZT)

Karlbauernweg 12

Tel. 0662/38645

A-5020 Salzburg

Inhalt

1. Zusammenfassung	16
2. Einführung	16
3. Rechtliche Grundlagen	17
3.1. Das Bundesgesetzblatt Nr. 143 vom 1. März 1978 (Novelle zum ZT-Gesetz)	18
3.2. Das Ingenieurkammergesetz (BGBl Nr. 71 vom 22. Jänner 1969)	19
4. Wie wird man Ingenieurkonsulent für technische Geologie ?	19
4.1. Ansuchen um Zulassung zur Ziviltechnikerprüfung	19
4.2. Die Ziviltechnikerprüfung	20
4.3. Erlangung der Befugnis	21
4.4. Beitritt zur Ingenieurkammer	21
5. Liste der Befugnisträger eines Ingenieurkonsulenten für technische Geologie	22
6. Literatur	22

1. Zusammenfassung

Die Technische Geologie ist seit 1978 Ziviltechniker-Sparte. Die Aufnahme des Fachgebietes Technische Geologie in das Ziviltechnikerwesen hat Univ. Prof. Dr. E. H. WEISS maßgeblich betrieben.

Im folgenden Beitrag werden das Wesen der Ziviltechnikerschaft erläutert und die gesetzlichen Grundlagen zitiert und kommentiert. Die korrekte Berufsbezeichnung für den Geologen als Ziviltechniker ist „Ingenieurkonsulent für Technische Geologie“. Als solcher genießt er umfangreiche staatlich autorisierte Befugnisse als Berater und Gutachter. Die Erlangung der Befugnis ist an eine mehr als achtjährige praktische Berufserfahrung und an eine kommissionelle Prüfung geknüpft.

Für diejenigen Fachkollegen, die eine freie Berufsausübung erwägen, wird ein praktischer Leitfadens zur Befugniserlangung gegeben.

Im Anhang sind die Namen und Adressen der Befugnisträger (Stand Juni 1986) aufgeführt.

2. Einführung

Der Grundstein für das Ziviltechnikerwesen in seiner heutigen Form wurde durch das „Privattechnikergesetz“ im Jahre 1860 gelegt. Die Ziviltechnikerschaft feierte also vor kurzem ihr 125-jähriges Bestehen. In den Anfängen dieses Berufsstandes wurden drei Klassen von „autorisierten Technikern“ unterschieden, nämlich „Zivilingenieure für alle Baukörper“, „Architekten“ und „Geometer“. Jeder der drei Sparten wurden bestimmte Befugnisse eingeräumt, für deren Erlangung schon damals der Nachweis der entsprechenden Studien und einer mehrjährigen Praxis zu erbringen war. Der Grundgedanke für die Schaffung eines staatlich autorisierten Technikerstandes entsprang der Notwendigkeit, die behördlichen Stellen von den zivilen technischen Aufgaben zu entlasten. Dies fand unter anderem in der Formulierung, daß „den Gemeinden, verschiedenen Korporationen und Vereinen, die Möglichkeit ge-

boten werde, zur Projektierung, Ausführung und Kollaudierung ihrer Baulichkeiten sich verlässlicher Techniker zu bedienen, ohne wie bisher die landesfürstlichen Bauorgane in Anspruch nehmen zu müssen . . . “ seinen Ausdruck.

Im Laufe der Zeit erfolgte die Ausweitung der Ziviltechnikerbefugnis auf viele Fachrichtungen. Nach mehreren Änderungen der Gesetzesmaterie in Anpassung an die sich wandelnden Bedingungen wurde das Ziviltechnikergesetz im Jahre 1957 neu formuliert, und hat mit den Novellen der Jahre 1958, 1974 und 1978 bis heute Gültigkeit. Heute werden unter dem Begriff „Ziviltechniker“ die Berufsgruppen der Architekten, der Zivilingenieure und der Ingenieurkonsulenten zusammengefaßt.

Die Geologie wurde erst mit der jüngsten der zitierten Novellen, also im Jahre 1978, in das Ziviltechnikerwesen integriert. Für den Fachbereich „technische Geologie“ wird die Befugnis des Ingenieurkonsulenten verliehen.

Daß wir als Geologen heute die Möglichkeit haben, uns in den Ziviltechnikerstand einzugliedern, ist ein Verdienst unseres Jubilars, Prof. Dr. E. H. WEISS, der von Kärnten aus, in seiner damaligen Funktion als Landesgeologe, die Aufnahme der Geologie als Ziviltechniker-Sparte vertreten und betrieben hat. Es wurden dadurch die Voraussetzungen geschaffen, die Geologie als freien Beruf vor einem in sozialer und rechtlicher Hinsicht geordneten Hintergrund auszuüben.

Die korrekte Bezeichnung für den Geologen als Ziviltechniker lautet „Ingenieurkonsulent für technische Geologie“.

Zur Erlangung einer facheinschlägigen Befugnis ist es grundsätzlich erforderlich, die entsprechende Befähigung durch die Absolvierung von Fachstudien, durch praktische Tätigkeit und durch die Ablegung einer kommissionellen Prüfung – der sogenannten Ziviltechnikerprüfung – nachzuweisen. Diese Erfordernisse sind im Ziviltechnikergesetz festgelegt.

Studiennachweis und der Nachweis der praktischen Tätigkeit sind fachspezifisch definiert und an die bestehenden Ausbildungsmöglichkeiten angepaßt. Die Prüfung erstreckt sich für alle Bewerber auf die rechtlichen und fachlichen Vorschriften des Fachgebietes, auf das österreichische Verwaltungsrecht, auf Berufs- und Standesfragen und auf die Volkswirtschaftslehre.

Nach erfolgreich abgelegter Prüfung und bei Vorliegen der erforderlichen Praxisjahre wird die Befugnis über Ansuchen vom Bundesminister für Bauten und Technik für einen bestimmten Kanzleisitz verliehen.

Der vor der zuständigen Behörde (Landeshauptmann, Landesbaudirektor) abgelegte Eid verpflichtet den Ziviltechniker in Angelegenheiten seiner Tätigkeit gewissenhaft und verschwiegen zu sein. Der Ziviltechniker ist berechtigt, ein Rundsiegel mit Staatswappen zu führen.

3. Rechtliche Grundlagen

Das Ziviltechnikergesetz legt die Fachgebiete, für die Ziviltechnikerbefugnisse verliehen werden, sowie den erforderlichen Studiennachweis, Befugnisinhalt und -umfang, fest. Die bereits erwähnte Novelle aus dem Jahre 1978 betrifft erstmals auch die technische Geologie. Im Ingenieurkammergesetz ist die Selbstverwaltung des Berufsstandes durch die Kammern geregelt.

3.1. Das Bundesgesetzblatt Nr. 143 vom 1. März 1978 (Novelle zum ZT-Gesetz)

Laut § 9(1) c. ist für das Fachgebiet technische Geologie die Zurücklegung der Fachstudien nachzuweisen, durch die erfolgreiche Ablegung der abschließenden Diplomprüfung in der entsprechenden Studienrichtung (im entsprechenden Studienzweig) an einer Universität.

Die Zurücklegung der Fachstudien kann außerdem nachgewiesen werden, lt. § 9 (3)d für das Fachgebiet technische Geologie durch die erfolgreiche Ablegung der abschließenden Diplomprüfung im Studienzweig Montangeologie an einer Universität.

Dazu ist zu bemerken, daß verbindliche Studienpläne für das Diplom-Studium in technischer Geologie am Universitätsort Graz erst vor wenigen Jahren geschaffen worden sind, in Wien sind sie in Vorbereitung; dies, obwohl die entsprechenden Studien-zweige der Studienrichtung Erdwissenschaften mit dem Universitätsorganisationsgesetz (UOG) 1975 vorgesehen worden sind.

Für alle jene Geologen, deren Ausbildung im Rahmen eines Studiums an den philosophischen Fakultäten unserer Universitäten bis vor kurzem ohne Diplom direkt zum Doktorat führte und die zum Teil auf eine vieljährige erfolgreiche Berufspraxis in angewandter Geologie zurückblicken, fehlten bislang entsprechende Übergangsbestimmungen.

Dies führte zu dem Kuriosum, daß einschlägig berufstätige Geologen mit Doktorat einer Universität die Befugnis über einen Ausnahmeparagraphen (§ 17 des ZT-Gesetzes) erwerben mußten. Dieser sieht eine Befugnisverleihung auch dann vor, wenn Studien und Praxis nicht auf dem gleichen Fachgebiet zurückgelegt wurden, allerdings mit der Voraussetzung einer mindestens 8-jährigen Berufspraxis (gegenüber 5 Jahren im gesetzeskonformen Normalfall).

In besonderen Fällen wurden vom Bundesministerium für Bauten und Technik allerdings bei Befugnisansuchen erfahrener Fachkollegen die Bestimmungen sinngemäß und großzügig angewendet. Die Beseitigung der Diskrepanzen steht in einer neuerlichen Anpassung des Gesetzestextes bevor.

Das ZT-Gesetz beschreibt auch den Inhalt und den Umfang der Befugnisse. Nach § 5 sind Ziviltechniker in allen Zweigen ihres Fachgebietes berechtigt:

- a) zur Verfassung von Projekten, Plänen, Leistungsverzeichnissen und Voranschlägen;
- b) zur Überwachung und Leitung der Herstellung baulicher, technischer und betrieblicher Anlagen und Einrichtungen sowie deren Abrechnung und Abnahme (Kollaudierung);
- c) zur laufenden Überprüfung und Überwachung von maschinellen Anlagen und Betriebseinrichtungen, Revisionen und Betriebskontrollen, sofern nicht durch gesetzliche Vorschriften eine besondere Befugnis gefordert wird;
- d) zur Beratung und Durchführung von fachtechnischen Untersuchungen und Überprüfungen aller Art sowie Betriebsrationalisierungen;
- e) zur Abgabe von Gutachten, Schätzungen und Berechnungen;
- f) zur fachtechnischen Überprüfung der von anderer Seite verfaßten schriftlichen oder planlichen Unterlagen;
- g) zur berufsmäßigen Vertretung von Parteien vor Behörden sowie öffentlich-rechtlichen Körperschaften einschließlich der Verfassung von Eingaben in technischen Angelegenheiten und zur berufsmäßigen Beratung in allen in das Fachgebiet einschlägigen Angelegenheiten;
- h) zur Durchführung der mit vorstehenden Tätigkeiten zusammenhängenden Messungen.

Die Berechtigung umfaßt lt. § 5, Abs. 2 B, Punkt e) für Ingenieurkonsulenten für technische Geologie: „das gesamte Fachgebiet, insbesondere *technisch-geologische Untersuchungen für Straßen-, Kraftwerks-, Brücken-, Stollen- und Tunnelbauten, Kavernen, Rutschungen und Steinbrüche, hydrogeologische und montangeologische Untersuchungen*“.

3.2. Das Ingenieurkammergesetz (BGBl Nr. 71 vom 22. Jänner 1969)

Das Ingenieurkammergesetz aus dem Jahre 1969 ist das Organisationsstatut der Ziviltechnikerschaft.

Es regelt die Errichtung der Ingenieurkammern (Länderkammern, Bundeskammer) die zur Vertretung des Standes der staatlich befugten und beeideten Ziviltechniker vorgesehen sind.

Im Bundesgebiet gibt es vier Länderkammern, mit den Wirkungsbereichen für:

- o Wien, NÖ und Burgenland mit dem Sitz in Wien
- o Steiermark, Kärnten mit dem Sitz in Graz
- o OÖ und Salzburg mit dem Sitz in Linz
- o Tirol und Vorarlberg mit dem Sitz in Innsbruck

Die Kammern beaufsichtigen das standesgemäße Verhalten der Kammermitglieder (Erlaß von Standesregeln), sie schlichten Streitigkeiten zwischen ihren Mitgliedern (Schiedsgerichte, Disziplinargerichtsbarkeit) und sie betreiben einen Unterstützungsfonds für ihre Mitglieder und deren Hinterbliebene (Wohlfahrtseinrichtung). Die Bundeskammer hat außerdem die Funktion, für ZT-Leistungen Mindestgebührensätze sowie Grundsätze über die Honorarabrechnung in Gebührenordnungen festzulegen.

Die Zeitgrundgebühr beträgt derzeit pro Stunde mindestens öS 499,-. Eine Gebührenordnung für geologische und geotechnische Leistungen befindet sich in Vorbereitung.

Eine Bestimmung (2.6) der erwähnten Standesregeln sieht z. B. vor, daß der ZT zur Bearbeitung der nicht in sein Fachgebiet fallenden Arbeiten nach Möglichkeit einen ZT der entsprechenden Fachrichtung heranzuziehen bzw. dem Auftraggeber vorzuschlagen hat.

Die konsequente Beachtung dieses Punktes würde eine bessere Ausnutzung der beachtlichen Möglichkeiten der Sonderfachleute bewirken, die Rechtssicherheit der einzelnen ZT wahren und dem Auftraggeber zu einer abgerundeten Beratung verhelfen und damit auch die Entscheidungshilfen für die Amtssachverständigen bei Verfahren verbessern.

4. Wie wird man Ingenieurkonsulent für technische Geologie?

Als Orientierungshilfe für Interessierte werden im folgenden die für die Befugniserteilung notwendigen Schritte angeführt und kommentiert.

4.1. Ansuchen um Zulassung zur Ziviltechnikerprüfung

(Merkblatt bei der für den Wohnsitz zuständigen Länderkammer anfordern)

Voraussetzungen und Nachweise:

- österreichische Staatsbürgerschaft (Geburtsurkunde, Staatsbürgerschaftsnachweis)
- einwandfreier Lebenswandel (polizeiliches Führungszeugnis)
- fachliche Befähigung: Nachweis der Studien durch Diplome oder Doktorurkunde); Lebenslauf, eidesstattliche Erklärung (Formular der Kammer)

- **Praxisnachweis.** Die praktische Betätigung muß in einem öffentlichen oder privaten Dienstverhältnis erfolgt sein und mindestens 3 Jahre (nach Studienabschluß) betragen. Der Nachweis wird durch Zeugnisse des Dienstgebers erbracht. Als Nachweis der praktischen Berufserfahrung werden in begründeten Fällen auch Praxiszeiten anerkannt, die nicht in einem Angestelltenverhältnis geleistet wurden. Als Nachweis gelten Praxiszeugnisse, Auftragsschreiben, Honorarnoten, Einkommenssteuererklärungen.

Das Ansuchen um Zulassung zur Prüfung ist an das BM für Bauten und Technik zu richten und bei der örtlichen Länderkammer einzubringen. Das Ansuchen wird einem Kammermitglied des entsprechenden Befugnisbereiches zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Zulassung zur Ziviltechnikerprüfung erfolgt durch Bescheid des Bundesministeriums für Bauten und Technik. In diesem Bescheid ist auch der Prüfungsort festgelegt. Derzeit ist eine Prüfungskommission für technische Geologie nur beim steiermärkischen Amt der Landesregierung eingerichtet.

4.2. Die Ziviltechnikerprüfung

Die Prüfung wird von einer 5-köpfigen Kommission unter dem Vorsitz eines hohen Landesbeamten (Landesbaudirektor) abgenommen.

Als Vorbereitung für die Prüfung werden von der Ingenieurkammer für Steiermark und Kärnten in Graz periodisch Kurse abgehalten. Die Vortragenden dieser 14 Tage dauernden Blockveranstaltung bieten ein hohes Maß an praxisorientierter Information nicht nur über die gesetzlichen Rahmenbedingungen des Fachgebietes, sondern auch über das Ziviltechnikerwesen, dessen Organisation und Standesregeln, die Wohlfahrtseinrichtungen etc. sowie Volkswirtschaftslehre, Verwaltungsrecht und Staatswissenschaften.

Nicht zuletzt wegen der Möglichkeit des persönlichen Kennenlernens der künftigen Prüfer, die vielfach auch als Vortragende fungieren, empfiehlt sich die Teilnahme an einem Vorbereitungskurs.

Der Prüfungstermin kann mit dem Sekretariat der Landesbaudirektion (Amt der steiermärkischen Landesregierung) abgestimmt werden.

Die Prüfungsfragen beziehen sich auf:

- 1) die für das Fachgebiet relevante Gesetzesmaterie, z. B.: Fachnormen, Vorschriften über Versuchsdurchführungen etc.; Wasserrechtsgesetz, Berggesetz, Staubekkenverordnung, Wildbachverbauungsgesetz, Hydrographiegesetz, Bundesstraßengesetz, Eisenbahnteilungsgesetz, Dienstnehmerschutzverordnung etc.
- 2) Standesangelegenheiten
- 3) Verwaltungsrecht
- 4) Volkswirtschaftslehre

Die beiden letztgenannten Gegenstände können entfallen, wenn entsprechende Prüfungszeugnisse einer Hochschule vorgelegt werden. Über die Prüfungsfragen wird von einem Beisitzer Protokoll geführt.

Das Ergebnis der Prüfung wird nach kurzer geheimer Beratung durch den Vorsit-

zenden der Kommission bekanntgegeben. Der Kandidat wird als „befähigt“ oder „nicht befähigt“ qualifiziert.

Das Zeugnis wird dem Kandidaten im Anschluß an die Prüfung ausgehändigt.

4.3. Erlangung der Befugnis

Die Befugnis wird nach erfolgreich abgelegter Prüfung und bei Vorliegen der geforderten Praxiszeiten auf Antrag verliehen. Der entsprechende Antrag ist unter Beischluß der notwendigen Nachweise (Merkblatt der Kammer) im Wege der Kammer an das Bundesministerium für Bauten und Technik zu richten.

Die Befugnis wird mit einem Bescheid durch den Bundesminister für Bauten und Technik für den beantragten Kanzleisitz verliehen. Der Ziviltechniker wird bei dem für seinen Kanzleisitz zuständigen Landeshauptmann (Landesbaudirektor) vereidigt. Das Rundsiegel mit dem Namen, der Befugnisbezeichnung, dem Kanzleisitz und dem Staatswappen ist vor der Vereidigung der Kammer zur Genehmigung vorzulegen.

Es steht dem ZT frei, die Befugnis ruhen zu lassen oder auszuüben.

4.4. Beitritt zur Ingenieurkammer

Voraussetzung für die Befugnisausübung ist die Mitgliedschaft bei der für den Kanzleisitz zuständigen Länderkammer. Mit dem Beitritt zur Ingenieurkammer ist einmalig die Bezahlung einer Einverleibungsgebühr fällig. Diese ist in ihrer Höhe nach dem Beitrittsalter gestaffelt und beträgt derzeit z. B. für einen 35-jährigen 9500,—, bei einem Eintritt ab dem 60. Lebensjahr öS 106000,—.

Jährlich ist eine Kammerumlage zu bezahlen; ihre Höhe beträgt derzeit (1986) öS 13510,—. Sie enthält einen Beitrag für eine Gruppenhaftpflichtversicherung, die Schäden bis zu einer Höhe von mindestens 5 Mio. Schilling pro Fall deckt.

Obligatorisch ist auch die Teilnahme an der Wohlfahrtseinrichtung der Kammer, der Alters- bzw. Hinterbliebenenversorgung der Ziviltechniker. Sie beruht auf einem Umlageprinzip und ermöglicht eine Altersversorgung ab dem 69. Lebensjahr. Die Beitragshöhe, nach der sich auch die Höhe der Altersversorgung richtet, ist vom Versicherten in gewissen Grenzen frei wählbar.

Bei 50 %-iger Beitragsleistung ergeben sich vierteljährliche Kosten von ca. öS 18000,—.

Diese Kostenübersicht zeigt, daß zum wirtschaftlichen Betreiben eines Ziviltechniker-Büros ein gewisses Mindestauftragsvolumen erforderlich ist. Im Fachbereich der Geologie hat sich gezeigt, daß die Bereitschaft, Ziviltechniker heranzuziehen, leider keineswegs selbstverständlich ist. Selbst bei öffentlichen Auftraggebern ist bisweilen zu bemerken, daß sie sich minder qualifizierter Fachkräfte bedienen oder auch Hochschulpersonal mit geologischen Routineaufgaben belasten und damit dessen Kapazität für Forschung und Lehre schmälern.

Um auch den jüngeren Fachkollegen den Eintritt in die Ziviltechnikerschaft zu erleichtern, wurde 1984 der Verband der selbständigen Geologen Österreichs in Salzburg gegründet. Die Aktivitäten des Verbandes dienen auch der Erarbeitung eines zeitgemäßen Berufsbildes und der Vertretung der Berufsinteressen der freiberuflich

tätigen Geologen im ZT-Stand und jener, die durch die Beitrittserklärung bekunden, diesen Stand anzustreben.

5. Liste der Befugnisträger eines Ingenieurkonsulenten für technische Geologie

Ingenieurkammer für Wien, N.-Ö. und Burgenland:

a. o. Prof. Mag. Dr. Michael Schuch, Pelzgasse 13, 1150 Wien
Dr. phil. Walter Nowy, Max Kahregasse 25, 3400 Klosterneuburg
Mag. Dr. Ladislaus Toth, Burwegstraße 3, 3032 Eichgraben.

Ingenieurkammer für Steiermark und Kärnten:

Prof. Dr. phil. Walter Pohl (derzeit an TU Braunschweig, Institut für Geologie und Paläontologie).

Ingenieurkammer für Tirol und Vorarlberg:

Dr. phil. Manfred Köhler, Sennstraße 2, 6020 Innsbruck (Befugnis ruht derzeit)
Dr. phil. Dr. jur. Heiner Bertle, Dorfstraße 1, 6780 Schruns
Dr. phil. Josef Kaiser, 6752 Wald am Arlberg (Befugnis ruht derzeit).

Ingenieurkammer für Oberösterreich und Salzburg:

Dr. phil. Werner Förlinger, Karlbauernweg 12, 5020 Salzburg.
Dr. phil. Peter Baumgartner, Im Winkl 7, 4801 Traunkirchen.

6. Literatur

FÖRLINGER, W.: Der Ingenieurkonsulent für technische Geologie. – In: Ziviltechniker und Wirtschaft, Gestalter der Umwelt; Bau-Verl. Schmutzer GesmbH., 201–204, Wien, 1983

BGBI. Nr. 146 vom 18. Juni 1957

BGBI. Nr. 155 vom 9. Juli 1958

Kundmachung Nr. 642 vom 21. Oktober 1974

BGBI. Nr. 143 vom 1. März 1978.

Manuskript eingegangen am 7. Mai 1986

angenommen am 27. Juni 1986

Bau- und hydrogeologische Bedeutung eiszeitlicher Vorgänge

von

Dirk van HUSEN

mit 11 Abbildungen und 1 Tabelle

· Anschrift des Verfassers:
· Univ. Doz. Dr. Dirk van Husen
· Institut für Grundbau, Geologie und Felsbau
· Abteilung Geologie k
· Technische Universität-Wien
· Karlsplatz 13
· A-1010 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 23–45	Wien, 1986
---------------------------------------	----	----------	------------

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	24
1. Einleitung	24
2. Erosion	25
3. Talfüllungen nach dem Eistrückzug	28
3.1. Zungenbecken	28
3.2. Rezent aktive Beckenlandschaften	30
4. Massenbewegungen	34
5. Glaziale Sedimente	36
5.1. Grundmoräne	36
5.2. Endmoränen	37
6. Glaziofluviale Sedimente der Abschmelzphasen	39
6.1. Formen am Talrand (Eisrandterrassen)	39
6.2. Formen des Talbodens (Toteiserscheinungen)	40
7. Terrassenbildung	41
7.1. Oberflächengestaltung	42
7.2. Verwitterung	43

Zusammenfassung

Es wurden an Beispielen aus dem Baugeschehen die Auswirkungen hauptsächlich der letzten Eiszeit auf die Alpen und ihr Umfeld dargestellt. Daher wird prinzipiell auf die Vorgänge und Mechanismen der Gletschererosion (übertiefte Täler, U-Talbildung mit übersteilten Flanken) und -akkumulation (Moränen, Eisrandbildungen, Verfüllung der Talböden) sowie auf die periglaziale Terrassenbildung eingegangen. Die örtliche Verteilung wird, soweit möglich, behandelt um ein regionales Gesamtbild zu ermöglichen.

Summary

Examples from various construction sites are supposed to show the effects especially of the last glaciation on the Alps and their surroundings. Mechanisms of glacial erosion (overdeepening, U-shaped valleys with oversteepened walls) and accumulation (tills, ice-marginal sedimentation and valley bottom filling) as well as periglacial terrace forming are explained. The regional distribution of this may help to get an encompassing picture.

1. Einleitung

Die Umgestaltung der Täler der Alpen und ihrer Vorländer durch die, aus geologischer Sicht, kurzen, einschneidenden Ereignisse der Eiszeiten war sehr groß. Viele dieser rasch eingetretenen Veränderungen wirken noch heute nach und sind besonders bei Bauvorhaben oft von nicht unbedeutendem Einfluß, da ja ein sehr hoher Prozentsatz aller Bauvorhaben in eiszeitlichen Sedimenten durchgeführt wird oder mit ihnen in Berührung kommt.

Der Artikel beschreibt in sehr komprimierter Form die wesentlichsten dieser Veränderungen und Sedimente. Damit soll das Verständnis für manche Gegebenheiten und Zusammenhänge geweckt werden, um entweder manchmal überraschende Untergrundaufschlüsse, beziehungsweise erstaunliches Untergrundverhalten besser erklären oder um sich aber schon frühzeitig darauf einstellen zu können.

Die angeführten Beispiele aus der Baupraxis der letzten 10–20 Jahre stellen eine Auswahl dar und sind Belege für die Beeinflussung durch die von den Eiszeiten geschaffenen Untergrundverhältnisse. Aus Platzgründen mußte auf die Beschreibung der technischen Lösungen und Probleme verzichtet werden, die in der angeführten Literatur aber leicht nachzulesen sind.

2. Erosion

Der direkte Angriff des Gletschereises auf den Untergrund erfolgte durch den Fließvorgang, wobei die an der Gletschersohle mittransportierten Gesteinsstücke als Werkzeug dienen. Diese wirken je nach Korngröße schabend-kratzend oder schleifend-polierend, was zu der bekannten und im Umkreis der heutigen Gletscher weit verbreiteten Erscheinung der Gletscherschliffe führt. Solche werden im Zuge von Bauarbeiten aber auch häufig innerhalb der ehemaligen Eisausbreitung (Abb. 1) unter einer Sedimentbedeckung gefunden, die sie vor der Verwitterung geschützt hatte.

TROGTÄLER: Durch diese über den ganzen Gletscherverlauf vorhandene Erosion des bewegten Eises erfolgte hauptsächlich die Ausformung der fluviatil angelegten Täler zu den glazial überprägten Trog- oder U-Formen, die das heutige Bild der Alpentäler bestimmen. Unter der Voraussetzung, daß das Gletschereis durch seinen Gehalt an Gesteinsbruchstücken den Untergrund angreift, wird die Erosionsleistung neben der Eismächtigkeit (Auflagedruck) hauptsächlich von der Geschwindigkeit und der zur Verfügung stehenden Menge an Gesteinsbruchstücken bestimmt. Dabei ist es eine Eigenart der Gletschererosion, daß dabei im Tallängsprofil übertiefte Wannentischen, deren Sohlen bis zu mehreren 100 m tiefer liegen als die sie stromabwärts abschließende Felsschwelle (Abb. 2).

ÜBERTIEFTE BEREICHE: Ganz dieser Vorstellung entspricht auch die heute von manchen Stellen bekannte Tiefenlage der Felssohle unter den Talfüllungen. So wurde im Bereich der bayerischen Kalkalpen in vielen Tälern eine beträchtliche Übertiefung festgestellt (K. SEILER 1979), wo die Eismassen die engen Täler rasch durchströmten um die riesigen Zungen des bayerischen Alpenvorlandes ernähren zu können (Abb. 1).

Ebenso zeigt sich eine enge Relation zwischen diesen übertiefen Becken und der räumlichen Entwicklung der Eisströme. So finden sich in den Bereichen, wo öfter und über längere Zeit aktive Gletscherzungen existierten, auch deutlich übertiefte Becken (Abb. 2). Diese besonders aktive Erosion im Zungenbereich eines Gletschers ist wahrscheinlich hauptsächlich auf die zunehmende Anreicherung des Schuttes (das Eis schmilzt hier bereits ab) und die hohe Fließgeschwindigkeit zurückzuführen. Diese an der Sohle und an den Flanken aktive Erosion verursachte ja die Ausbildung auch morphologisch deutlicher Becken, die seit längerem als Zungenbecken bezeichnet werden (z. B. Salzburger Becken, Abb. 2 und 3).

Die hier aufgezeigten Zusammenhänge erleichtern die Auffindung und Lokalisierung solcher Bereiche um ihre Gegebenheiten in technisch-ökonomischem Sinn nut-

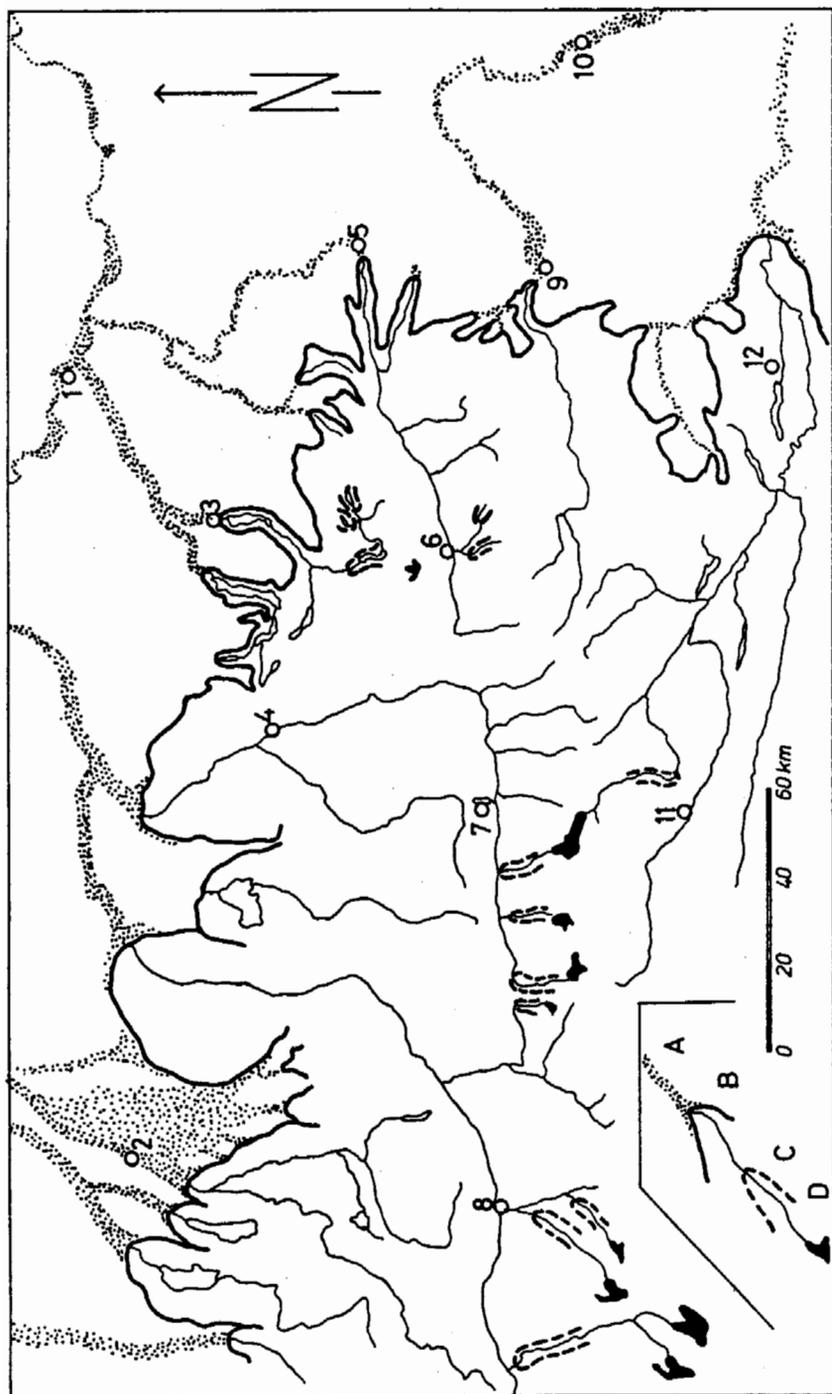


Abb. 1: Skizze des Eisstromnetzes der letzten Großvereisung (Würm) und der beiden jüngeren Gletscherstände.

A: Niederterrasse; B: Eisrand Würm; C: ausgewählte Gletscherzungen Gschmitz; D: ausgewählte Gletscherzungen von 1850.
 1 Linz, 2 München, 3 Gmunden, 4 Salzburg, 5 Hieflau, 6 Schladming, 7 Zell am See, 8 Innsbruck, 9 Judenburg, 10 Graz,
 11 Lienz, 12 Klagenfurt.

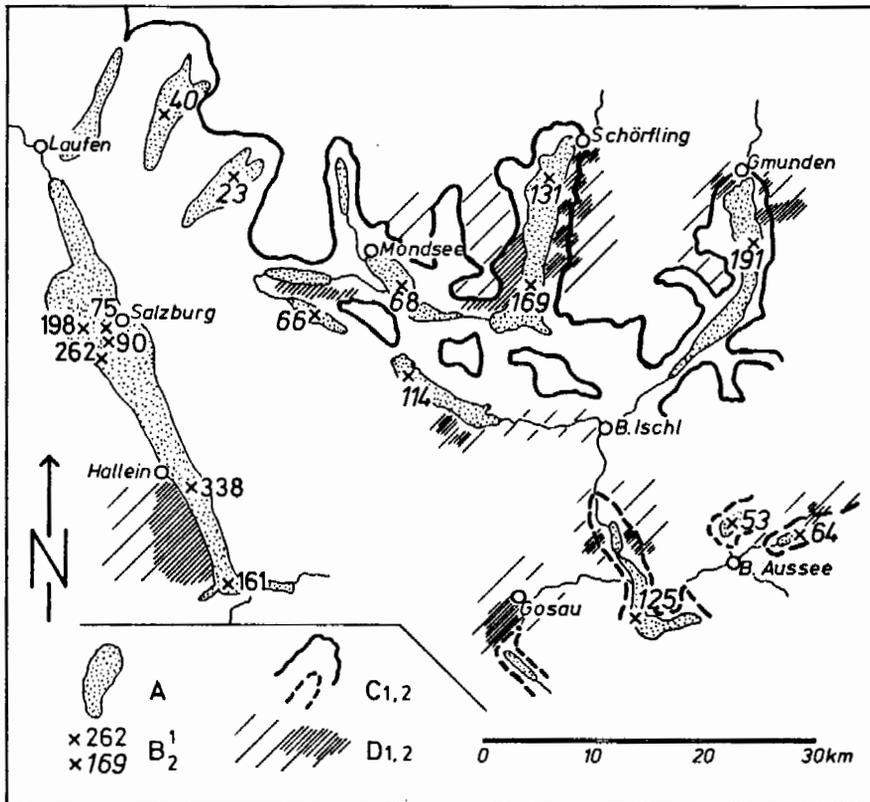


Abb. 2: Lagebeziehung von Gletscherzungen, übertieften Bereichen und Massenbewegungen am Beispiel des Salzach- und Traungletschers.

A: Übertiefte Bereiche; B1: Tiefe der Felssohle unter heutiger Talsohle; B2: Seetiefe (Mindestbeckentiefe ohne Seebodensedimente); C1: Gletscherzungen Würm; C2: Gletscherzungen Gschnitz; D1: für Massenbewegungen anfällige Gesteine (Flysch, Gosau); D2: ausgedehnte Massenbewegungen.

zen oder beachten zu können. Dabei läßt sich ihre Bedeutung hauptsächlich in zwei Gruppen fassen.

Erstens: Die Füllung der Becken mit Lockersedimenten, die die hydrologischen Verhältnisse und die Baugrundbeschaffenheit schufen.

Zweitens: In der meist besonders großen Labilität der durch die Gletschererosion stark unterschrittenen Flanken, die sich in ausgedehnten Massenbewegungen entlud oder nach wie vor äußert (Abb. 2).

Diese beiden meist durch große Dynamik charakterisierten Vorgänge beeinflussen nach dem Abschmelzen der Eisströme das Erscheinungsbild unserer heutigen Talböden und ihren oft sehr wechselhaften internen Bau.

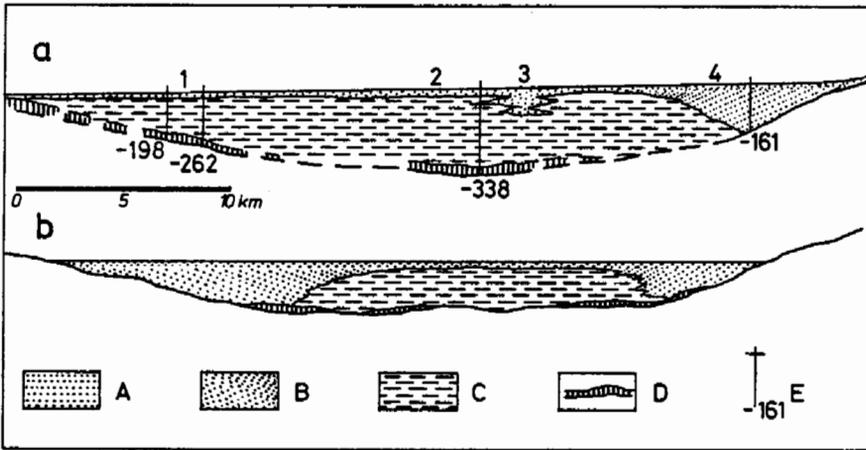


Abb. 3: Aufbau der Sedimentfüllung eines übertieften Zungenbeckens am Beispiel des Salzburger Beckens.

a: maßstäbliches Längsprofil, stark überhöht; b: schematisiertes Querprofil; A: abschließende Kiesbedeckung; B: Kiese mit Deltaschüttung; C: Bänderschluße des Seebodens; D: Grundmoräne; E: Bohrungen mit Tiefenangabe des Felsuntergrundes unter der Talsohle. 1 Salzburg – 2 Hallein – 3 Tauglmündung – 4 Golling.

3. Talfüllungen nach dem Eisrückzug

3.1. Zungenbecken

Nach dem Abschmelzen der Eismassen der letzten Eiszeit entstanden in den Zungenbecken ausgedehnte Seen, die einerseits heute, wenn auch in reduziertem Umfang, noch bestehen (Bodensee, Chiemsee, Attersee, Traunsee, Gardasee, usw.) oder völlig verfüllt sind (See von Rosenheim, Murnauer Becken, Salzburger Becken). Dasselbe gilt auch oft für die Zungenbecken der kleineren Gletscherstände der sogenannten Spätglazialen Phase (Abb. 2).

Die Verfüllung dieser Becken erfolgte generell nach dem Prinzip der Deltabildung, wobei im Mündungsbereich die groben Materialien (Kies, Sand) und im Beckentiefsten Schluff und Ton zur Ablagerung kommen (Abb. 3). Dabei hängt es zweifelsfrei – abgesehen vom Verhältnis Ausdehnung des Beckens zu Flußgröße – von der neben den groben Bestandteilen transportierten Schwebfracht ab, ob die Seen noch erhalten sind oder bereits kurz nach dem Eisfreiwerden verlandet. Nur so ist es erklärlich, daß fast alle Becken innerhalb der rein kalkalpinen Täler noch Seen enthalten, während die in denen aus Kristallingebieten fast ausnahmslos verlandet sind. Als Ausnahme sei hier nur das Bodenseebecken erwähnt, das dank seiner Größe der gänzlichen Verlandung entging. Das gesamte Rheintal von oberhalb Chur bis zur Mündung in den Bodensee wurde in einer Mächtigkeit von 400–600 m verfüllt (W. WILDI 1984).

GRUNDWASSER: Die recht klare Verteilung der verschiedenkörnigen Sedimente in solchen Becken legt eine Nutzung nahe. So stellen die Deltabereiche sehr gute

Grundwasserträger dar, die ständig von dem darüber verlaufenden Gerinne alimentiert werden. Diese Situation findet in der Wasserversorgung der Stadt Salzburg bereits ihre Nutzung, die noch weiter ausgebaut werden kann (H. BRANDECKER 1974, H. BRANDECKER & V. MAURIN 1982). So steht das sehr leistungsfähige (360 l/sec; BRANDECKER 1974, S. 30) Grundwasserpumpwerk St. Leonhard in den mächtigen Deltaablagerungen der Königsee Ache im Salzburger Becken.

Die ausgedehnteste und mächtigste Deltaschüttung dieses Beckens liegt aber im Süden um Golling, wo die Salzach und die Lammer als stärkste Zuflüsse gemeinsam mit dem Torrener Bach eine sehr mächtige Kiesfüllung bewirkten (max. 190 m; 161 m erbohrt). Hier erfolgt die Alimentation nicht nur durch die oberirdischen Abflüsse, sondern auch aus den Karstgebieten des Hagen- und Tennen Gebirges unter der Oberfläche. Diese unterschiedlichen Einflüsse auf den Grundwasserkörper sind in der Arbeit BRANDECKER & MAURIN 1982 sehr detailliert beschrieben, wo auch alle bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten und ausgewerteten Untersuchungen über Grundwasser- menge, -qualität und -bewegungen genau beschrieben sind.

Bei diesem Beispiel und allen ähnlich gelagerten ist es sicher von großer Bedeutung, daß durch die geologisch klar abgrenzbare Ausdehnung des Grundwasserkörpers und des Alimentationsgebietes ein Schutz solcher Vorkommen leichter möglich scheint. In Gebieten mit nicht verkarstungsfähigen Gesteinen als Umrahmung ist eine wesentliche Einengung des Infiltrationsgebietes gegeben.

In den kleineren Becken (z. B. Tauerntäler) ist die Sedimententwicklung während der Verfüllung oft nicht von einer alles ausgleichenden Seephase bestimmt und daher nicht immer so modellhaft ausgebildet. Hier bestimmt öfter die Durchflußgeschwindigkeit des Hauptbaches bei Hochwasser die Sedimentart. Dadurch kommt es zur Ausbildung von oft mächtigen Kieslagen, die den ganzen Talboden überdecken. Diese werden dann wieder von feinkörnigen Lagen aus Zeiten ruhigerer Sedimentationsbedingungen abgedeckt. Diese Sedimentabfolgen sind mit den grobkörnigen, sehr durchlässigen Schwemmkegeln der Seitenbäche verzahnt. Durch diese werden die groben, das ganze Becken überspannenden Lagen mit den Niederschlagswässern alimentiert. Durch diesen Bau tritt in solchen Lagen nicht selten artesisch gespanntes Grundwasser auf, das durch die meist hohe Durchlässigkeit in seiner Spiegelhöhe rasch auf Niederschläge reagiert.

BAUGRUND: In den angeführten Beispielen sind die schluffig-tonigen Beckenfüllungen mit einer Kiesschicht aus dem letzten Akt der Beckenfüllung abgedeckt, wodurch keine nennenswerten Probleme bei größeren Bauvorhaben auftreten, zumal ja bereits eine deutliche Vorbelastung durch die Kiese und damit eine gewisse Konsolidierung der Schluffe eingetreten sind. Als Beispiel mag hier der Baugrund der Stadt Salzburg dienen.

3.2. Rezent aktive Beckenlandschaften

Gänzlich andere Bedingungen finden sich in den Beckenlandschaften, die 1.) bis heute aktive Verlandung zeigen, wie im Raum südlich des Bodensees, oder 2.) wo die Verfüllung des Zungenbeckens durch Massenbewegungen (z. B. Mitterrennstal) oder 3.) besonders starke Schwemmkegelbildung der Seitenbäche beeinflußt wurde und wird.

ad 1: Im Fall der noch anhaltenden Verlandung eines Seebeckens wie des Bodensees sind in unmittelbarer Umgebung des Mündungsbereiches der Flüsse die Vorgänge

zu beobachten, die zeitlich etwas früher in heute bereits landfest gewordenen und genutzten Gebieten abliefen. So bilden sich einerseits in Altarmen des mäandrierenden Flusses, andererseits in den Buchten auf beiden Seiten des Deltas teilweise ausgedehnte Flächen mit Mooren und Sümpfen aus, die eine hohe Produktion organischer Substanz (jetzt Torf) aufweisen. Während stärkerer Hochwässer werden diese Bildungen wieder mit feinkörnigen, anorganischen Sedimenten bedeckt. So entsteht hier eine vertikal wie horizontal sich rasch ändernde Wechsellagerung dieser Materialien, die durch die fehlende Auflast, z. B. eine Kiesschicht, weder Vorbelastung noch eine ausreichende Konsolidierung aufweist.

Darüber hinaus ist auch die Fähigkeit zur Konsolidierung solcher Ablagerungen sehr beschränkt. Durch die sehr geringe Permeabilität der feinkörnigen, anorganischen Ablagerungen käme es erst unter großer Auflast in langen Zeiträumen zu einer stärkeren Konsolidierung, da ja zudem auch eine tieferliegende Vorflut fehlt, zu der hin eine Eigenentwässerung erfolgen könnte. Dadurch finden sich in solchen Gebieten bis in Bereiche tiefer Gründungen moderner Bauwerke weiche, hochplastische, kaum belastbare Ablagerungen.

Zwei Beispiele größerer Bauwerke in solchen Ablagerungen stellen der Verkehrsknoten südlich Zell a. See und die Autobahn im Rheintal nördlich Dornbirn dar. Über die Verhältnisse im Rheintal schreibt GMEINER 1976, daß die Untergrundverhältnisse von lockerem Torf bis breiigen und mäßig festen Schluffen und Tonen mit allen Übergängen reichten, in denen mit deutlich bis in große Tiefe reichenden Setzungen zu rechnen war. Demnach waren besondere Vorkehrungen, besonders bei Anschluß von Brücken zu Dämmen (Überführungsbauwerken) notwendig, um den zu erwartenden unterschiedlichen Setzungen entgegenwirken zu können. Diese stellten sich nach Fertigstellung zwischen Pfahlfundierung der Pfeiler und Damm im Verhältnis von 1 : 5 ein (GMEINER 1976).

ad 2: Durchaus ähnlichen Aufbau ihrer Füllung zeigen Zungenbecken, wo im Bereich des unterwasserseitigen Endes eine Anhebung des Flußniveaus anstatt einer langsamen Tieferlegung wie am Auslaß einer Seefüllung stattfand. Dies geschieht durch Massenbewegungen, die meist mit unregelmäßigem Ablauf periodische Anhebungen der Flußsohle bedingen. Beispiele dieser Entwicklung sind das Ennstal, sowie das Gailtal oberhalb Nötsch in großem, oder das Hörfeld im Görtschitztal in kleinerem Maßstab.

Wie die Bohrung der Ennskraftwerke für die Untersuchungen zum Grundwassersepeicher Mitterenstal zeigte, werden die obersten Meter von drei durchgehenden Schluffhorizonten gebildet, die sich mit größeren Sedimenten verzahnen (Abb. 4). Die Schlufflagen können mit aufeinanderfolgenden Seephase erklärt werden (D. van HUSEN 1979), die wahrscheinlich durch eine Massenbewegung am Gesäuseeingang verursacht wurden. Als Beleg dafür kann neben dem gleichmäßigen Sedimentaufbau die Spiegelhöhe des artesisch gespannten Grundwassers aus den größeren Liegendsedimenten (es wird durch die Schwemmkegel der Seitenbäche in die größeren Lagen unter den Schluffhorizonten eingespeist) dienen, die einen alten Seespiegel nachzeichnen. Diese Entwicklung und dieser Aufbau führten zu dem Erscheinungsbild eines versumpften Talbodens mit einem auffallend geringen Gefälle, der außer Heuhütten keinerlei Verbauung aufweist (die Siedlungen liegen alle an den Talflanken oder auf den Schwemmkegeln) und erst nach der Ennsregulierung für Weidewirtschaft halbwegs nutzbar geworden ist. Aus den oben erwähnten Gründen ist auch in diesen Sedimenten mit keiner nennenswerten Konsolidierung in den von tief reichenden Gründungen

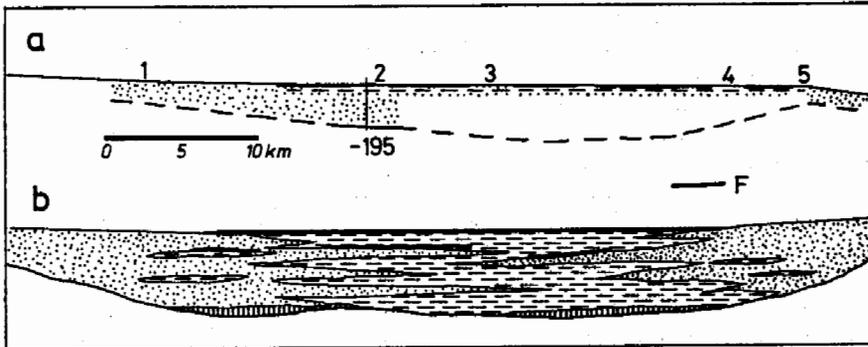


Abb. 4: Aufbau der Sedimentfüllung eines übertieften Zungenbeckens mit sich hebendem Ausflußbereich am Beispiel des Ennstales.
 a: maßstäbliches Längsprofil, stark überhöht; b: schematisiertes Querprofil; F: Moor- und Torfablagerungen. 1 Öblarn – 2 Wörschach – 3 Liezen – 4 Admont – 5 Gesäusegang – weitere Legende siehe Abbildung 3.

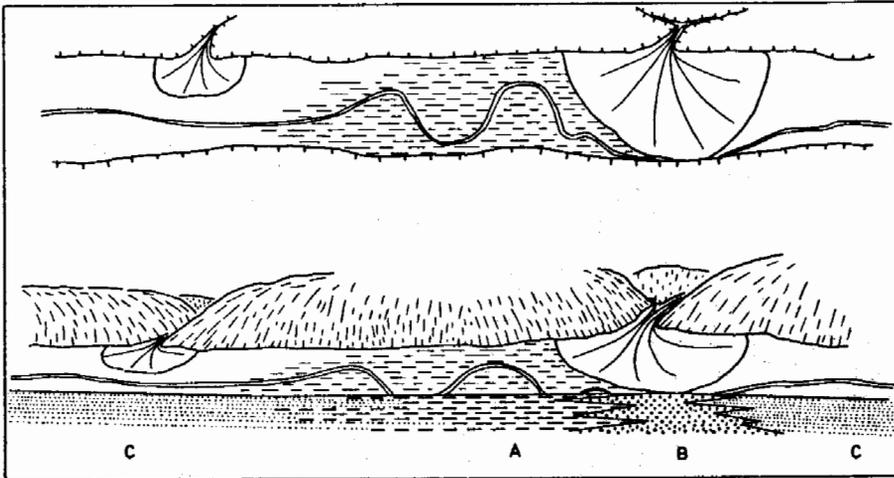


Abb. 5: Schematische Skizze eines durch einen mächtigen Schwemmkegel abgedämmten Talbereiches.
 A: Öfter überflutete, oft sumpfige Bereiche. Vornehmlich feinkörnige Sedimente (Schluff) mit organischen Beimengungen und Ablagerungen (Torf); B: Schwemmkegel mit Kiesen;
 C: Sandige Kiese aus Talbereichen mit regulärem Gefälle.

moderner Bauwerke erreichten Bereichen zu rechnen.

In diesen Verhältnissen mußte im Bereich des Selzthaler Moos der Verkehrsknoten Selzthal der Pyhrnautobahn errichtet werden (H. GORIUPP 1978, H. HAUSDORF 1978). Hier lagen über der obersten unkonsolidierten Schluffschicht noch einige Meter Torf, und die erste tragfähige Schicht lag in durchschnittlich 24 m und führte artesisch gespanntes Wasser (30 kPa).

Diese Verhältnisse zwangen dazu die Dammhöhe auf 5 m zu beschränken, wodurch ein sehr großer Teil der Talquerung als Brückenkonstruktion ausgeführt werden mußte, deren Fundierung auf ca. 30 m langen Pfählen erfolgte. Bei der Dammschüttung

mußte die Geschwindigkeit auf 10 cm/Tag beschränkt werden um Grundbrüche zu vermeiden, wobei auch auf die Verdichtung des Schüttmaterials durch schwere Rüttelwalzen verzichtet wurde, um keine tixotropen Reaktionen der Schluffe zu initiieren. An der Dammsohle wurden horizontale und in die Schluffschicht vertikale Drainagen aus Vlies eingebaut, um die Setzungen zu beschleunigen, die Werte von 1,5 m bei dem 5 m hohen Damm erreichten.

ad 3: Durchaus vergleichbare Verhältnisse kommen im Talboden, wenn auch in kleinerem Maße, dadurch zustande, daß der Hauptbach oder Fluß durch einen besonders mächtigen Schwemmkegel gestaut wird (Abb. 5). In diesem Fall entstehen Rückstaubereiche, die hauptsächlich feinkörnige Sedimente enthalten, oft mit Torf aus Verlandungsphasen oder Kiesen von Hochwasserereignissen wechsellagernd. Die in solchen Bereichen auftretenden Schwierigkeiten bei großen Bauvorhaben sind den vorher beschriebenen durchaus vergleichbar. So ist auch im Paltental SE Rottenmann die erreichbare Dammhöhe auf 2–3 m beschränkt. Ebenso zwangen beim Bau der Tauernautobahn im Raume Altenmarkt solche Verhältnisse im Talboden zu umfangreichen Baugrundverbesserungen durch Tauchrüttelung oder dynamische Intensivverdichtung (H. BRANDL 1976).



Abb. 6:
Typische Formen der Eisüberarbeitung in einem alpinen Tal am Beispiel des Zillergründls.
1 ungefähre Lage der ehemaligen Eishöhe
2 übersteilte Flanke des Troges.



Abb. 7: Unterer Bereich der übersteilten Flanke in massigen Graniten.

Jahre v.heute	Gletscherentwicklung	Vegetation	Sedimente	Massenbewegungen
0	Stand 1850		deutl. Endmoränen	
2000				
4000				
6000	Gletschergröße wie 1850 oder kleiner	Vegetationsverhältnisse wie heute	Flußaktivität in den Talböden wie vor der Regulierung	
8000				
10000				
12000		rasche Wiederbewaldung		
14000	deutl. Gletschervorstoß GSCHNITZ		deutliche Endmoränen	Gosau, Goisern, Grundlsee
16000			starke Sedimentumlagerung in den Talböden	
18000		Tundra im eisfreien Gebiet Gräser, Sträucher		Traun-, Atter-, Mondsee, Roßalm
20000	letzte Vollvergletsch. WÜRM		deutl. Endmoränen + Terrassenbildung Niederterrasse	
22000				
ohne Zeitmaßstab	RISS		Endmor. + Hochterr.	Verwitterung (u.a. geol. Orgeln) und diagenetische Verkittung mit dem Alter der Sedimente zunehmend.
	MINDEL		Endmor.+J. Deckensch.	
	GÜNZ		Ä. Deckenschotter	

manche ganz oder teilweise noch bis heute in Bewegung

Tab. 1: Zeitliche Einordnung der wichtigsten Ereignisse ab der letzten Großvereisung (Würm).
(Die hier angeführten Massenbewegungen beziehen sich nur auf Abb. 2.)

4. Massenbewegungen

Wie erwähnt, wirkt die Eiserosion nicht nur im Bereich der Gletschersohle erosiv auf den Talboden ein, sondern ebenso wurden die Talflanken angegriffen. Dieser Angriff erfolgte über die gesamte Gletscherlänge, besonders aber im Bereich größerer Fließgeschwindigkeit (z. B. im Zungenbereich). Dabei tritt die Beanspruchung besonders in den tieferen Hangteilen auf, wo eine größere Eisüberlagerung für den nötigen Auflagedruck und Erosionsleistung sorgte. Durch diese somit von unten nach oben abnehmende Erosionsleistung entstanden oberhalb der Talsohle übersteilte Flanken in Form eines Troges (Abb. 6 und 7).

Der Eisrückzug aus dem Zungenbereich und der damit verbundene Verlust des Widerlagers war nach unseren heutigen Kenntnissen kein lange währender Prozeß, sondern ein rascher Vorgang (Tab. 1). Dadurch kam es in den Flanken an vielen Stellen zu gravitativen Ausgleichsbewegungen, wobei nicht nur die Gesteins- und Verbandsfestigkeit, sondern auch die Beweglichkeit des Bergwasserspiegels von entscheidender Bedeutung für die Entstehung dieser Massenbewegungen war.

Aus dem hier Gesagten mag ersichtlich sein, warum es im Bereich ehemals aktiver Gletscherzungen bei geeigneten Gesteinsverhältnissen eine besondere Häufung des Auftretens von Massenbewegungen zu beobachten gibt (s. Abb. 2).

Diese bereits erfolgten oder noch aktiven Bewegungen stehen anderen Hangteilen gegenüber, die in einem labilen Gleichgewicht verharren. Durch die räumlichen Zusammenhänge der jüngsten geologischen Entwicklung (Abb. 2) sind aber solche Bereiche möglicherweise leichter lokalisierbar. Neben den in Abbildung 2 und Tabelle 1 erwähnten können als weitere Beispiele solcher Massenbewegungen und Labilitäten die Hänge um den Stausee Durlaßboden (U. ZISCHINSKY 1967) dienen, die im Bereich der aktiven Gletscherzungen des Wildgerloskeeses während der Gschnitzzeit lagen (s. Tab. 1).

In der gleichen Position zur gschnitzzeitlichen Erstreckung des Gepatschferners liegt auch der Speicher Gepatsch. Hier geriet ein Teil (Hochmaiß) der durch Massenbewegungen geformten Hänge durch den Stau in rasche Bewegung (LAUFFER et al. 1971). Der Grund war der Auftrieb im Fußbereich, der die an sich ruhige Felsmasse aus dem labilen Gleichgewicht brachte. In der gleichen Position befinden sich auch die Hänge des Fragant Tales knapp vor der Mündung ins Mölltal. Die hier im Zentralgneis und in der Matreier Zone auftretenden Massenbewegungen (E. H. WEISS 1969) sind auch die Ursachen für sehr aktive Murenherde (Zenger Zer). Wie schon beschrieben, sind viele der Staubereiche im Talboden mit ihrem heterogenen Aufbau auf derartige Murenherde und dadurch verursachte, riesige Schwemmkegel zurückzuführen.

5. Glaziale Sedimente

Direkte Ablagerungen des Eises ohne eine größere Wirkung des fließenden Wassers sind die Moränenablagerungen. Hier wird sinnvollerweise für unsere Betrachtungen in zwei Gruppen zu unterscheiden sein.

1. die an der Basis des Gletschers abgelagerte Grundmoräne und
2. die Seiten- und Endmoräne als Ablagerungen am Gletscherrand.

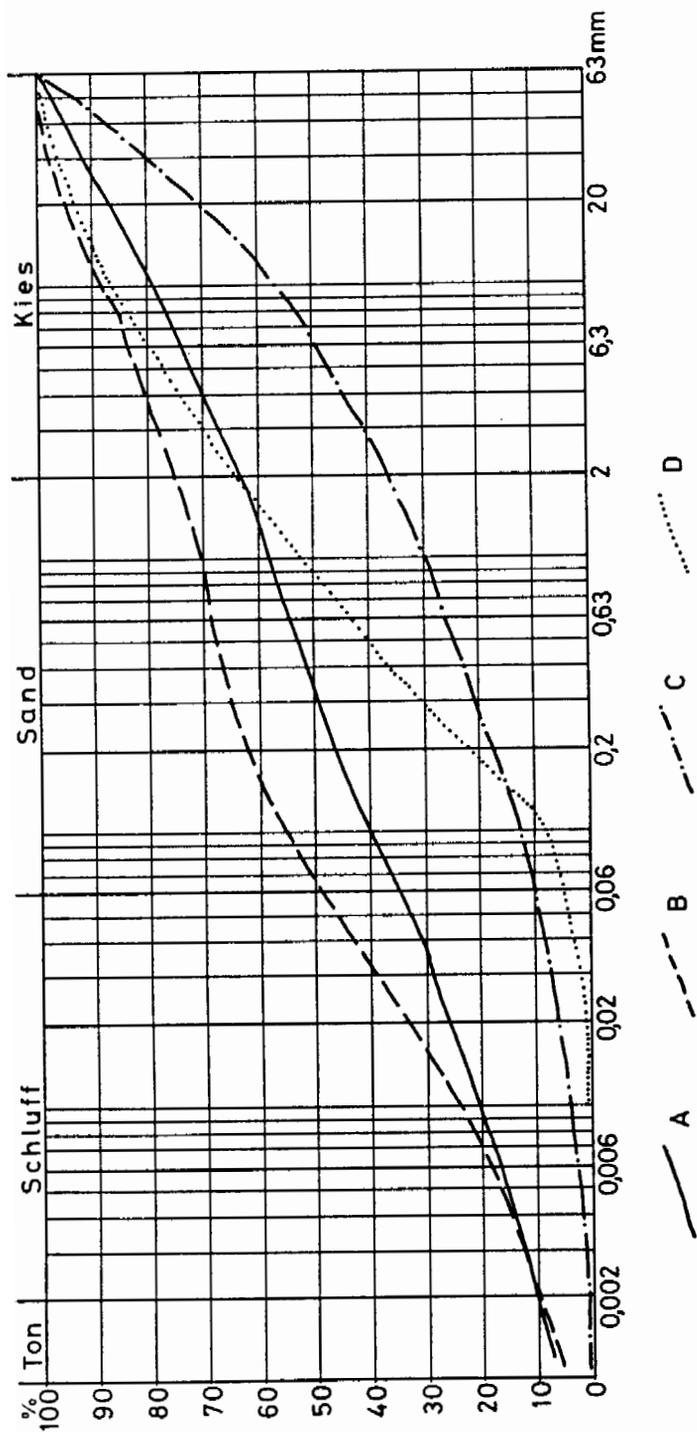


Abb. 8: Durchschnittliche Korngrößenzusammensetzung von Moränensedimenten.

A: Grundmoräne aus einem Liefergebiet mit verschiedenen Sedimentgesteinen; B: Grundmoräne aus einem Liefergebiet mit vornehmlich feinkörnigen Sedimentgesteinen; C: Grundmoräne aus einem Liefergebiet mit grobkörnigen kristallinen Gesteinen (z. B. Granite); D: End- und Seitenmoräne.

5.1. Grundmoräne

Die Grundmoräne als Ablagerung der Gletschersohle stellt ein Sediment dar, dessen Komponenten durch die Erosion und Transportbeanspruchung des fließenden Eises entstehen. Dabei wird das aus dem Untergrund aufgenommene Material in den untersten Metern des Eisstromes transportiert und zerkleinert. In dieser Zone der intensiven Durchbewegung (jede Unebenheit des Untergrundes führt entweder zu plastischer Verformung des Eises oder Scherbewegungen im Eis) werden die Feststoffanteile aneinandergepreßt und gerieben (gekritzte und polierte Geschiebe) und zerkleinert. Dieser Vorgang führt zu einer starken Anreicherung von Feinmaterial, das – da der Abtransport durch fließendes Wasser fehlt – im System verbleibt. Durch diese Anreicherung kommt der Vorgang der Zerkleinerung – da keine Spitzenbelastung der größeren Körner mehr auftritt – zum Erliegen und es ist ein Endpunkt der Korngrößenzusammensetzung erreicht, das auch über sehr große Transportweiten gleich bleibt (Abb. 8).

Diese so zusammengesetzten Materialien kommen schließlich an der Sohle des Eises zur Ablagerung, wobei das noch zwischen den Feststoffen enthaltene Eis, durch Druckverflüssigung umgewandelt, langsam auswandern kann. Bei diesem langsamen Vorgang wird auch unter dem hohen Überlagerungsdruck eine dichtest mögliche Lagerung erreicht.

Diese Vorgänge führen zu einer Überkonsolidierung, die sich darin dokumentiert, daß das Sediment Erscheinungen eines massigen, homogenen Gesteins zeigt, obwohl es ein Lockergestein ist (Abb. 9). So sind in frischen Anrissen immer wieder oberflächenparallele Ablösungen wie in massigem Festgestein (Exfoliation) oder Zerfallen in



Abb. 9: Grundmoräne. 1 oberflächenparallele Ablösungen.

Kluftkörper zu erkennen. Diese Eigenschaften sind dadurch bedingt, daß das in den Poren enthaltene Wasser (bergfeuchter Zustand) durch den hohen Anteil an Feinstkorn nicht beweglich ist und somit zu einer hohen adhäsiven Verbindung der Körper führt.

Dieser Umstand macht eine frisch aufgeschlossene Grundmoräne auch nahezu unempfindlich gegen Erosion durch Niederschläge oder fließendes Wasser, solange sie ihren natürlichen Wassergehalt nicht verliert. Erst nach dem Austrocknen wird sie sehr empfindlich gegenüber einer Befeuchtung, da dann das Korngerüst sehr rasch zerfällt und sich das Material in Schlamm und Steine verwandelt (veränderlich festes Gestein).

Daraus ergibt sich, daß eine Grundmoräne im Zuge von Baumaßnahmen kurzzeitig am besten senkrecht zu Böschungen ist, was dank ihrer mechanischen Eigenschaften gut möglich ist, da sie dann am wenigsten von Niederschlägen beeinflusst werden kann. Diese Böschung stellt sich auch in natürlichen Aufschlüssen ein, die über längere Zeit stehen (Erddpyramiden).

Wie weit die Lagerungsdichte und damit die Einbettung der größeren Geschiebe gehen kann, führt das Beispiel aus einem Stollenbau in Herrenhausen (Bayern) vor Augen (freundl. mündl. Mitt. von Herrn Prof. Dr. G. Spaun, München). Hier konnten während eines Vortriebes in Grundmoräne mit einer Teilschnittmaschine die Geschiebe ab 2–3 cm \emptyset nicht mehr aus der feinkörnigeren Bettung gelöst werden (Kohäsion 1–2 kp/cm^2 , Steifzahl ca. 2000 MN/cm^2) sondern konnte nur so abgebaut werden, daß die einzelnen Komponenten zerschlagen oder durchgeschert wurden. Das führt zu übermäßigem Verschleiß des gesamten Gerätes.

5.2. Endmoränen

Im Gegensatz zur Grundmoräne weisen die Materialien der Endmoränen keine Verdichtung durch die Eisauflast auf. Sie sind ja im Bereich, wo die Gletscherzunge abschmilzt (Zehrgebiet) dadurch zur Ablagerung gekommen, daß das Eis schmolz oder sublimierte und demnach nicht mehr von Eis überlagert worden (Abb. 10). Es sind vorwiegend der Grundsutt an der Gletschersohle und der der untersten Meter, die durch die Eisbewegung am Gletscherende transportiert werden und wallförmig um die Zunge zur Ablagerung kommen. Die Geschiebe weisen daher die gleiche petrographische Zusammensetzung und Bearbeitung (Kritzung) wie die Grundmoräne auf. Durch die Schmelz- und Niederschlagswässer kam es aber zu einem Ausschwemmen des Feinkorns (s. Abb. 8). Dadurch und durch die fehlende Verdichtung durch die Eisauflast sind diese Materialien lockere Korngemische, die nur im Falle eines noch etwas höheren Feinstoffanteils als bindig anzusehen sind.

Durch diese Korngrößenzusammensetzung ist es möglich, diese Ablagerungen als nutzbares Kiesvorkommen zu betrachten, da es im Falle größerer Bindigkeit dank der geringen Verdichtung im Gegensatz zur Grundmoräne ohne weiteres durchführbar ist, das Material zu waschen. Solche Vorkommen können beim Fehlen gewaschenen Flußkieses (z. B. im Hochgebirge) für Bauvorhaben von Bedeutung sein. Im Falle einer Nutzung solcher Moränenmaterialien ist aber zu beachten, daß hier alle Gesteine des Gletschereinzugsgebietes enthalten sind, die entlang der Eisflußrichtung oberhalb des zu nutzenden Endmoränenstückes auftreten. Das heißt, die Gesteine, die rechtst im Einzugsgebiet auftreten, bilden auch den rechten Teil der Endmoräne und Seitenmoräne. Durch die speziellen Transportmechanismen des Gletschereises kommt es im Ge-



Abb. 10: Seitenmoränen des Allalingsgletschers (1850-Stand). 1 Materialentnahme für den Steinschüttungsdamm Mattmark im Vordergrund.

gensatz zum Wassertransport nur zu einer bedingten qualitativen Auslese, da die schlagende Beanspruchung der Komponenten durch die fehlende freie Beweglichkeit nicht vorhanden ist. Somit können auch weichere Gesteine (z. B. Phyllite) in Moränenmaterialien in größeren Mengen auftreten.

Durch die Permeabilität der Endmoränenmaterialien kann die Verwitterung bis tief in den Sedimentkörper eingreifen, so daß leichter verwitterbare Gesteine möglicherweise im gesamten Körper fortgeschrittene Zersetzung aufweisen.

Wie Untersuchungen (^{14}C -Datierungen) an fossilen Bodenbildungen innerhalb der landläufig als 1850-Moränen bezeichneten, meist mächtigen Endmoränen, zeigten, sind diese aus verschiedenen alten Sedimentkörpern aufgebaut. Der Grund dafür ist, daß die Gletscher während der letzten 10.000 Jahre öfters die Größe wie um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erreichten (s. Tab. 1). Durch diese mehrmalige Ablagerung von Materialien sind mächtige Wälle entstanden, die öfter auch verschiedene Verwitterungsgrade der Komponenten aufweisen. Ein schönes Beispiel dafür stellt die 1850-Endmoräne des Klockerinkeses dar. Von hier wurde (nach einer frendl. mündl. Mitt. von Herrn Prof. Dr. G. Horninger) im Zuge der Errichtung der Sperren am Moserboden versucht, Zuschlagsstoffe für die Betonherstellung zu gewinnen. Die Kalkglimmerschiefer an der Außenseite des Moränenwalles waren aber derart verwittert, daß eine Ver-

wendung unmöglich war. Diese, bei der Annahme einer einheitlichen Schüttung des Moränenkörpers, unverständlich starke Verwitterung mancher Partien ist aber durch die altersmäßig komplexe Zusammensetzung solcher Körper leicht erklärbar.

Die gute Permeabilität dieser Endmoränenmaterialien, gepaart mit dem doch hohen Anteil an Feinstoff, prädestiniert diese Ablagerungen bei starken Niederschlägen auch für Murenherde. Diese sonst meist in den Hochtälern unbemerkt ablaufenden kleinen Ereignisse können mitunter auch Dimensionen annehmen, die bis in tiefere Lagen wirken. Als Beispiel mag hier die Murenkatastrophe vom 28. Juli 1971 im Zeferetgraben (Kaprun) dienen, wo (nach freundl. Mitt. Prof. Dr. G. Horninger) die äußersten Teile der 1850-Moräne des Schmiedingerkeeses das Anbruchgebiet waren.

Im Zuge des Hoch- und Spätglazials der Würmeiszeit wurden in manchen Tälern der Alpen Abfolgen von Moränen abgelagert, die mitunter lückenlos eine Erfassung der Gletschergeschichte zulassen (Tab. 1). Davon stechen morphologisch besonders die Moränen des Hochglazials hervor (größte Ausdehnung der Eisströme während der letzten Eiszeit), die des deutlichen Wiedervorstoßes Gschnitz, und die sogenannten 1850-Moränen im Umfeld der rezenten Gletscher (s. Abb. 1) und sind in fast allen Tälern gut erkennbar. Sie können als Marken genommen werden, wann welche Bereiche das letzte Mal vom Eis erreicht und beeinflusst worden waren. Darüberhinaus können von ihnen auch Hinweise auf mögliche Verwitterung oder Verbreitung von über-tieften Bereichen und andere Erscheinungen (s. oben) abgelesen und in Planungen miteinbezogen werden.

6. Glaziofluviale Sedimente der Abschmelzphasen

In der Umgebung der Gletscher werden durch die Schmelzwässer die Moränenmaterialien oft umgelagert und entweder in vom Eis frei gegebenen Hohlformen abgelagert oder abtransportiert. Diese Vorgänge waren während der Abschmelzphasen nach der letzten Eiszeit umso stärker, da dabei Schmelzwasser in verstärktem Maße auftrat und die vom Eis freigegebenen Räume gut geeignete Sedimentbecken darstellten. Zu den damals aus dem Eis frei werdenden Feststoffen kam auch noch der aus dem Permafrost der Talflanken frei werdende Schutt, so daß Material im Übermaß vorhanden war. Das durch diese Vorgänge frei werdende Material zeigt eine Korngrößenzusammensetzung, die stark durch die der Moränenmaterialien bestimmt ist. Das führt dazu, daß in den unter solchen Bedingungen sedimentierten Ablagerungen immer wieder, zum Teil mächtige Schlufflagen auftreten, die entscheidenden Einfluß auf das mechanische und hydrologische Verhalten dieser Ablagerungen nehmen.

6.1. Formen am Talrand (Eisrandterrassen)

Die Position solcher Sedimentanhäufungen in Zusammenhang mit den schwindenden Eismassen sind vielfältig. So bilden sich in Nischen und Buchten des Hanges, wo das Eis geringer mächtig und demnach rascher geschmolzen war, oft Bereiche mit Stauseen, die mit Sediment verfüllt wurden und als Eisrandterrassen erhalten blieben. Es sind dies oft hoch über dem Talboden auftretende Terrassenkörper. Besonders sind diese Formen an der Einmündung von Seitenbächen – deren fließendes Wasser auch zum rascheren Schmelzen des Eises beitrug – ausgebildet und können in dieser Position ganze Terrassentreppen bilden.

Ähnliche Verhältnisse entstanden auch als sich einzelne Gletscherströme, die während des Hochglazials vereinigt waren, beim Abschmelzen trennten und zwischen ihnen Areale eisfrei wurden. In diesen Räumen bildeten sich mehr oder weniger ausgedehnte Staueisen, die mit Sediment verfüllt wurden. Dabei wurden im Beckentiefsten oft mächtige Bänderschluflfe abgelagert, die von Deltaschüttungen aus Sand und Kies überlagert wurden. Diese typische Sedimentabfolge einer Seeverfüllung wird oft von Erosionsphasen oder Ablagerungen des fließenden Wassers unterbrochen. Der Grund liegt darin, daß die Höhe des Wasserstandes oder die Verfüllung der Becken überhaupt von den sich rasch ändernden Abflußverhältnissen innerhalb der schmelzenden Eiskörper abhängig waren, die ja die stauende Barriere darstellten.

Diese so gebildeten Sedimentkörper werden in Skandinavien z. B. als Grundwasserkörper für Trinkwassergewinnung genutzt, die teilweise auch künstlich beaufschlagt werden. Als Beispiel einer solchen möglichen Nutzung mag die Eisrandterrasse der Prekawahöhe bei Gnesau (Kärnten) dienen, die zwischen Drau und Murgletscher entstand (E. H. WEISS, 1977). Hier tritt in den Quellen des Tiebelursprunges ca. $1 \text{ m}^3/\text{sec}$. wieder zutage, die vorher als Uferfiltrat der Gurk in die breite Eisrandterrasse eingespeist worden waren und diese über ca. 500–1000 m durchströmten.

Ebenso als Bildungen des Eisrandes am abschmelzenden Draugletscher sind die mächtigen Kiesablagerungen an der Mündung des Drautaales in das Klagenfurter Becken bei Villach anzusehen. Diese Bildungen setzen sich bis über Paternion hinaus und auch in die Nebentäler fort und wurden als mehrere 10er-m mächtige Kieskörper durch den Autobahnbau aufgeschlossen, sind leider aber auch damit für eine künftige Nutzung weitgehend verloren.

Ebenso stellen große Teile des Bürserberges (Vorarlberg) eine Eisrandterrasse dar. Die darin durch den unglücklichen Besitzstreit gegen Ende des 18. Jahrhunderts entstandene Erosionsform des Schesatobel (J. HENRICH, 1924) wuchs auf ca. 60 ha und eine Tiefe bis zu 220 m an. Die in teilweise gewaltigen Murenschüben abgetragene Materialmenge beträgt 30–40 Mio. m^3 , wovon ca. $30.000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ nach dem Verbauungsbeginn am Anfang dieses Jahrhunderts anfielen (freundl. Mitt. Prof. Dr. D. GUTKNECHT). Somit ist die Hauptmenge im 19. Jahrhundert während der ersten besonders katastrophalen Murenschübe (z. B. 1804, 1957) abtransportiert worden, mit allen Auswirkungen auf das Illtal.

Die Empfindlichkeit der Eisrandterrassenbildung gegen Kahlschlag und die dadurch verstärkte Erosionskraft des Baches liegt in ihrem Sedimentaufbau begründet. Die rasch geschütteten, wenig konsolidierten Sedimente weisen einen hohen Anteil an Schluff und Ton auf, der einerseits eine Neigung zu Instabilität, andererseits durch Wasserrückhaltefähigkeit zu Murenbildung bedingt. Darüber hinaus wurden die meisten dieser Eisrandkörper nach ihrer raschen Sedimentation durch die sich schnell ausbreitende Vegetation (Tab. 1) bedeckt und auch stabilisiert. Dadurch sind manche labilen Gleichgewichtszustände konserviert bis in unsere Zeit erhalten geblieben, die dann zu derartigen Folgen führen können.

6.2. Formen des Talbodens (Toteiserscheinungen)

Etwas anderer Natur sind die Ablagerungen der Schmelzwässer innerhalb und auf dem Eis in Kanälen und Spalten, wo Ausbildung und Strukturen noch direkter von Wasserführung und Feststoffangebot und dem Abschmelzen des Eises abhängig sind.

Sie können von völlig strukturlos (als auf dem Eis abgelagerte und beim Abschmelzen völlig destrukturierte Kies-Sandgemische) über kleinräumige Kreuzschichtung bis zu irregulären Strukturen aufweisen. Letztere, wie z. B. mehr als 30° steile, senkrechte oder überkippte Lagerung völlig kohäsionsloser Sande und Kiese sind nur erklärlich, wenn durchgefrorene Sedimentpartien durch geänderte Eisverhältnisse sich bewegen oder verstürzen und in neue Sedimente integriert werden.

Beispiele für derartige Sedimentstrukturen wurden im Drautal bei den Aushüben für die Kraftwerke Annabürcke (H. BRETH, W. DEMMER & W. LUDWIG, 1982) und Möllbrücke (W. DEMMER, 1984) aufgeschlossen. Im ersten Fall waren dies kohäsionslose Einkorn-Grobkiese, Kies-Sande und Schlufflagen, die steil bis teilweise senkrecht einfielen und bis in große Tiefe (bis max. 100 m erbohrt) über große Teile des Talbodens festgestellt wurden.

Im zweiten Fall waren unter einer Schluffschicht in Kiesen bis zu 1 m versetzte Bruchstrukturen zu sehen, die in den diskordant auflagernden Schluff nur noch fallweise als Flexuren eingriffen und einen trichterförmigen Nachbruchstrichter anzeigten. Dieser ist wahrscheinlich über einem Toteisblock während der Periode kurz nach dem Eisfreiwerden des Talbodens entstanden. Beide Vorkommen waren von ca. 5–6 m eben gelagerten Kiesen der Drau diskordant bedeckt. Sie zeigen an, daß in den Talböden der ehemals vergletscherten Täler noch Sedimentreste des Eiszerfalls mit allen ihren unregelmäßigen Sedimentstrukturen vorhanden sind. Diese wurden bei der Ausbildung des rezenten Talbodens vom Fluß erodiert und mit Kiesen bedeckt. Diese Strukturen sind am ehesten in Talabschnitten zu erwarten, die dank ihrer topographischen Verhältnisse oder Exposition günstig für längere Erhaltung von Eismassen scheinen.

7. Terrassenbildung

Die Schüttung der eiszeitlichen Terrassen unserer Flüsse ist eine Folge des kräftigen Klimaverfalls während eines eiszeitlichen Ereignisses. Durch diesen Klimaverfall werden nicht nur das Anwachsen der Gletscher in den Tälern und der Zusammenschluß zum Eisstromnetz bewirkt, sondern parallel dazu kommt es auch zur Ausdehnung der periglazialen Verhältnisse (Dauerfrostboden, starke Frostverwitterung) in immer tiefere und somit ausgedehntere Bereiche. Damit kommt es aber durch den vermehrten Anfall von Frostschutt und der dazu parallel zurückgehenden Vegetationsbedeckung zu einer stärkeren Belastung der Flüsse und Bäche mit Geschieben.

Diese Belastung führt zu zunehmender Akkumulation im Talboden, die progressiv mit dem Herannahen der Gletscherstirn des Talgletschers ansteigt. Somit sind oft unter den Grundmoränen im Talbereich mächtige Kiesablagerungen zu finden, die als Vorstoßschotter bezeichnet werden. Mit dem Erreichen des Optimums der Klimaverschlechterung und somit der größten Ausdehnung der Eisströme werden in deren Vorfeld mächtige Kieskörper (die Terrassenkörper) sedimentiert (Abb. 1). Dadurch, daß die starke Frostschuttbildung jetzt auch in den niedrigen Gebirgstteilen der Voralpen – die selbst unvergletschert blieben – auftritt, werden auch in diesen unvergletscherten Tälern Kieskörper geschüttet. Dasselbe gilt auch für die Täler des Wald- und Weinviertels, die selbst Terrassen aufweisen (Kamp) und auch viel Material in die Donau lieferten. So führen die Kiese der Niederterrasse im Tullnerfeld und Marchfeld ca. 70 % kristalline Gesteine, von denen mehr als die Hälfte aus der Böhmischen Masse stam-

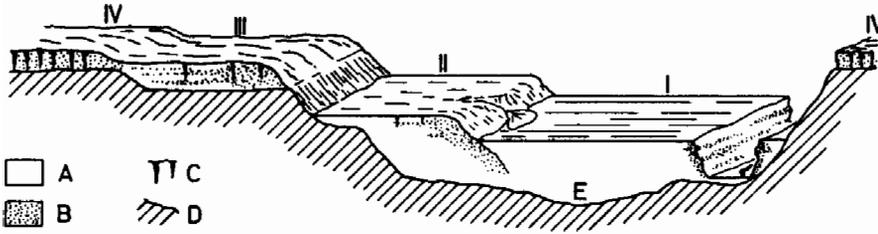


Abb. 11: Schemaskizze der Terrassenabfolgen im Umkreis der Eisstromnetze der Ostalpen.
 A: unverkittete Kiese; B: konglomerierte Bereiche; C: geologische Orgeln; D: präquartärer Untergrund; E: epigenetischer Talbereich; I: Niederterrasse (Würm); II: Hochterrasse (Riß); III: Jüngere Deckenschotter (Mindel); IV: Ältere Deckenschotter (Günz).

men, während die Gesteine der Kalkalpen wegen ihrer starken Anfälligkeit gegenüber Abrasion nur noch ca. 20 % ausmachen.

Nach dem Hochglazial mit der zunehmenden Klimaverbesserung setzte während des beginnenden Spätglazials die Erosion dieser Kieskörper ein. Die Gründe dafür waren verringertes Angebot von Frostschutt und eine kräftige Vermehrung der Wasserführung der Flüsse durch die Schmelzwässer aus den Eiskörpern, die ja zu den normalen Niederschlägen hinzukamen. Diese Erosion zerschnitt sehr rasch die Kieskörper und setzte sich dabei oft bis in den präquartären Untergrund fort. So bestehen die so entstandenen, heute die Flüsse begleitenden Terrassenkörper aus den beiden technisch wichtigen Teilen eines Sockels (das jeweils anstehende präquartäre Gestein, z. B. Schlier in der Molasse, oder die Vielfalt der Gesteine in Kalkalpen oder Flysch) und den darüber lagernden Kieskörper (Abb. 11). Im Falle der älteren Terrassen ab der vorletzten Eiszeit (Riß) kommen zu diesen beiden Teilen noch die Lößauflage und teilweise mächtige Verwitterungsböden hinzu, die in den der Bildung des Terrassenkörpers folgenden Kalt- bzw. Warmzeiten gebildet wurden.

7.1. Oberflächengestaltung

Durch diese Alterung der Terrassen ändert sich die Morphologie der Terrassenkörper (Abb. 11). Weist die Niederterrasse eine unzerstörte Oberfläche (z. Teil mit Resten der alten Flußbetten) und scharfe Kanten auf, so zeigt die Hochterrasse bereits heute trockene Tälerchen und Mulden, die zu Kerben in den Terrassenkanten verlaufen und alte Erosionsrinnen über dem Dauerfrostboden während der letzten Eiszeit darstellen. Noch weiter fortgeschritten ist der Prozeß in den Deckenschottern, die als weitwellige, ausgedehnte Flächen auftreten (z. B. Traun-Ennsplatte). Durchbrochen wird diese morphologische Identifikationsmöglichkeit öfters dadurch, daß während der Bildung jüngerer Terrassen durch Seitenerosion des Flusses die älteren Ablagerungen unterschritten wurden. Somit weist dann die Terrassenböschung sowie die -kante die Oberflächengestaltung der jüngeren Terrasse aber in verwitterten, älteren Materialien auf, was besonders bei höhenmäßig nicht sehr unterschiedlichen Terrassen leicht zu Fehleinschätzungen führen kann.

Parallel zur Zerschneidung des Terrassenkörpers beginnt die Konglomerierung der

Kiese. Die Verkittung mit Kalziumkarbonat geht von der freien Oberfläche des Anschnittes aus, wo in größerem Maße das Haft- und Sickerwasser verdunstet. Die dadurch entstehende „Talrandverkittung“ dokumentiert sich durch teilweise imposante Kanzeln und Simse aus gut verkitteten Konglomeraten, wie sie entlang der Voralpenflüsse, z. B. Salzach, Traun, Enns, Ybbs, das Landschaftsbild prägen. Diese Konglomerate reichen im Fall der Niederterrasse völlig unregelmäßig nur einige Meter in den Terrassenkörper hinein und werden dann von völlig lockerem Kies abgelöst.

Erst mit zunehmendem Alter greift die Konglomerierung immer tiefer in die Terrassenkörper ein und bewirkt eine gleichmäßigere Verfestigung auch tieferer Randbereiche. Entsprechend dieser Entwicklung ist die Nutzbarkeit von Terrassen zur Kies- oder Werksteingewinnung in gegensätzlicher Art von ihrem Alter abhängig. Ebenso ist besonders im Bereich der Niederterrasse bei Anschnitten große Vorsicht notwendig, da nach Entfernung der verkitteten Randpartien die durch sie bedingten Stabilitätsverhältnisse und Böschungswinkel in den lockeren Kiesen nicht mehr gegeben sind. Eine neuerliche Stabilisierung durch Verkittung erfordert aber als natürlicher Prozeß größere Zeiträume.

7.2. Verwitterung

Ein ebenso stark zeitabhängiger Vorgang ist die Veränderung von Lockermaterialien durch die Verwitterung. Diese chemischen Vorgänge, die von der Bodenbildung an der Oberfläche ausgehen, ergreifen letztlich den ganzen Sedimentkörper. Dabei ist der Fortschritt einerseits von der Materialzusammensetzung, andererseits von der Wasserwegsamkeit abhängig.

So werden Lösungsvorgänge an Karbonaten rascher erfolgen als die Hydrolyse der kristallinen Gesteine. Ebenso ist die Tiefenwirkung dieser Vorgänge in den weit besser wasserwegsamem, gewaschenen Kiesen der Terrassen weit größer als in den feinstoffreichen Moränenmaterialien. Zeigen in der Niederterrasse in der Regel unter der Bodenbildung nur die obersten 20–40 cm der Kiese Verwitterungserscheinungen, so dehnt sich diese Zone in der Hochterrasse nur selten über 1 m aus. Erst in den Dekenschottern sind dann oft über die gesamte Mächtigkeit des Kieskörpers die Verwitterungserscheinungen verbreitet. Durch das hohe Alter dieser Vorkommen kann die Verwitterung so weit gehen, daß der Kieskörper für eine Nutzung als Baurohstofflieferant völlig unbrauchbar wird. In einem Fall wurden sehr alte Kiese zur Herstellung einer bituminös gebundenen Tragschicht (B.T.S.) verwendet. Das Wandmaterial wurde scharf gesiebt um die verwitterten Gerölle zu zerschlagen und mit ca. 6 % Bitumen gemischt. Trotz dieses hohen Bindemittelgehaltes zeigte das Mischgut keine Überfettung, da der Bitumenverbrauch durch den hohlraumreichen Sand und Füller hoch war. Ca. 12–24 Stunden nach dem Einbau begannen sich in der B.T.S. Nester von losen Geröllen zu bilden, die mit Mastix und Sandasphalt verklebt waren aber nicht mehr aneinander hafteten. Die Mikroporosität dieser Gerölle (Quarzite, Gangquarze) war durch die lange, intensive Verwitterung so hoch, daß sie viel Bitumen ansaugten, so daß die Körper zueinander keine ausreichende Bindung aufwiesen. Zur Behebung mußten Fremdsand und ca. 4 % Kalksteinmehl als Fremdfüller beigegeben werden.

Diese Verwitterungserscheinungen sind stark von der Anreicherung der Sickerwässer mit Huminsäuren aus der Bodenbildung abhängig. So ist z. B. eine starke Zunahme dieser Vorgänge unter sumpfigen oder anmoorigen Bereichen oder Überresten davon

zu bemerken. Aber auch unter sehr lokal begrenzten Bereichen mächtigerer Bodenbildung führte diese Anreicherung zur Beschleunigung der Verwitterungsvorgänge, so daß eine verstärkte Desintegration der Kiese in vertikaler Richtung gegenüber ihrer Umgebung eintrat. Dadurch treten in röhrenartigen Bereichen durch den Verlust von verwitterten Geröllen geringere Lagerungsdichten auf, die zu Setzungserscheinungen führen können. Das tritt besonders bei mechanischer Beanspruchung der Oberfläche oder beim seitlichen Anschneiden dieser Bereiche ein. Die Bildung dieser „Geologischen Orgeln“ ist ein Vorgang, der der vorhin beschriebenen Konglomerierung der Kieskörper entgegen läuft.

Literatur

- CLAR, E. & DEMMER, W.: Die Geologie der Kraftwerksgruppe Malta. – ÖZE, 12–20, Wien (Springer) 1979.
- & ZISCHINSKY, U.: 5. Stauraum Durlaßboden: Geologie der Hänge. – ÖZE, 397–405, Wien (Springer) 1968.
- BRANDECKER, H.: Hydrogeologie des Salzburger Beckens. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 5–39, Graz 1974.
- & MAURIN, V.: Die Trinkwasserreserven des südlichen Salzburger Beckens und seiner Umrahmung. – Österr. Wasserwirtsch., 105–122, Wien (Springer) 1982.
- BRANDL, H.: Die Probleme des Erd- und Grundbaues bei der Tauernautobahn-Scheitelstrecke. – Tauernautobahn, 397–490, Salzburg 1976.
- Die Sicherung von hohen Anschnitten in rutschgefährdeten Verwitterungsböden. – Mitt. Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik TU Wien, 9–18, Wien 1976.
- BRETH, H., DEMMER, W. & LUDWIG, W.: Kraftwerk Annabrücke, die Beherrschung der Unterströmung des Hauptbauwerkes bei außergewöhnlichen, erst beim Baugrubenaushub erkennbaren Bodenverhältnissen. – ÖZE, 27–36, Wien (Springer) 1982.
- DEMMER, W.: Ungewöhnliche Bodenstrukturen im Gründungsbereich der Kraftstation Möllbrücke der Kraftwerkanlage Malta-Unterstufe. – Mitt. Inst. f. Bodenmechanik und Grundbau Univ. Innsbruck, 1–22, Innsbruck 1984.
- GMEINER, P.: Pfahlfundierte Brücken in weichem Untergrund mit hohen Anschlußdämmen. – Mitt. Inst. f. Grundbau und Bodenmech. TU Wien, 47–54, Wien 1976.
- GOBIET, W. & GORIUPP, H.: Der Selzthaltunnel und Großversuche im Selzthaler Moor. – ÖIZ, 157–197, Wien 1978.
-
- HAUSDORF, H.: Tiefenentwässerung mittels Kunststoffvlies zur schnelleren Konsolidierung wenig tragfähiger Böden. – Ber. z. Forschungsauftrag d. Bundesmin. f. Bauten u. Technik, „Straßenforschung“, H. 93, 35–72, Wien 1978.
- HENRICH, J.: Die Verbauung des Schesatobels in Vorarlberg. – Schweiz. Z. f. Forstwesen, 1924.
- HUSEN, D. van: Verbreitung, Ursachen und Füllung glazial übertiefer Talabschnitte an Beispielen in den Ostalpen. – E. & G., 29, 35–48, Hannover 1979.
- Geologisch-sedimentologische Aspekte im Quartär von Österreich. – Mitt. österr. geol. Ges., 74/76, 197–230, Wien 1981.

- LAUFFER, H., NEUHAUSER, E. & SCHÖBER, W.: Der Auftrieb als Ursache von Hangbewegungen bei der Füllung des Gepatschspeichers. – ÖIZ, 101–113, Wien (Springer) 1971.
- MOOSBRUGGER, G.: Die Arbeiten der Ennsstudienkommission – Festschr. 100 Jahre Ennsregulierung, Natur u. Technik, Wien 1960.
- SEILER, K.-P.: Glazial übertiefte Talabschnitte in den Bayerischen Alpen. – E. & G., 29, 35–48, Hannover 1979.
- WEISS, E. H.: Kraftwerksgruppe Fragant: 8. Geologische Übersicht, Voraussage und Erfahrung beim Bau. – ÖZE, 464–472, Wien (Springer) 1969.
- Zur Hydrogeologie des Grundwasseraustrittes der Gurk unterhalb der Prekova (Tiebelursprung). – Carinthia II, 95–104, Klagenfurt 1977.
- WILDI, W.: Isohypsenkarte der quartären Felstäler in der Nord- und Ostschweiz mit kurzen Erläuterungen. – Eclogae geol. Helv., 77, 541–551, Basel 1984.
- ZISCHINSKY, U.: Bewegungsbilder instabiler Talflanken. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 17, 127–168, Wien 1967.

Manuskript eingelangt am 4. April 1986
angenommen am 3. Juli 1986

Gefügemessungen in gefrästen Stollen

von

Sven JACOBS & Ewald TENTSCHERT

mit 3 Abbildungen

Anschrift der Verfasser:

Dr. Ewald Tentschert
Tiroler Wasserkraftwerke AG
Landhausplatz 2
A-6020 Innsbruck

Dr. Sven Jacobs
Tiroler Wasserkraftwerke AG
Bauleitung Amlach
A-9900 Lienz

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	48
1. Allgemeines	48
2. Ermittlung der Gefügedaten mit der Lagenkugel	49
3. Rechnerische Erfassung der Gefügedaten aus den Verschnittwerten der Trennflächen	53
4. Literatur	56

Zusammenfassung

Geologische Gefügaufnahmen sind im gefrästen Stollen mit dem Kompaß kaum möglich. Es werden zwei Methoden vorgestellt, die ohne Kompaß auskommen.

Eine graphische Methode ermittelt die Gefügedaten mit Hilfe der Lagenkugel.

Bei der rechnerischen Methode werden die gebräuchlichen Lagedaten (CLAR-Notation) mittels PC errechnet.

Summary

The geological structure in general (schistosity, stratification, joints and faults) within machine bored tunnels is still difficult to determine by using compass-measurements.

This paper introduces two alternative methods without necessarily using the compass.

The graphical method provides the structural data by the Wulff-net procedure.

On the other side, these geological CLAR-data will be obtained by a calculation procedure using the geometric data of the intersecting planes.

1. Allgemeines

Die geologische Stollenaufnahme bietet für den aufnehmenden Geologen eine Menge von Erschwernissen: schlechte Beleuchtung, Lärm, Staub, Dunst, Nässe sowie stellenweise viel Eisen (Stahlbögen, Schienen, Felsanker, Hochspannungskabel, Förder-einrichtungen, etc.). K. AEBERLI (1978) hat dies treffend charakterisiert: „Welcher Geologe würde obertags in einer Gewitternacht bei Neumond kartieren?“

Gefräste Stollen bieten noch zusätzliche Hindernisse: Der sonst so vielgeliebte Geologenkompas kann kaum verwendet werden (ebenso der Hammer); durch den gebirgs-schonenden Ausbruch und die relativ glatten Stollenlaibungen entstehen nur selten Ausbrüche als mögliche Anlegeflächen – zudem macht eine lange Nachläufer- und Fördereinrichtung auch Peilungen in den ersten 200 m hinter der Stollenbrust unmöglich.

Durch die kreiszylindrische Stollenwandung ist überdies eine Stollenbanddarstellung als Kastenabwicklung nur mit großen Abweichungen von der Wirklichkeit möglich und daher abzulehnen (WANNER, 1978).

Bisher verwendete Methoden:

Der Verschnitt von ebenen geologischen Flächen (Schicht-, Schieferungs- und Kluftflächen) mit der zylindrischen Stollenlaibung erzeugt Schnittellipsen, die in der Abwicklung Sinuskurven ergeben.

Ein direktes Zeichnen vor Ort ist zwar bei geübtem räumlichen Vorstellungsvermögen möglich, erfordert aber dennoch durch das Reinzeichnen viel Zeit und ist zudem in stark wasserführenden Zonen nur auf Plastikfolien mit weichem Bleistift möglich.

Gefügedaten (beispielsweise für Sammeldiagramme) sind daraus noch nicht direkt ermittelbar.

Kompaßpeilungen in der Flucht der Kluftspur (eingestellt auf drei Schnittpunkte der Kluftausbißlinie mit Firstlinie und den beiden Seitenmitten) ergeben bei schleifendem Verschnitt mit der Stollenachse große Fehler oder sind überhaupt nicht möglich.

Ein Umklappen nach den Gesetzen der Darstellenden Geometrie ist sehr aufwendig, die so ermittelten wahren Winkel müßten erst noch in ein Lagenkugeldiagramm übertragen werden.

Das Anlegen von Aluplatten an die fallweise vorhandenen Mini-Ausbrüche oder das Einschieben der Platten in offene Spalten ist in günstigen Fällen zwar möglich, aber im Normalfall nicht anwendbar.

AEBERLI (1978) beschreibt eine vereinfachte geometrische Methode:

Die Station der Seitenmittelpunkte und der Firstpunkt der Verschnittkurve werden notiert, das Streichen daraus in den Stollengrundriß eingetragen. Durch den Firstpunkt wird im Stollengrundriß die Normale auf das Streichen gezeichnet und die Länge dieser Strecke ergibt in einem eigens entwickelten Nomogramm dann den wahren Einfallswinkel. Dies ist möglich, wenn Stollendurchmesser und Stollenrichtung konstant sind.

Ansonsten wäre bei Änderungen jeweils ein eigenes Nomogramm nötig.

Bei der NAGRA löste man das Problem der Kluftverschnitte in ausgespiegelten Bohrlöchern durch eigens angefertigte Schablonen, wobei als Meßpunkte ebenfalls drei eingemessene Verschnittpunkte dienten (E. BÜCHI, mündl. Mitteilung).

2. Ermittlung der Gefügedaten mit der Lagenkugel (E. TENTSCHERT)

a) Stollen:

Da die genannten Methoden für die routinemäßige Stollenaufnahme als zu ungenau oder als zu aufwendig erschienen, wurden die Gefügedaten der vier Frässtollen der Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz (Bauzeit 1977–1980) mit nachfolgend beschriebenem Verfahren ermittelt:

Die Verschnittlinien werden zuerst in einen Stollenbandvordruck (bei Wasserzutritten auf Plastikfolie) gezeichnet. Zusätzlich wird an der Mittellinie einer Stollenumhle der scheinbare Einfallswinkel β' mittels Klinometer gemessen. (Bei kurzen Verschnittlängen und eisenfreier Umgebung kann auch die Streichrichtung gemessen werden, ist aber nicht unbedingt nötig.)

Die weitere Vorgangsweise ist aus den Abb. 1 und 2 ersichtlich.

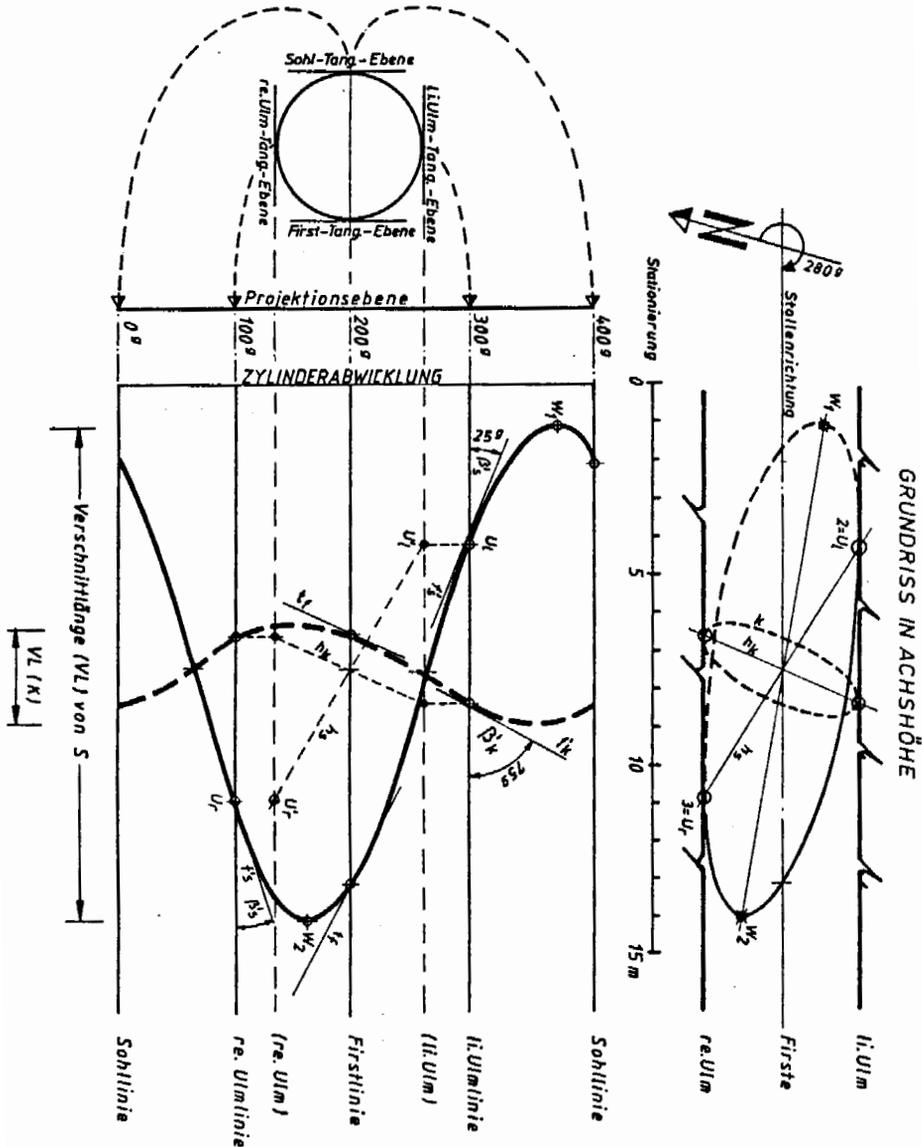


Abb. 1: Lageplan und Stollenabwicklung

Achsrichtung = 280° Stollen $\phi = 4$ m

ss = 012/45

K = 305/75

(400⁹-Teilung)

Verzeichnis der Abkürzungen:

- F = Schnittpunkt mit Firstlinie
- W₁, W₂ = Wendepunkte
- U_l, U_r = Schnittpunkt mit li. bzw. re. Ulminlinie (in Vortriebsrichtung gesehen)
- U'_l, U'_r = Schnittpunkt mit einprojizierten Ulmen des Grundrisses in Achshöhe
- h_s, h_k = Streichrichtung von SSS bzw. K im Horizontalstollen
- h'_s, h'_k = Scheinbare Streichrichtung (SS bzw. K) im Schrägschacht
- f_s, f_k = Scheinbare Falllinie von SS bzw. K (identisch mit Tangente an Schnittkurve in der Ulm-Tangential-Ebene)
- f_s = Falllinie SS
- β'_s, β'_k = Scheinbarer Einfallswinkel von SS bzw. K
- β_s, β_k = wahrer Einfallswinkel von SS bzw. K
- ss = Verschnittlinie bzw. Großkreis der Schichtfläche 012/45
- K = Verschnittlinie bzw. Großkreis der Kluft 305/75

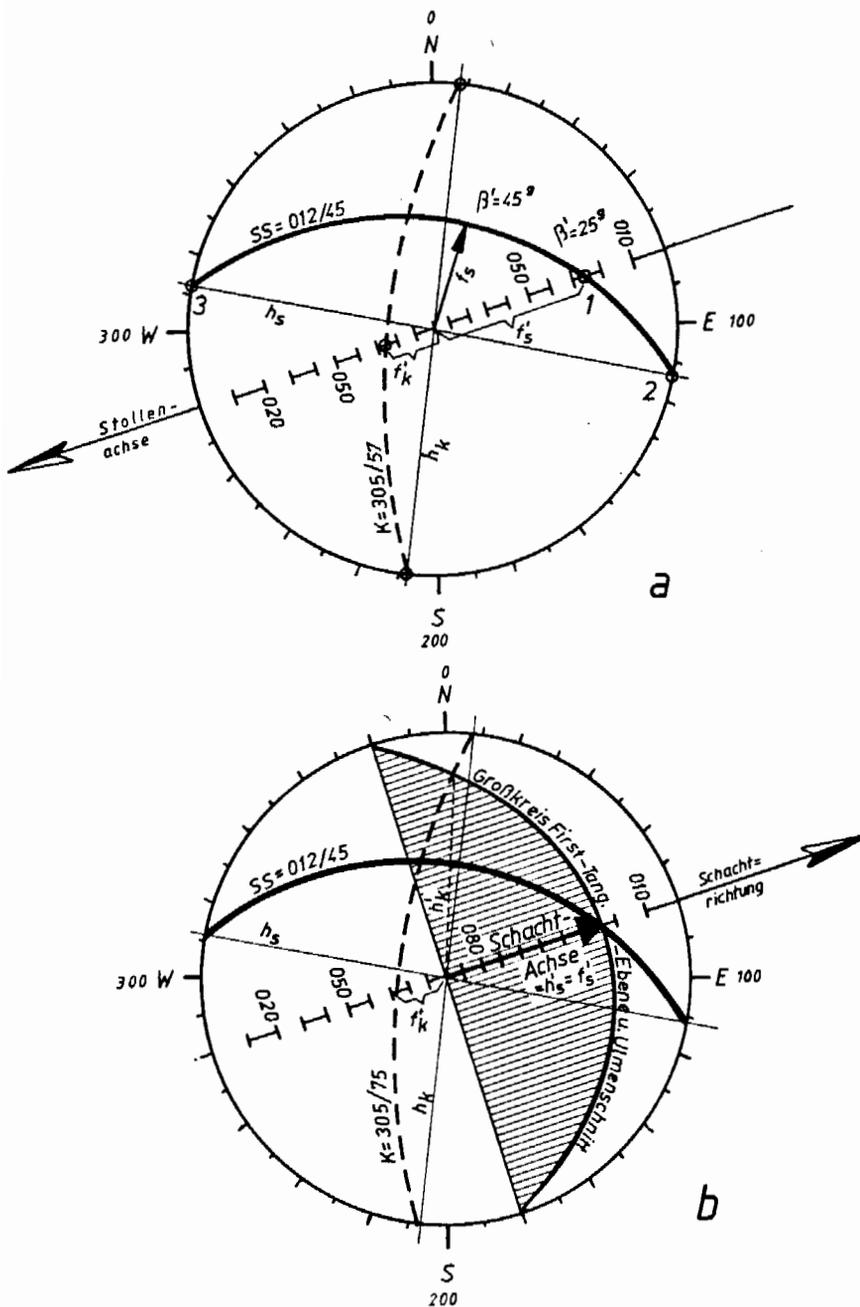


Abb. 2: Graphische Ermittlung von Gefügedaten in Frässtollen.
 Wulff'sches Netz, Teilung 400^g, Bezifferung großkreis-gerecht
 2 a) Horizontalstollen wie in Abb. 1
 2 b) Schrägschacht mit gleicher Richtung; Schachtneigung 25° (080/25)

In eine Oleate wird die Stollenrichtung eingezeichnet. Diese entspricht aber auch dem Großkreis aller achsenparallelen Vertikalebene – somit auch den Tangentialebene an den Mantelerzeugenden in den Ulmen – Mitten (in der Abb.: Ulmlinien).

Da die scheinbare Fallinie f' (mit dem scheinbaren Einfallswinkel β') aber in der Ulmtangentialebene liegt, kann sie über die Wulff'sche Gradteilung in die Oleate direkt eingetragen werden. (Punkt 1).

Die Punkte 2 und 3 werden aus dem Stollengrundriß direkt entnommen – zur Vereinfachung kann man eine Projektion des Stollengrundrisses direkt in das Stollenband übernehmen (eingeklammerte Bezeichnungen in Abb. 1). Wird die Oleate mit eingerichteter Stollenrichtung direkt auf das Stollenband gelegt, kann man die Streichrichtung h durchzeichnen, sie muß im Stollenband dann nicht eingezeichnet werden.

Auf dem Wulff'schen Netz (wegen der Winkeltreue!) wird jetzt der Großkreis aufgesucht, den die Punkte 1, 2 und 3 gemeinsam haben. Daraus ergeben sich Azimut und Einfallswinkel der Schichtung SS in Clar-Koordinaten.

Da diese Prozedur immer noch etwas Aufwand erfordert, wird man sie natürlich nicht bei jeder einzelnen geologischen Fläche durchführen, sondern mehrmals je Kluffschar pro Stollenbandschnitt von 200 m.

Die in die Profilebene projizierten scheinbaren Einfallswinkel sind konstruiert, da die Tangentialebene parallel zum Achs-Längsschnitt liegen. Dies erleichtert die Konstruktion von Längsschnitten.

b) Schrägschächte:

In Schrägschächten wird der Vorgang um einen Schritt länger, da die Streichrichtung h nicht mehr direkt ermittelt werden kann (der Ulmenschnitt ist eine schiefe Ebene).

Der Großkreis dieses Ulmenschnittes (= Großkreis der First- und Sohl-Tangentialebene) ergibt als Schnittlinie mit dem Großkreis der geologischen Fläche die Verbindung der Ulmenschnittpunkte h' , die im Stollenband eingetragen wurde.

Der scheinbare Einfallswinkel β' wird wie bei Horizontalstollen ermittelt. Allerdings ist hier zu beachten, daß die Mantellinie nicht horizontal ist – es ist also nicht der Winkel zur Stollenachse, sondern zur Horizontalen zu messen.

Der Großkreis, den die Endpunkte von f' und h' gemeinsam haben, ergibt die gesuchten Gefügedaten.

Erfahrungen

Da diese Methode immer noch einen gewissen Aufwand erfordert, werden nur zumeist einige pro Stollenbandschnitt von 200 m auf diese Weise ermittelt und die Werte auf Flächen des gleichen Systems übertragen.

Größere Fehler ergeben sich vor allem bei sehr flach verlaufenden Verschnitten von f' (bzw. bei Schrägschächten auch von h'); dem kann aber durch Benützung eines großen Gradnetzes mit höherer Ablesegenauigkeit begegnet werden.

In Schrägschächten gibt es einen nicht auflösbaren Sonderfall: nämlich, wenn f' und h' die gleiche Richtung aufweisen; dies kommt aber nur dann vor, wenn h' in Schachtrichtung verläuft. (Vgl. Großkreis für S in Abb. 2b). Es sind in diesem Falle viele Lösungen möglich.

Ansonsten sind mit dieser Methode die scheinbaren Fallwinkel für Längsschnitte als auch die Gefügedaten ermittelbar – insbesondere vor Ort oder bei Fehlen eines Rechners auf der Baustelle.

Der noch elegantere Weg mittels Kleinrechners wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

3. Rechnerische Erfassung der Gefügedaten aus den Verschnittwerten der Trennflächen (S. JACOBS)

Im Jahr 1979 nahm der Autor mit der Fernsehsonde der Tauernkraftwerke-AG Sondierbohrungen im Krafthausbereich Häusling auf. Für lotrechte Bohrungen existierte ein Vorsatz, über den ein Kompaß eingespiegelt wurde, der die Orientierung der beobachteten Trennflächen möglich machte. Bei der Fernsehsondierung horizontaler und mäßig geneigter Bohrungen gab es zunächst keine Möglichkeit, die Ellipsen in beliebiger Lage, die der Schnitt des (Bohrloch-)Zylinders mit den (Trennflächen-) Ebenen in beliebiger Lage ergab, den zwei gebräuchlichen Lagedaten Fallrichtung und Fallwinkel zuzuordnen.

Das Bild des Monitors gibt folgende Information über die Lage der Ebene aus den Daten der elliptischen Schnittfläche:

- 1) Den Winkel zwischen der Vertikalebene durch die Stollenachse (normal auf die Objektiv- bzw. Betrachterebene mit Sicht in Bohr- bzw. Vortriebsrichtung) und der Ebene, die durch Stollenachse und die große Halbachse der Ellipse aufgespannt wird, im folgenden „Verschnittwinkel“ (VW), genannt (Abb. 3).
- 2) Die auf die Achse projizierte Länge des Ellipsenverschnitts im folgenden „Verschnittlänge“ (VL) genannt.

Beide Parameter lassen sich sehr einfach genau ermitteln: eine über den Monitor gelegte Folie mit 400 μ -Kreis ermöglicht den Verschnittwinkel direkt abzulesen; aus der Markierung am Einschubgestänge oder am Übertragungskabel vom vordersten bis zum hintersten Schnittpunkt der Trennfläche ergibt sich ebenso direkt die Verschnittlänge.

Vom Zylinder sind der Radius (R) und die Achsrichtung (AR) bekannt. Diese bleiben im allgemeinen über die gesamte Bohrlochlänge konstant. Bei allfälligen Abweichungen (insbesondere der AR) sind entsprechende Korrekturen erforderlich.

Die Länge der Falllinie auf der Ellipse errechnet sich als

$$L_v = R^3 \sin^2 VW + L^2 \cos^2 VW, \quad \text{wobei } L = VL/2.$$

Die Länge der Streichlinie ist analog:

$$L_h = R^2 \cos^2 VW + L^2 \sin^2 VW.$$

Der „Streichwinkel“

$$\sin \alpha' = R/L_h$$

d. h. der Winkel zwischen Streichen der Ebene und der Achsrichtung gibt durch Addition bzw. Subtraktion der Achsrichtung = 100 μ (je nach Quadrant der Objektivenebene, in dem die große Halbachse der Ellipse beginnt) die Fallrichtung (α).

05/17/86 08:54:00

PROJEKT : E. H. WEISS

von Station : 0
bis Station : 60

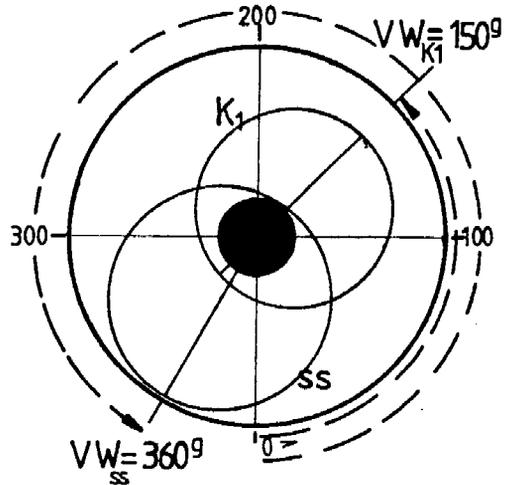
Durchmesser : 4.0 m

Achsrichtung: 280.0 g

Stat|Alfa / Beta|Kennung

1	11 / 44	ss
7.5	306 / 76	K1

2 Messungen 08:56:39
Ende der Berechnung



05/17/86 09:05:21

PROJEKT: E. H. WEISS

STATION/LOKALITÄT:
1926 -1986

Abb. 3a):
Blick in Achsrichtung, Darstellung des Verschnittwinkels (Lage der großen Ellipsenhalbachse zu 400g Bezugssystem).

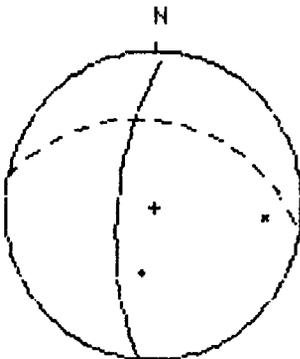


Abb. 3b):
Beispiel eines Rechnerausdrucks sowie dazugehöriges Gefügediagramm.

+	-->	s-F1	o	-->	Stör
x	-->	K1	•	-->	Zerr
↑	-->	Harn.			
-----		s-Flächen			
=====		Klüfte			
=====		Störungen			
xxxxxxxxx		Zerrung			
↑↑↑↑↑↑↑		Harnische			

$$\begin{array}{ll} \text{Der Fallwinkel} & \text{tg } \beta = \text{tg} \gamma / \sin \alpha \\ \text{wobei} & \sin \gamma = R/L_v \end{array}$$

ergibt den zweiten Wert zur Darstellung der Fläche in CLAR-Notierung.

Da die eingangs angeführten Hindernisse bei der Gefügaufnahme in gefrästen Stollen trotz Begehrbarkeit ähnlich sind, lag es nahe, auch dort alle Gefügedaten rechnerisch zu ermitteln. Das erste Mal wurde diese Methode konsequent bei der geologischen Dokumentation des Drassnitz- und Lamnitzstollens (11 km) für das Kraftwerk Wölla der Kärntner Elektrizitäts-AG angewendet.

Für die geologischen Stollenaufnahmen für das im Bau befindliche KW Strassen-Amlach der TIWAG (in Summe 23 km) wurde die Aufnahmetechnik im Stollen auf die Bedürfnisse eines Rechners abgestimmt. Die Aufnahmen erfolgen bis auf tektonisch zu komplizierte Bereiche oder Aufnahmen im Maschinenbereich ausschließlich auf Diktaphon. Punktförmigen oder flächigen Elementen wie Wasserzutritten oder Entspannungserscheinungen werden eine Station und ein Winkelwert im 400 g Bezugssystem zugeordnet, linearen Elementen wie petrographischen oder tektonischen Trennflächen aller Art werden Verschnittlänge, Verschnittwinkel, Mächtigkeit und Kennung, die auch alle Charakteristika enthält, zugeordnet.

Die detaillierte mündliche Stollenbeschreibung wird während des Abhörens reingezeichnet, gleichzeitig Gefügedaten gerechnet und Gefügediagramme ausgeplottet.

Im vorliegenden Fall wurden die gleichen Ebenen wie die in der Lagenkugelermittlung (vgl. Abb. 1 und 2) verwendet:

$$\begin{array}{ll} \text{Stollenkonstante:} & R = 2 \text{ m, } AR = 280\text{g} \\ \text{SS-Fläche:} & VL = 13 \text{ m, } VW = 360\text{g} \\ k_1\text{-Fläche:} & VL = 2,5 \text{ m, } VW = 150\text{g} \end{array}$$

Lagedaten: SS-Fläche: 011/44; k_1 -Fläche: 306/76 (vgl. Abb. 3)

Die bisherigen (Mai 1986) Erfahrungen bei der Dokumentation von ca. 10 km Druckstollen zeigen die nach Meinung der Autoren großen Vorteile der Methode: mit vergleichsweise geringem Zeitaufwand ist eine detaillierte Gefügaufnahme samt Auswertung möglich: Gegenüber der graphischen Methode sind die Abweichungen der gerechneten Werte äußerst gering. Die großen Streuungen bei Kompaßmessungen an buckligen Flächen werden durch die Integration über die Einhüllende der geologischen Fläche ausgeglättet.

Bereiche mit starkem Wasserandrang (beim gegenständlichen Stollen z. B. durchgehend von Station 4500 bis 6800 m, am Portal max. 730 l/sec.), können mit gleicher Genauigkeit beschrieben werden; die Zeichnung des Stollenbandes erfolgt im Trockenem.

Ausblick:

Zur Zeit wird daran gearbeitet, die Einzelprogramme: Berechnung der Lagedaten, Gefügediagramme und das Plotten von Kluftverschnitten, die für einen Portable-Computer EPSON HX 20 des Autors geschrieben worden waren, in einen auf der Baustelle installierten IBM-PC zu übersetzen und zu einem Programmsystem zu verketten. Dieses Programm wird für die Berechnung in Stollen und Schächten in beliebiger Lage erstellt. Ein vom Plotter gelieferter „Stollenbandrohling“ wird niemals das händisch gezeichnete Stollenband ersetzen. Aus einer vollständigen Stollendatei (umfaßt von

Seiten des Geologen z. B. Gesteins-, Gefüge-, Wasserdaten, von Seiten der Bauleitung z. B. Sicherungsausbau, Fräsenkennwerte etc.) könnten jedoch ohne großen Zeitaufwand thematisch zusammenfassende Darstellungen gezeichnet werden.

4. Literatur

AEBERLI, U.: Einsatz von Tunnelvortriebsmaschinen in schwach metamorphen kalkigen Sedimentgesteinen. Abhängigkeit des Vortriebs von geologisch-petrographischen Bedingungen. – Diss. ETH-Zürich, 1978.

BÜCHI, E.: mündliche Mitteilung 01/1986

PATEK, R.: entscheidende Mithilfe bei der Formulierung der Algorithmen.

WANNER, H.: Advantages of the Computer-Aided Mapping of Tunnels. IAEG-Symposium "Engineering Geological Mapping" Newcastle upon Tyne. – Bull. IAEG, 19, 314–319, 1978.

Manuskript eingelangt am 22. April 1986

angenommen am 23. Juli 1986



Ingenieurgeologische Karten für die Gefahrenzonenplanung in Hangbereichen

von

M. MOSER

mit

11 Abb., 1 Tab., 3 Beil.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. M. Moser
Lehrstuhl für Angewandte Geologie
Universität Erlangen-Nürnberg,
Schloßgarten 5
BRD-8520 Erlangen

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.

33

S. 57–76

Wien 1986

Inhalt

Zusammenfassung, Abstract, Dank	58
1. Einleitung und Problemstellung	59
2. Erläuterung und Darstellung verschiedener ingenieurgeologischer Karten innerhalb instabiler Hangbereiche	62
2.1. Die großmaßstäbige umfassende Vielweckkarte	62
2.2. Die großmaßstäbige geomorphologische Karte	63
2.3. Die großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: mögliche Anbrüche und Hangbewegungen	64
2.4. Die großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: strukturgeologische und hydrogeologische Einheiten einer Talzuschubsmasse	72
3. Zusammenfassung und Ausblick	75

Zusammenfassung

Die Ausscheidung von Gefahrenzonen innerhalb instabiler Hangbereiche sollte sich auf verschiedene ingenieurgeologische Karten stützen können, die sich nach Maßstab und Inhalt unterscheiden. In Anbetracht des flächenartigen Charakters dieser Erhebungen und Kartierungen müssen schnelle und billige Vorgehensweisen gewählt werden, um die notwendigen geotechnischen Daten zu erhalten. Hauptaufgabe wird es sein, eine möglichst umfassende, am Zweck des Kartenwerkes orientierte Darstellung der Fest- und Lockergesteine zu geben. Darüber hinaus wird es erforderlich sein, vorhandene und mögliche Massenbewegungen in den verschiedenen Gesteinskomplexen zu erfassen. Für besonders kritische Bereiche sollte eine lückenlose Kette von ingenieurgeologischen Kartenerhebungen bestehen, die von mittel- bis großmaßstäbigen, umfassenden Vielweckkarten über analytische Karten bis hin zu ingenieurgeologischen und geotechnischen Zonenkarten reichen.

Abstract

Determination of dangerous regions in unstable slope areas is based on various engineering geological maps, which differ in regard to scale and content. Faster and cheaper approaches have to be selected, however, regarding the assessment and mapping of large areas to gather the necessary data. The main problem is to give a significant geotechnical interpretation of soils and rocks based upon especially large scale comprehensive maps. In addition to that it is necessary to map existing and future mass movements in various rock and soil complexes. For especially critical areas a complete series of engineering geological maps should exist, ranging from medium to large scale comprehensive, multipurpose maps over analytical maps to engineering geological and geotechnical zoning maps.

Dank

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. E. H. WEISS, der mich auf den immer wieder faszinierenden „Weg“ der Muren und Hangbewegungen im Jahre 1967 gebracht hat.

Diesem Themenkreis ist der Jubilar selbst über mehrere Jahre nachgegangen und speziell der hier herausgegriffene Bereich des Lesachtals und des Talzuschubes Gradenbach haben ihn besonders beschäftigt. So soll dieser Beitrag als kleine Ergänzung und Reminiszenz zu den umfangreichen Untersuchungen des Jubilars in seiner Kärntner Zeit angesehen werden.

1. Einleitung und Problemstellung

Im Alpenraum hat sich in den letzten 25 Jahren, bedingt durch den technischen und wirtschaftlichen Fortschritt, ein tiefgreifender sozioökonomischer Wandel vollzogen. Der angedeutete Strukturwandel in der Gesamtwirtschaft und dem sozialen Gefüge ist einerseits auf die Bildung neuer Intensivzonen, andererseits auf die Entleerung, bzw. die periodisch übermäßig starke Frequenz einiger Regionen zurückzuführen. Wie stark der Siedlungsdruck in manchen alpinen Gebieten ist, spiegelt z. B. eindrücklich die Karte der Fläche von „Netto-Tirol“ wieder, die die eigentlich besiedlungsfähige Fläche, abzüglich der durch Lawinen, Wildbäche, Muren, Hochwässer und Vernässungszonen nicht in Frage kommenden Gebiete darstellt. Die Gesamtfläche von 12.647 km² wird auf ca. 1.000 km² reduziert (H. AULITZKY 1972).

Da die aufgezeigten Entwicklungen für gewisse Teile der Alpen auch für die Zukunft relevant sein werden, ist man im gesamten Alpenbereich besonders nach den Unwetterkatastrophen der Jahre 1965 und 1966 zu der Überzeugung gekommen, daß umfangreiche Ursachen- und Schadensanalysen für eine sachgerechte Raumplanung im alpinen Raum für den Bestand der Landschaft unerlässlich sind. Im folgenden Schema (modifiziert nach H. GRUBINGER 1976) sind die einzelnen Arten von vorbeugenden Maßnahmen für ein umfassendes Schutzkonzept in ihrer Wirkungsweise schematisch dargestellt.

Vorbeugende Maßnahmen

I. Aktiver technischer und ingenieurbiologischer Schutz	II. Passiver Schutz
punktuell	Rechtsnormen und Zonenausscheidung
linear	Abgrenzung von Gefahrenherden und gefährdeten Zonen
flächenhaft	Ausscheidung von Wasser- und Geschieberetentionsräumen

Die Abgrenzung von Gefahrenherden und gefährdeten Gebieten stellt das Aufgabengebiet der Geotechnik im umfassenden Sinne dar. Eine detaillierte und aussagekräftige Abschätzung der potentiellen Gefahrenherde, d. h. eine Angabe des Katastrophenpotentials, sollte unter forsttechnischen, geologischen, boden- und felsmechanischen Gesichtspunkten erfolgen.

Für die Erfassung und Darstellung eines solchen komplexen Inhaltes sind am besten ingenieurgeologische Karten der verschiedensten Prägung geeignet. Seit etwa 10 Jahren ist es allgemein üblich, ingenieurgeologische Karten nach dem Zweck, Inhalt und Maßstab zu gliedern (Abb. 1).

ARTEN VON INGENIEURGEOLOGISCHEN KARTEN

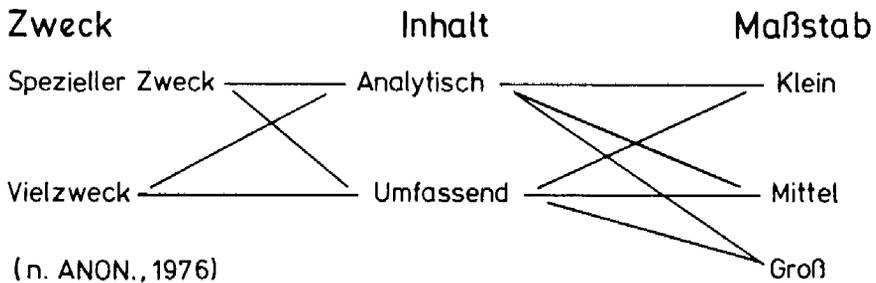


Abbildung 1

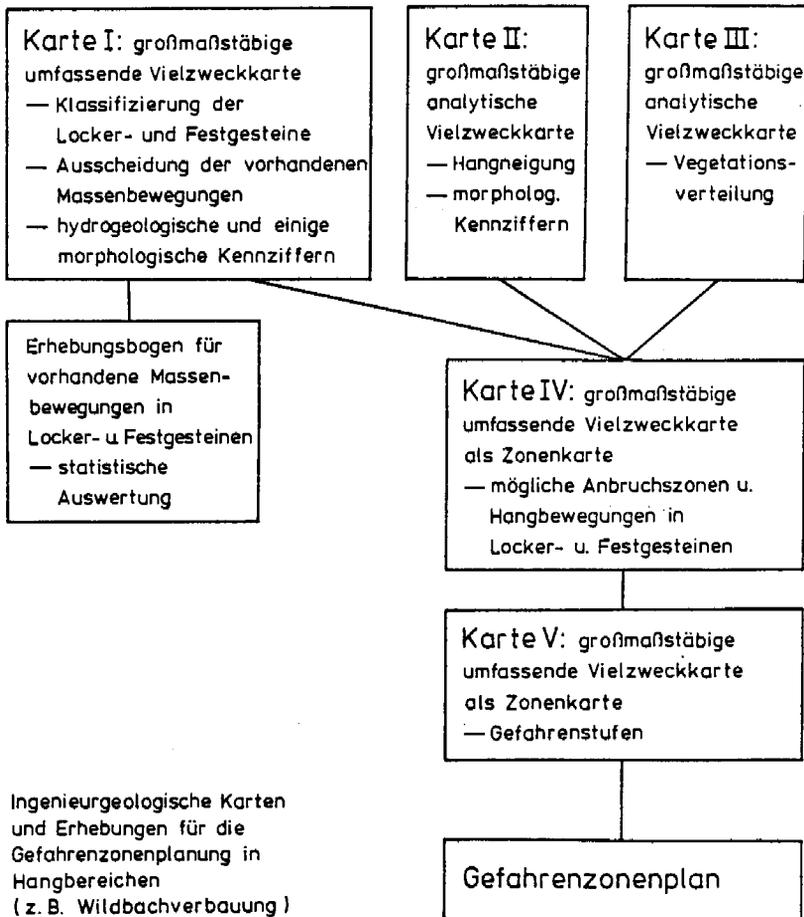


Abbildung 2

Ingenieurgeologische Karten und Erhebungen für die Gefahrenzonenplanung in Hangbereichen (z. B. Wildbachverbauung)

Wie aus dem Schema zu entnehmen ist, sind Kombinationen all dieser Typen möglich. Grundlage aller detaillierten ingenieurgeologischen Untersuchungen bildet zweckmäßigerweise eine großmaßstäbige (größer 1 : 5.000), umfassende Vielzweckkarte. Zur Darstellung kommen vor allem geotechnisch klassifizierte Fest- und Lockergesteinstypen, geodynamische Prozesse und hydrogeologische Kennzeichen durch einfache Superposition auf einem Kartenblatt. Wie M. MATULA (1976) betonte, sind solche Karten, obwohl sie auch vereinfachte Modelle der wesentlich komplexeren Wirklichkeit darstellen, weniger verständlich für „nicht-geologische“ Leser. Planer und Ingenieure bevorzugen sehr häufig Zonenkarten, die aufgrund einer weiteren Zusammenfassung und Vereinfachung eine gezielte Aussage und direkte Beurteilung für ingenieurmäßige und forsttechnische Zwecke erlauben.

Als wünschenswert und auch mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand durchführbar, haben sich für die Beurteilung des Gefahrenpotentials in Hangbereichen folgende Karten und Erhebungen herauskristallisiert (Abb. 2):

- eine großmaßstäbige umfassende Vielzweckkarte
- zwei analytische Karten mit Angabe der Vegetationsverhältnisse und der Morphologie
- ein Erhebungsbogen zur Aufnahme der vorhandenen Hangbewegungen besonders im Hinblick auf die statistische Auswertung
- eine Karte mit der Ausscheidung und Abgrenzung der potentiellen Gefahrenggebiete als ingenieurgeologische Zonenkarte.

Die untersuchten Gebiete liegen in Kärnten und Osttirol, die in den Jahren 1965, 1966 und 1975 verstärkt von Hangbewegungen der verschiedensten Art betroffen waren (Abb. 3).

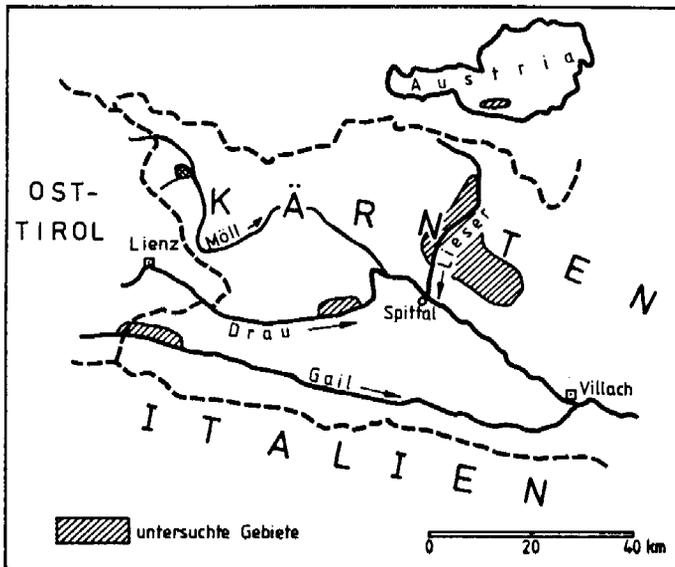


Abb. 3: Lage der untersuchten Gebiete anlässlich der Niederschlagsereignisse in den Jahren 1965, 1966 und 1975.

2. Erläuterung und Darstellung verschiedener ingenieurgeologischer Karten innerhalb instabiler Hangbereiche

2.1. Die großmaßstäbige umfassende Vielzweckkarte

In einer solchen Karte sollten Verteilung und geotechnische Ausbildung der Gesteine (getrennt nach Locker- und Festgesteinen) und die geodynamischen Prozesse, d. h. in diesem Falle die Massen- und Hangbewegungen zu entnehmen sein. Kriterien zur Ausscheidung der Locker- und Festgesteine können verschiedenen Publikationen d. IAEG (ANON.I. 1976, ANON.I. 1981) entnommen werden. Besonders die Erhebung und Darstellung vorhandener Massenbewegungen bilden eine unerläßliche Voraussetzung für die Abgrenzung potentieller Gefahrenbereiche. Obwohl sich in der Natur vielfach Überschneidungen ergeben, scheint für die Praxis eine Einteilung nach dem Bewegungsvorgang, weiterhin nach der Art der Gesteine und nach der etwaigen Form des Anbruchs am zweckmäßigsten zu sein. Ein für den alpinen Bereich modifiziertes Schema der von A. NEMCOK et al. 1972 vorgeschlagenen Einteilung kann der Tab. 1 entnommen werden.

Tabelle 1

GRUNTYPEN VON MASENBEBEWEGUNGEN UND ANBRUCHSFORMEN IM ALPINEN BEREICH

BEWEGUNGSVORGANG	I FESTGESTEINE	II FESTGESTEINE DER FELSGÜTE-KLASSE E	III LOCKERGESTEINE
1. FALLEN, STÜRZEN	1.1 Steinschlag, Blockschlag 1.2 Felssturz 1.3 Bergsturz Anbruchsform 1.2, 1.3: <u>Nischenanbruch</u>	—	selten, wenn 1.4 Lockergesteinsabsturz Anbruchsform: <u>Plattenanbruch</u>
2. GLEITEN 2.1 z.T. rotationsförmig	2.1.1 Felsgleitung ohne vor- gezeichnete Gleitfläche Anbruchsform: <u>Nischenanbruch</u>	2.1.2 Rotations-Rutschung in Felsgüte-Klasse E Anbruchsform: <u>Muschelanbruch</u>	2.1.3 Rotations-Rutschung in Lockergesteinen Anbruchsform: <u>Muschelanbruch</u> a. tiefgreifend b. flach
2.2 translationsförmig	2.2.1 Felsgleitung mit vor- gezeichneter Gleitfläche Anbruchsform: <u>Nischenanbruch</u>	—	2.2.2 Translations-Rutschung in Lockergesteinen Anbruchsform: <u>Blattanbruch</u> a. tiefgreifend b. flach (z.B. mächtige Hangschuttdecke z.B. Grasnarben-Rutschung auf Fels)
3. FLIEßEN 3.1 schnell (m/Jahr)	—	3.1.1 Schuttstromfließen	—
3.2 sehr schnell (5 bis 20 m/sec)	—	3.2.1 Mure Anbruchsform: <u>Rinnenanbruch</u>	—
4. KRIECHEN (sehr langsame Bewegung, cm/Jahr)	4.1 Talzusub (Sackung)	4.2 Felskriechen (Felsgüteklasse E)	4.3 Lockergesteinskriechen

Beispiel: Siedlungsgebiet Birnbaum-Kornat/Lesachtal, Blatt 197 Kötschach; Untersuchungsschwerpunkt: Kartierung von Hangbewegungen in der Überlagerung (vorw. Verwitterungs- und Hangschuttdecken des Gailtalkristallins).

Vorbemerkung: Die Lesachtalfurche und die angrenzenden Talflanken nehmen hinsichtlich des Katastrophenpotentials eine besondere Stellung innerhalb der Tallandschaften Österreichs ein. Dies ist auf geologisch-geomorphologische und hydrographische Besonderheiten zurückzuführen. Die geologisch-geomorphologischen Bedingungen sind einerseits durch hochteilbewegliche Gesteinsverbände des Gailtalkristallins und deren Verwitterungs- und Hangschuttdecken, andererseits aber durch mächtige, heterogen aufgebaute glaziale Lockergesteine gekennzeichnet. Die hy-

drographische Charakteristik wird bestimmt durch hohe jährliche Niederschlagssummen und besonders wichtig für die Entwicklung und Intensität geodynamischer Prozesse durch sehr hohe durchschnittliche extreme Tagesniederschläge, eine große Zahl extremer Tagesniederschläge und auch einen sehr hohen Wert des höchsten Tagesniederschlags. Diese Situation bedingt, daß die Talflanken alle Arten von Instabilitäten zeigen, die von Hanganbrüchen in der Überlagerung, von ausgedehnten Vermurungen bis hin zu tiefgreifenden und über mehrere hundert Höhenmeter sich erstreckende Sackungen reichen.

Die Karte (s. Beil. 1) zeigt u. a. folgende Details:

a) **Art der Festgesteine**

- anstehender Granatglimmerschiefer incl. Verwitterungsschutt $< 0,5$ m: hier geotechnisch nicht näher gekennzeichnet; besonders zu den Einhängen des Schmiedbaches und des Podlanigbaches.

b) **Art der Lockergesteine**

- Verwitterungs- und Hangschuttdecken: vorw. geringmächtige (0,5–2 m): Überlagerung des Gailtalkristallins mit weit gespannter Kornverteilung, nur in Muldenzonen Ansteigen der Mächtigkeit > 2 m; besonders an steilen Hängen Ausgangspunkt zahlreicher, aber räumlich begrenzter Hangbewegungen (vgl. Pkt. c)
- Terrassenschotter, untergeordnet Moränen des Wolyergletschers: sehr heterogene, vorwiegend steinig-blockige Lockersedimente von wechselnder Mächtigkeit (5–10 m) auf Terrassenniveaus von 900 bis 920 m und ca. 1000 m; nur untergeordnet Ausgangspunkt von begrenzten Hangbewegungen
- Murenablagerungen: vorw. feinkörnige Lockersedimente, herrührend von Hangbewegungen des Kornater Siedlungsgebietes; kleinflächige Verbreitung im Bereich einer ehemaligen Schmelzwasserrinne

c) **Form, Vorgang und Größe schon z. T. verheilte und frischer Hangbewegungen**

- vorw. Blattanbrüche in Verwitterungs- und Hangschuttdecken (seichtschalige, hauptsächlich translationsförmige Hangbewegungen < 200 m²; fast alle verheilt, herrührend von der Hochwasserkatastrophe 1966)
- untergeordnet Muschelanbrüche in Verwitterungs- und Hangschuttdecken (seichtschalige, z. T. rotationsförmige Hangbewegungen < 200 m², vornehmlich an Terrassenkanten und Muldenzonen; fast alle verheilt)
- untergeordnet Rinnenanbrüche in Verwitterungs- und Hangschuttdecken (in z. T. nur periodisch fließenden Gerinnen und Muldenzonen)
- untergeordnet kleinflächige Nischenanbrüche im Gailtalkristallin (an den übersteilten Einhängen des Schmiedbaches und des Podlanigbaches).

Zur Einordnung der aufgeführten Hangbewegungen innerhalb der Systematik der Massenbewegungen siehe Tabelle 1.

2.2. Die großmaßstäbige geomorphologische Karte

Geomorphologische Karten haben sich sowohl im Planungsstadium als auch innerhalb der geotechnischen Hauptuntersuchung zur Ergänzung der geotechnischen Grundlagenkarte bewährt (D. BRUNSDEN et al. 1975). Geomorphologische Kennziffern werden einen wertvollen Beitrag zur Identifikation instabiler Hanglagen, bzw. Hinweise auf die Möglichkeit der Entstehung von Sekundärmassenbewegungen geben. Besonders können durch das Ausscheiden von morphologischen Erscheinungen in der Zusammenschau mit anderen Kennziffern Art und Dynamik von Hangbewegungen vorausgesagt werden.

Nach den bisherigen Untersuchungen scheint für großmaßstäbige Karten eine Kombination der Kennzeichen der Gliederung des Hanges mit der Charakterisierung der Hangneigung als sinnvoll und auch als realisierbar anzusehen zu sein. Als Ausscheidungs- und Klassifizierungsmöglichkeit der Hangneigung bieten sich an:

- willkürlich gewählte Bereiche: z. B. 0 bis 10, 10 bis 20, 20 bis 30° usw., die flächenhaft ausgeschieden werden können
- oder Kategorien, die schon Hinweise auf Grenzneigungswinkel bringen.

Grenzneigungswinkel sind natürlich für jedes Material verschieden und werden sich erst nach Auswertung der vorhandenen Hangbewegungen eines größeren Gebietes angeben lassen (vgl. Kap. 2.3.1.).

Ein Beispiel ist im Rahmen dieser Arbeit nicht ausgeführt.

2.3. Die großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: mögliche Anbrüche und Hangbewegungen

Der Begriff der Zonenkarte, der von M. MATULA (1976) eingeführt wurde, bedeutet eine weitere Vereinfachung der komplexen ingenieurgeologischen Verhältnisse, indem verschiedene Parameter zu neuen, weitgehend homogenen Zonen zusammengefaßt werden. Die Auswahl der Parameter, die solche Zonen bestimmen, richten sich nach dem Zweck und dem Maßstab der Karte. Durch diesen Prozeß des Zusammenfassens von verschiedenen Parametern zu neuen ingenieurgeologischen Einheiten lassen sich Vorbeugungs- und Sanierungsmaßnahmen wesentlich gezielter angeben.

Wie aus dem Titel der Karte zu entnehmen ist, wird hier auf potentielle, d. h. in Zukunft wirksame Gefahrengebiete hingewiesen. Gerade im Hinblick auf die Erstellung eines Gefahrenzonenplanes sollte folgendes zu entnehmen sein:

- der mögliche Ort der Entstehung von Massenbewegungen
- die mögliche Art der Anbrüche, bzw. der Hangbewegungen getrennt nach Locker- und Festgesteinen
- Lage und Form der sich daraus möglicherweise entwickelnden Sekundärmassebewegungen

Die Beurteilung des Gefahrenpotentials und die Abgrenzung der Gefahrenzonen müssen, da bei einer falschen Prognose enorme finanzielle Einbußen entstehen können, einen möglichst hohen Grad der Objektivität erreichen. Durch Messungen wird im Hinblick auf die Nachvollziehbarkeit die größte Objektivität erreicht. Messungen sind zeitraubend und oft nicht durchführbar, so daß die Parameter, die den Berechnungen zugrunde liegen, oft quantitativ abgeschätzt werden müssen (H. KIENHOLZ 1977).

Nach KIENHOLZ können drei Grundmethoden der Gefahrenbeurteilung unterschieden werden:

- a) Die „historischen Methoden“: Hier wird versucht, aufgrund der Auswertung zurückliegender Ereignisse Anhaltspunkte über den Ablauf und das Schadensausmaß zu bekommen. Hinweise besonders objektiven Charakters können vornehmlich aus Berichten und Gutachten der Behörden entnommen werden.
- b) Die Grundmethoden der „stummen Zeugen“ und der geomorphologischen Geländeanalyse: Der Begriff „stumme Zeugen“ wurde von H. AULITZKY (1973, S. 93)

in die forsttechnische Literatur eingeführt und beinhaltet „alle erkennbaren Erscheinungen und Wirkungen von abgelaufenen und ablaufenden Gefahren verursachenden Prozessen“. Die Erhebung dieser gefahrenanzeigenden Indikatoren sollte vor allem unter geomorphologischen, geologischen und geomechanischen Aspekten erfolgen. Die statistische Auswertung der stummen Zeugen – in diesem Falle die mit Hilfe eines Erhebungsbogens aufgenommenen vorhandenen Massenbewegungen – wird die Abgrenzung möglicher Geschiebeherde wesentlich erleichtern.

- c) **Die Grundmethode der Modellversuche und der Modellrechnungen:** Einzelne Parameter werden sich mit Modellversuchen abschätzen lassen, doch wird mit einem vertretbaren Zeitaufwand eine flächenhafte Kartierung nicht möglich sein.

Eine genaue geologische und geomorphologische Geländeanalyse wird trotz geringerer Objektivität und Nachvollziehbarkeit bessere Ergebnisse liefern.

2.3.1. Großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: mögliche Anbruchzonen in Hang- und Verwitterungsschuttdecken kristalliner Schiefer

Beispiel: Siedlungsgebiet von Birnbaum-Kornat/Lesachtal, Blatt 197 Kötschach

Da es sich gezeigt hat, daß besonders Hangbereiche von Hang- und Verwitterungsschuttdecken kristalliner Schiefer bei bestimmten Niederschlagsituationen von Hangbewegungen betroffen sind, wurde diesem Problemkreis etwas näher nachgegangen. Durch das Studium der Hangbewegungen der Jahre 1965, 1966 und 1975 konnte festgestellt werden, daß gewisse Parameter in Zusammenhang mit der Art der Niederschläge Form, Größe und Vorgang der Anbruchsbildung bestimmen (Abb. 4).

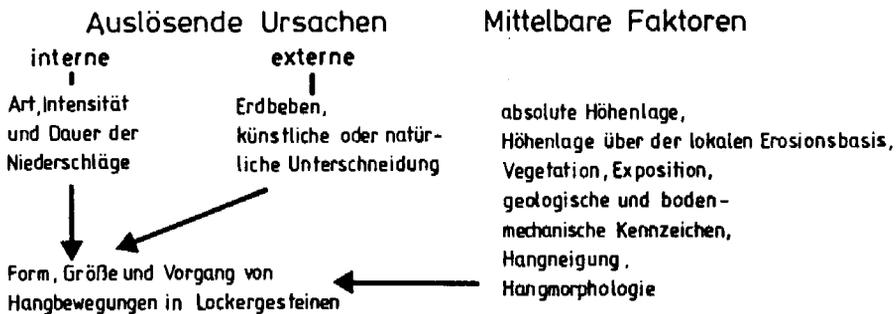


Abb. 4: Beziehung zwischen auslösenden Ursachen, mittelbaren Faktoren und der Entstehung von Hangbewegungen in Lockergesteinen.

Auswertung einzelner Parameter und der stummen Zeugen:

- a) **Materialeigenschaften der Hang- und Verwitterungsschuttdecken von Glimmerschiefern, Gneisen, Phylloniten:**

Das Feld, das von den Körnungskurven eingenommen wird, kann deutlich in zwei Bereiche unterteilt werden:

- einen schmalen, nur geringe Unterschiede aufweisenden, sehr stark besetzten Bereich. Dies sind vor allem feinerdereiche Hangschuttdecken, die nach der DIN 4022

als stark schluffiger, schwach kiesiger Sand bis schluffiger Kies bezeichnet werden können

- ein wesentlich breiteres nicht sehr stark besetztes Feld, dessen größten Anteil die Kiesfraktion einnimmt. Die Schluffanteile sind nur gering. Es handelt sich hier um stark umgelagerte Hangschuttdecken mit z.T. groben Geröllen, die von verschwemmten fluvioglazialen Terrassensedimenten herrühren.

Die wirksame Korngruppe bei den untersuchten Böden wird zum überwiegenden Teil von der Schluffraktion und einem nur geringen Tonanteil gebildet. Dem Schluffanteil muß aber in besonderem Maße eine Empfindlichkeit gegenüber Wassergehaltsänderungen zugesprochen werden. Die geringen Plastizitätszahlen deuten darauf hin, daß eine Vermehrung des Wassergehaltes um 3 bis 4 % eine Zustandsänderung vom halbfesten-plastischen in den breiig-flüssigen Zustand mit sich bringt. Die starke Vermurung, die fast durchwegs unterhalb der Geländebrüche zu beobachten war, muß zum großen Teil auf eine völlige Verflüssigung mächtiger Bodenpartien zurückgeführt werden.

Für den Reibungswinkel wurden je nach Lagerungsdichte und Schluffgehalt Werte von 35 bis 43° in Triaxialversuchen ermittelt (M. MOSER & F. HOHENSINN 1983).

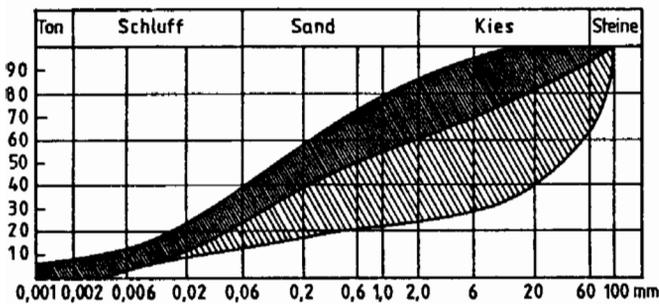


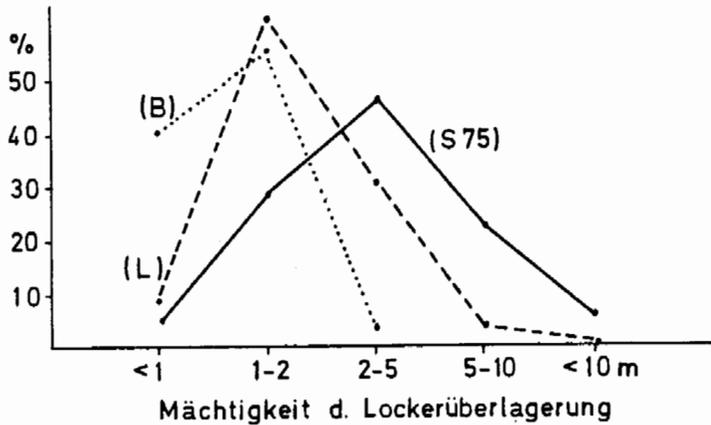
Abb. 5:
Kornverteilung von
Hang- und Verwitterungsschuttdecken kristalliner Schiefer; Bereich verstärkter Anbruchbildung eng schraffiert.

b) Die Mächtigkeit der Überlagerung (Abb. 6)

Die analysierten Hangbewegungen im Bereich des Lesachtals (Kurven „L“ und „B“) zeigen ein deutliches Maximum bei 1–2 m. Dagegen weisen die betroffenen Hänge des Ereignisses im Frühjahr 1975 („S 75“) größere Hangschuttmächtigkeiten auf. Die insgesamt gesehen geringen Mächtigkeiten werden bevorzugt kleinere, vorwiegend mit translationsförmiger Gleitfläche versehene Anbrüche entstehen lassen (s. a. Pkt. e).

c) Die Hangneigung (Abb. 7, 8):

Die Massenbewegungen anlässlich der Schneeschmelze 1975 zeigen ein deutliches Maximum in der Klasse 35–40° mit über 30 % relativer Häufigkeit. Unterhalb der Klasse 20–25° und oberhalb der Klasse 45–50° konnten keine nennenswerten Anbrüche beobachtet werden. Auch für das Niederschlagsereignis im Lesachtal kann angenähert eine Normalverteilung mit der relativen Häufigkeit von ca. 40 % in der Klasse 40–45° angenommen werden.



- Siedlungsgebiet von Luggau-Eggen (L) ; n=35
- Siedlungsgebiet von Birnbaum (B) ; n=45
- Liesertal, Millstätter See, Drautal (S75) ; n=102

Abb. 6: Mächtigkeit der Überlagerung in den untersuchten Anbruchgebieten.

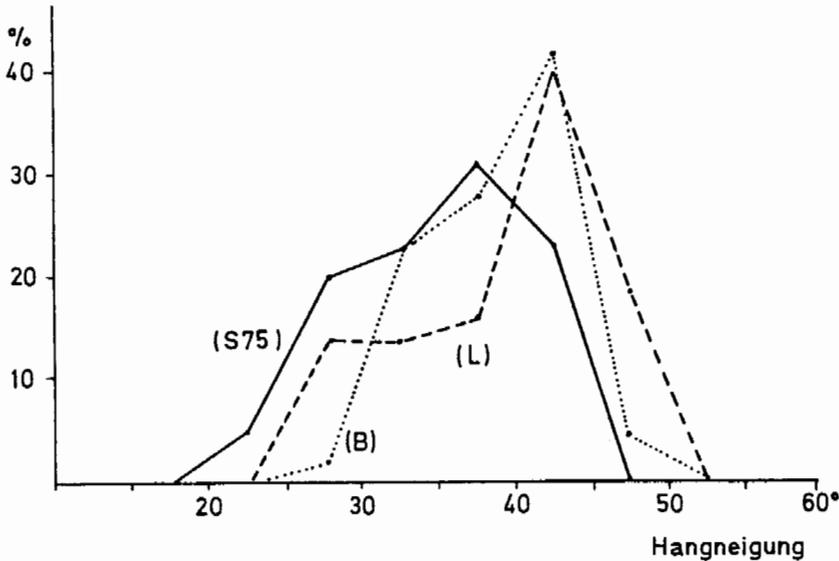


Abb. 7: Der Einfluß der Hangneigung der ursprünglichen Böschung auf die Anbruchhäufigkeit.

Diskussion: Bei allen genauer untersuchten Ereignissen kann ein oberer und unterer Grenzneigungswinkel angegeben werden, der einen potentiellen Hanginstabilitätsbereich abgrenzt. Der untere Grenzneigungswinkel läßt sich am besten mit dem Modell eines parallel zur Oberfläche durchströmten rolligen bis schwach bindigen Bodens mit ebener Gleitfläche erklären.

Die Sicherheit ist gerade noch gewährleistet, wenn

$$\operatorname{tg} \varphi > \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$$

$\varphi \dots$ innerer Reibungswinkel
 $\alpha \dots$ Hangneigung

Bei Reibungswerten φ von 35–40° entspricht dies Hangneigungen α von < 20°. Der obere Grenzneigungswinkel kann im wesentlichen auf zwei Tatsachen zurückgeführt werden:

- in sehr steilen Hangpartien wird sich infolge des größeren Oberflächenabflusses nur ein geringerer Porenwasserdruck als bei mittleren Hangneigungen aufbauen
- auf Hängen steiler als 50° bildet sich keine durchgehende Verwitterungs- und Hangschuttdecke. Das anfallende Material wird durch dauernd wirksame Denudations- und Erosionsvorgänge sofort abtransportiert.

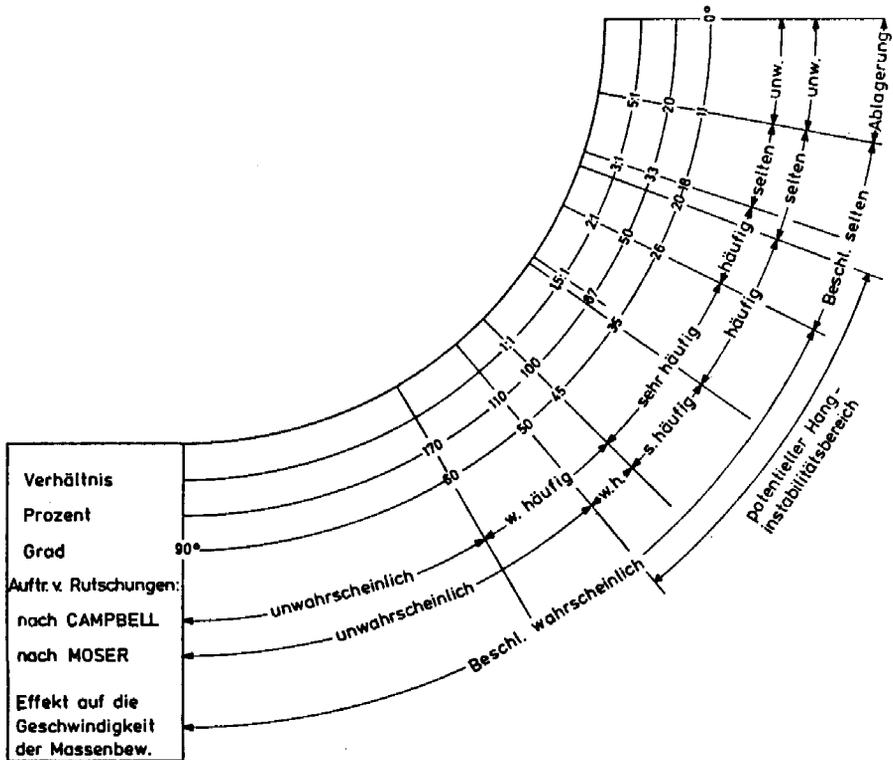


Abb. 8: Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Massenbewegungen in der Überlagerung (Mischböden) an natürlichen Hängen (mod. n. R. H. CAMPBELL 1974).

d) Die morphologische Gliederung der Hänge (Abb. 9):

Die Massenbewegungen häufen sich bei den näher untersuchten Niederschlagsreig-

nissen im Bereich von deutlich gegliederten Hangpartien. Über 55 % (S75) bzw. über 65 % (L, B) der Anbrüche ist an im Längsprofil gestufte Hangprofile (Terrassenkanten) gebunden. Beim Niederschlagsereignis 1975 fällt noch die starke Anbruchshäufigkeit mit ca. 25 % im Bereich von Hangmulden auf. Ungegliederte Hänge, Hangrippen und Hangrücken sind bei beiden Niederschlagsereignissen nur untergeordnet als direkter Ausgangspunkt von Massenbewegungen anzusehen.

Diskussion: Das im Bereich der flachen Hangstücke versickernde Wasser findet in der mit einer wesentlich geringeren Schuttdecke versehenen Steilstufe nicht mehr Platz; es entstehen Wasseraustrittsstellen mit kleinen Quellnischen, die schematisiert der Wirkung eines entfernten Keiles bei der Terrassierung eines Hanges in etwa vergleichbar sind. Die Verminderung der Gegenbelastung, d. h. der Wegfall des passiven Erddruckes wird den endgültigen Böschungsbruch herbeiführen.

Weiterhin ist zu bedenken, daß im Bereich der Hangkante die größten Zugspannungen auftreten. Schwach bindiges Material ist aber nur begrenzt fähig diese aufzunehmen, es werden sich latente Risse und kleine Spalten bilden, die als verstärkter Ausgangspunkt von Hangbewegungen anzusehen sind.

Die geringe Häufigkeit an ungliederten Hängen bzw. auch an Hangrippen und Hangrücken zeigt fernerhin, daß die Art der Hangentwässerung von entscheidender Bedeutung ist. Bei ausgeglichenem Relief und damit gleichmäßiger Mächtigkeit der Überlagerung ist der Staueffekt geringer.

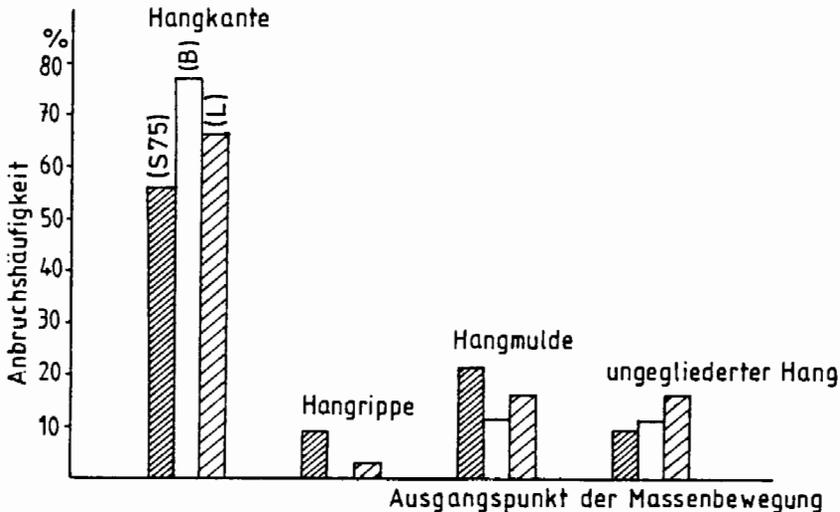


Abb. 9: Der Einfluß der Hanggliederung auf die Anbruchshäufigkeit.

e) Die Größe, Form und Vorgang der Anbruchsbildung (Abb. 10):

Die Auswertung im Bereich des Lesachtales (L und B) und im Bereich des Lieser-
tales und des Millstätterseegebietes (S75) läßt folgende Schlüsse zu:

Die Tiefe: Bei beiden Niederschlagsereignissen liegt die größte Häufigkeit (> 40 %) in der Klasse 1 bis 2 m. Rutschungen tiefer als 4 m weisen in allen untersuchten Ge-

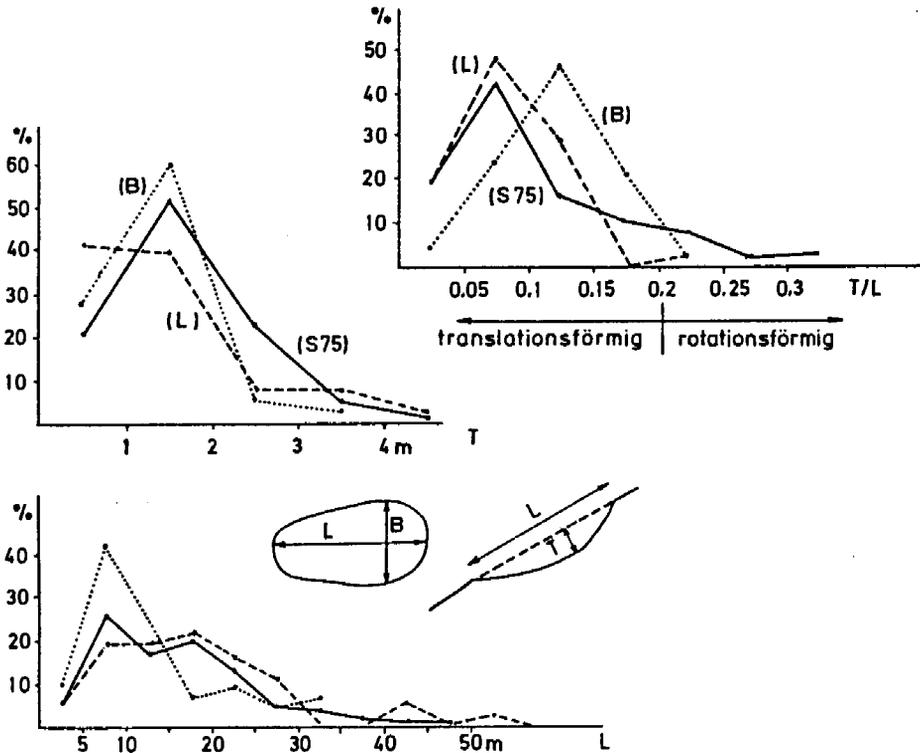


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Tiefen, der Längen und der T/L Verhältnisse der untersuchten Hangbewegungen.

bieten Häufigkeiten unter 5 % auf. Der Mittelwert z. B. für das Niederschlagsereignis 1975 liegt bei 1,60 m.

Die Länge: Hier sind die Unterschiede für die einzelnen Untersuchungsgebiete etwas markanter. So ergibt sich für das Siedlungsgebiet von Luggau-Eggen (L) und auch für das Liesertal und Millstätterseegebiet (S75) ein weitgespanntes, zweigipfeliges Maximum mit der größten Häufigkeit in der Klasse 5 bis 10 m und 15 bis 20 m. Im Siedlungsgebiet Birnbaum-Kornat (B) sind eindeutig Anbrüche mit einer Längenentwicklung in der Klasse 5 bis 10 m vorherrschend.

Das T/L Verhältnis: Seit den Untersuchungen von A. W. SKEMPTON (1953) und M. CROZIER (1973) wird das T/L Verhältnis einer Hangbewegung zur Klassifikation des Vorganges herangezogen. Wie die Abb. 10 zeigt, ergeben sich Maximalwerte in der Klasse 0,05 bis 0,1 (L und S75) bzw. 0,1 bis 0,15 für (B). Dies spricht für das Vorherrschen von translationsförmigen, und bei Betrachtung der Tiefe verhältnismäßig seichtschaligen Hangbewegungen, die nicht allzu tief in den Lockergesteinskörper eingreifen („Blattanbrüche“, J. STINY 1931).

Die Fläche (hier nicht dargestellt): Hier ergeben die Auswertungen z. B. für das Niederschlagsereignis 1975, daß Anbruchsflächen zwischen 100 bis 200 m² die stärkste Gruppe bilden (> 25 %). Anbruchsflächen über 1000 m² sind in der Überlagerung selten zu finden (< 5 %).

Unter Berücksichtigung der hier näher erläuterten Parameter und weiterer mittelbarer Faktoren (Abb. 4) lassen sich die Bereiche ausscheiden, die durch potentielle Anbrüche, Hangbewegungen und Sekundärmassenbewegungen gefährdet sind.

Aus der Karte (Beil. 2) können im einzelnen folgende Inhalte entnommen werden:

- a) **der mögliche Ort der Entstehung von Massenbewegungen:**
 Bevorzugter Ausgangspunkt möglicher Hangbewegungen sind die steilen ($35-40^\circ$), z. T. stark gegliederten Hangbereiche des Siedlungsgebietes von Kornat, die landwirtschaftlich als Wiese und Weide genutzt werden. Weiterhin sind hier die bei Extremsituationen übersteilten Böschungsbereiche der Lesachtaler Bundesstraße zu nennen. Ungegliederte, gut bestockte und $< 25^\circ$ Neigung aufweisende Hangbereiche müssen dagegen als nur gering potentiell anbruchsgefährdet angesehen werden.
- b) **die mögliche Art der Anbrüche bzw. der Hangbewegungen getrennt nach Locker- und Festgesteinen:**
 Zu erwarten sind vorwiegend seichtschalige Blattanbruchszonen und untergeordnet Muschelanbruchszonen in Verwitterungs- und Hangschuttdecken, wobei aber aufgrund der Art der Lockergesteine, der Steilheit des Geländes und der hydrologischen Gegebenheiten nicht nur ein Bruch, sondern auch ein Abtransport des sich in ein Schollenmosaik auflösenden Gleitkörpers erfolgt. An den übersteilten Lehnen des Schmiedbachgrabens und des Podlaniggrabens sind kleinflächige Nischenanbruchszonen (Festgesteine) möglich.
- c) **Lage und Form der Sekundärmassenbewegungen:**
 Die sich an den engeren Ausgangspunkt möglicherweise anschließenden Sekundärmassenbewegungen sind besonders für die Einschätzung der Dynamik der Prozesse wichtig. Wie die Karte zeigt, kommt es nicht nur zu einer breiten Ausfächerung des Schuttes in Form von Schuttgängen, sondern auch zu Murgängen in vorgezeichneten Muldenzonen und zu Rinnenanbrüchen bei verstärkter Konzentration der Hangwässer.

Durch die Klassifikation potentieller Hangbewegungen wird es nun möglich sein, eine direkte Beurteilung und Einstufung der Gefahr bzw. des Risikos anzugeben, d. h. Aussagen über die Dynamik der Prozesse zu treffen. Diese Zusammenhänge können in einer Gefahrenstufenkarte (hier nicht dargestellt) erläutert werden. Letztgenannte Karte stellt nun eine wissenschaftliche Grundlage für die Gefahrenzonenpläne dar, die auf Nutzungsbeschränkungen hinweisen, die sich aus den festgestellten Gefahren ergeben.

2.3.2. Großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: mögliche Anbruchszonen im Bereich einer Talzuschubsstrecke;

Beispiel: Talzuschubstirn Gradenbach / Mölltal, Blatt 180 Winklarn

Das Instabilwerden gesamter Talflanken hat im alpinen Raum negative Auswirkungen auf Verkehrswege, Untertagebauten, Stauräume und Wildbachverbauungen (U. ZISCHINSKY 1969, 1970; E. H. WEISS 1969; G. HORNINGER & E. H. WEISS 1980; M. MOSER & S. GLUMAC 1983). Besonders die Wildbachverbauungen, die im Bereich der größten Deformation einer solchen instabilen Talflanke liegen, sind von solchen Hangverformungen auf das stärkste betroffen. Das Problem liegt nicht nur in einer Zerstörung der Bauwerke durch den aktiven Gebirgsdruck, sondern auch in der

Versteilung und dem Instabilwerden der Talzuschubsstirn, sodaß den Bächen die natürlich anfallenden unbegrenzten Schuttmengen zur Verfügung stehen. Diese Situation führt anlässlich der immer wiederkehrenden Unwetterkatastrophen zu stärksten Vermurungen und Zerstörungen der Talbereiche.

Für die systematischen Untersuchungen wurde der Talzuschub Gradenbach/Kärnten ausgesucht, der besonders bei bestimmten Niederschlagssituationen einen akuten Gefahrenherd im oberen Mölltal darstellt. Anlässlich der Hochwasserkatastrophen 1965 und 1966 verfrachtete der Gradenbach vorwiegend aus dem Bereich der Talzuschubsstirn ca. 1,3 Mill. m³ Material. Der Schwemmkegel wurde 12 m über das frühere Niveau aufgebaut. Dies führte schließlich zur Aufgabe und Umsiedlung eines Teiles der Ortschaft Putschall. Durch diesen starken Geschiebeeinwurf stellt der Gradenbach auch eine Bedrohung der talabwärts gelegenen Ortschaften des Mölltales selbst dar (G. KRONFELLNER-KRAUS 1974).

Aufbauend auf einer großmaßstäbigen umfassenden Vielzweckkarte mit der geotechnischen Klassifikation der Fest- und Lockergesteine und der Ausscheidung der vorhandenen Massenbewegungen (hier nicht dargestellt) wird für die besonders kritische Strecke der Talzuschubsstirn versucht, die potentiellen Hangbewegungen und Anbruchszonen festzulegen (Abb. 11).

In diesem Falle wird sich die Prognose der zu erwartenden Hangbewegungen besonders auf die geotechnische Ausbildung der Festgesteine stützen müssen. Die Aufnahmen im alpinen Raum haben gezeigt, daß für die Anbruchsbildung

- die petrographische Ausbildung
- die Raumstellung der Trennflächen (Schicht-, Schieferungs- und Klufflächen)
- und die technische Gebirgsfazies (nach L. MÜLLER 1963)

bestimmend sind.

Letztgenannter Sachverhalt ist besonders geeignet, die Anfälligkeit bzw. die Art der zu erwartenden Massenbewegung zu kennzeichnen. Er beinhaltet eine Angabe der Klufftkörperform und -größe und damit eine Charakterisierung der Teilbeweglichkeit.

2.4. Großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte, Inhalt: strukturgeologische und hydrogeologische Einheiten einer Talzuschubsmasse; Beispiel: Talzuschub Gradenbach / Mölltal, Blätter 154 Rauris, 180 Winklern

Bei baueologisch besonders kritischen Bereichen sind sehr häufig weitere ingenieurgeologische und geotechnische Zonenkarten wünschenswert, um gezielt Vorbeugungs- und Sanierungsmaßnahmen durchführen zu können (E. H. WEISS & U. HERZOG 1966, M. MOSER 1985).

Besonders durch die Untersuchungen von U. ZISCHINSKY (1969) hat sich gezeigt, daß durch tiefgreifende Hangbewegungen Deformationen und damit auch Gefügeveränderungen des ursprünglichen Gebirgsverbandes zu erwarten sind. Die beobachteten strukturellen Veränderungen sind zum großen Teil mit der Position innerhalb eines mobilen Gebirgskörpers zu sehen. Innerhalb eines potentiell einheitlich teilbeweglichen Gebirgskörpers können Bereiche verschiedener effektiver Teilbeweglichkeit unterschieden werden. Diese effektive Teilbeweglichkeit äußert sich sehr signifikant in einer verschiedenen Ausbildung der Klufftkörperform und -größe. Hierdurch werden strukturgeologische Einheiten geschaffen, die auch hydrogeologisch wirksam sind (Beil. 3).

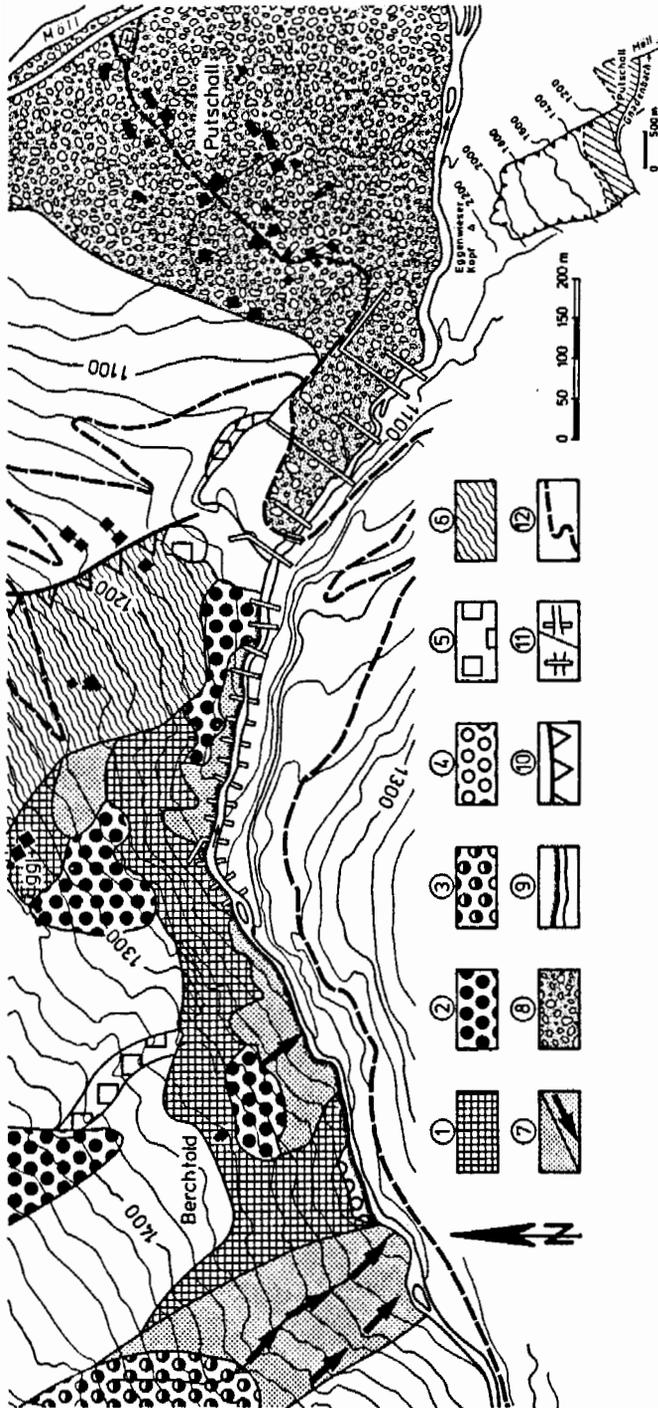


Abb. 11: Großmaßstäbige ingenieurgeologische Zonenkarte (mögliche Anbruchzonen und Hangbewegungen); Teilausschnitt Talzusub Gradenschub/Kärnten.

1 – Anbrüche in Festgesteinen, 2 – Anbrüche in Festgesteinen der Felsgüteklasse E, 3 – Anbrüche in Lockergesteinen tiefgreifend, 4 – Anbrüche in Lockergesteinen flach, 5 – Anbrüche in Lockergesteinen sehr flach „Grasnarbenrutschungen“, 6 – Lockergesteinskriechen, 7 – Sekundärmassebewegungen, die sich an die potentiellen Anbruchzonen anschließen / mit Murgang, 8 – Bereich der möglichen Verformung des Schwemm- und Murkegels, 9 – Uferanbruchzonen, 10 – Rand der Sackungsmasse, 11 – Querwerke intakt / durch Gebirgsdruck zerstört, 12 – Güterweg.

a) Bereiche mit großer Wasseraufnahmefähigkeit und großer Gebirgsdurchlässigkeit

Zonen oberhalb der Hauptabrisßkante:

Durch Ausstriche von Bewegungsbahnen liegt ein teilweise sehr stark zerlegter aber noch im Verband befindlicher Felskörper in quaderig-bankiger Gebirgsfazies vor. Das Öffnen des Gebirgsverbandes äußert sich durch Muldenzonen und kleinere Spaltenzonen, die Ausstriche von Bewegungsbahnen markieren (struktur- und hydrogeologische Einheit 3). Das sich entwickelnde Bruchmuster paust das Trennflächengefüge durch, wobei die Scherklüfte und Störungssysteme (ESE-streichend) des Phyllit-Verbandes für die Auflockerung und die Öffnung des Gebirgsverbandes besonders verantwortlich sind. Entsprechend der geotechnischen Verhältnisse ist der Bergwasserspiegel sehr tief liegend (> 50 m).

Zonen innerhalb der aktiven Talzuschubsmasse:

Besonders unterhalb der Hauptabrisßkante kann ein Gebirgskörper beobachtet werden, der durch die Vorgänge der Hangtektonik weitgehend nicht mehr im Verband ist und Großblockverstellungen mit großen Spaltenzonen zeigt, wo ein schnelles Versitzen und Abführen der Niederschläge erfolgt (struktur- und hydrogeologische Einheit 5). Im Mittelteil herrscht ein stark grobblockiger zerlegter und Spaltenzonen bis > 5 m aufweisender Gebirgskörper vor (struktur- und hydrogeologische Einheit 4), der für ein schnelles Eindringen aber auch für einen sofortigen Abtransport der Wässer sorgt. Ein deutliches Verdrehen des regionalen Trennflächengefüges ist nicht zu beobachten. Eine Abtrennung von Großschollen erfolgt nach steil stehenden ac-Klüften und mittelsteil einfallenden Scherklüften, die teilweise als Störungsflächen ausgebildet sind. Ein im Jahre 1981 durchgeführter Markierungsversuch hat gezeigt, daß die hydraulische Wirksamkeit der Zone 4 in größerer Tiefe der Talzuschubsmasse sehr schwer abzuschätzen ist. Durch die hangtektonischen Prozesse wird durch die Mylonitisierung ein erheblicher Feinanteil im Phyllit-Material bereitgestellt, der auch in den stark durch Spalten aufgelockerten Hangpartien zu weniger durchlässigen Zonen in den tieferen Bereichen der Talzuschubsmasse führt. Die Folge davon wird sein, daß bei Starkniederschlägen oder sehr raschen Schneeschmelzvorgängen (z. B. Witterungsverhältnisse im Jahre 1975) auch in dieser Zone der Aufbau eines hydrostatischen Kluftwasser-schubes möglich ist.

b) Bereiche mit kleiner Wasseraufnahmefähigkeit und kleiner Gebirgsdurchlässigkeit

Diese Zonen sind durch eine feinblättrige Gebirgsfazies mit sehr viel Feinanteil und geringer Spaltenbildung gekennzeichnet. Bevorzugt sind solche Gebirgspartien im unteren Teil der Talflanke zu finden (struktur- und hydrogeologische Einheit 6). Kleinere derartig ausgebildete weniger durchlässige Bereiche finden sich auch im Mittelteil der Talzuschubsmasse, die für das Entstehen größerer Quellhorizonte und ebenso für Zonen mit starken Bergwasserspiegelschwankungen verantwortlich sind.

Als weitere typische strukturgeologische Einheit (M. MOSER & S. GLUMAC 1983) bei sich stark in Bewegung befindlichen Gebirgskörpern können beobachtet werden:

- die Hauptabrisßkante (strukturgeologische Einheit 1)
- die Talzuschubsstirn (strukturgeologische Einheit 2)
- instabile Zonen innerhalb der Talzuschubsmasse im Bereich von sich stark einschneidenden Gerinnen (strukturgeologische Einheit 7).

3. Zusammenfassung und Ausblick

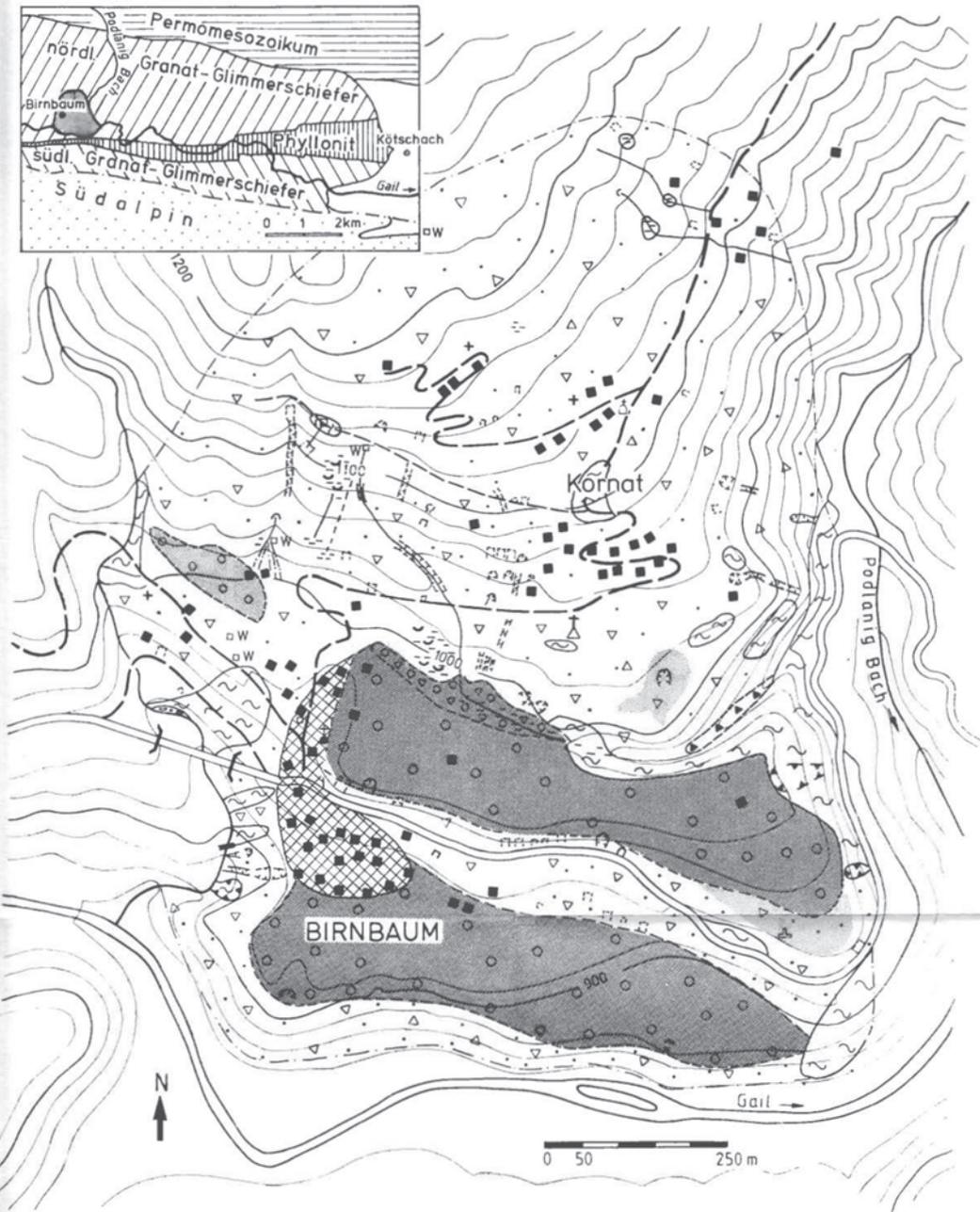
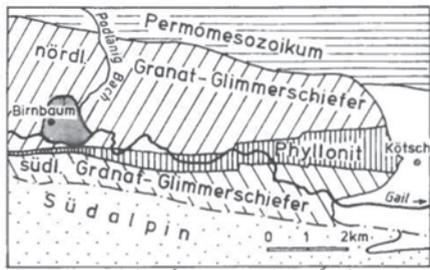
Es hat sich in den letzten 10 Jahren gezeigt, daß die Darstellung instabiler Hangbereiche in verschiedenen ingenieurgeologischen Karten als eine notwendige und sinnvolle Ergänzung zu den einzelnen geotechnischen Erhebungen anzusehen ist. Aber es ist auch deutlich geworden, daß es sehr schwierig ist, den Hiatus zwischen dem Konzept einer Geländeerhebung und -beschreibung und der Anwendung dieser Geländeinformation für einen gewünschten Zweck zu überwinden. Ein wichtiger Grund für diese Diskrepanz liegt in der Schwierigkeit einer interdisziplinären Kommunikation. Diese fehlende bzw. mangelnde Kommunikation ist dadurch begründet, daß zahlreiche Prozesse zwischen dem Beginn der Geländeerhebung und der endgültigen Bewertung eines baugeologischen Projektes liegen. Ingenieurgeologische Karten, die von umfassenden Vielzweckkarten über analytische Karten bis hin zu ingenieurgeologischen und geotechnischen Zonenkarten reichen, sind geeignet, solche Kommunikationsprobleme abzubauen zu helfen.

Literatur

- ANONYMUS: Engineering geological maps. A guide to their preparation. – UNESCO Press, 79 S., Paris 1976.
- ANONYMUS: Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Report by the IAEG commission of engineering geological mapping. – Bull. Int. Assoc. Engng. Geol., 24, 235–274, Aachen 1981.
- AULITZKY, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Vorbeugung von Unwetterkatastrophen. – Österr. Wasserwirtsch., 24, 8–17, Wien 1972.
- Berücksichtigung der Wildbach- und Lawinengefahrgebiete als Grundlage der Raumordnung von Gebirgländern. – 100 Jahre Hochschule f. Bodenkultur, IV, Teil 2, 81–113, Wien 1973.
- BRUNSDEN, D. et al.: Large scale geomorphological mapping and highway engineering design. – Q. Journ. Eng. Geol., 8, 227–253, 1975.
- CAMPBELL, R. H.: Debris flows originating from soil slips during rainstorms in Southern California. – Q. Journ. Eng. Geol., 339–349, 1974.
- CROZIER, M. J.: Techniques for the morphometric analysis of landslides. – Z. Geomorph. N. F., 17, 78–101, Berlin 1973.
- GRUBINGER, H.: Der Schutz alpiner Lebensräume. – Österr. Wasserwirtsch., 28, 41–46, Wien 1976.
- HORNINGER, G. & WEISS, E. H.: Engineering Geology in mountainous regions. – Abh. Geol. B.-A., 34, 257–286, Wien 1980.
- KIENHOLZ, H.: Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10.000 von Grindelwald mit einem Beitrag von Walter Schwarz. – Geographica Bernensia, 64, 1–204, Bern 1977.
- KRONFELLNER-KRAUS, G.: Die Wildbacherosion im allgemeinen und der Talzuschub im besonderen. – 100 Jahre Hochschule f. Bodenkultur, 309–342, Wien 1974.
- MATULA, M.: Principles and types of engineering geological zoning. – Mem. Soc. Geol. Italiana, 14, 327–336, Rome 1976.

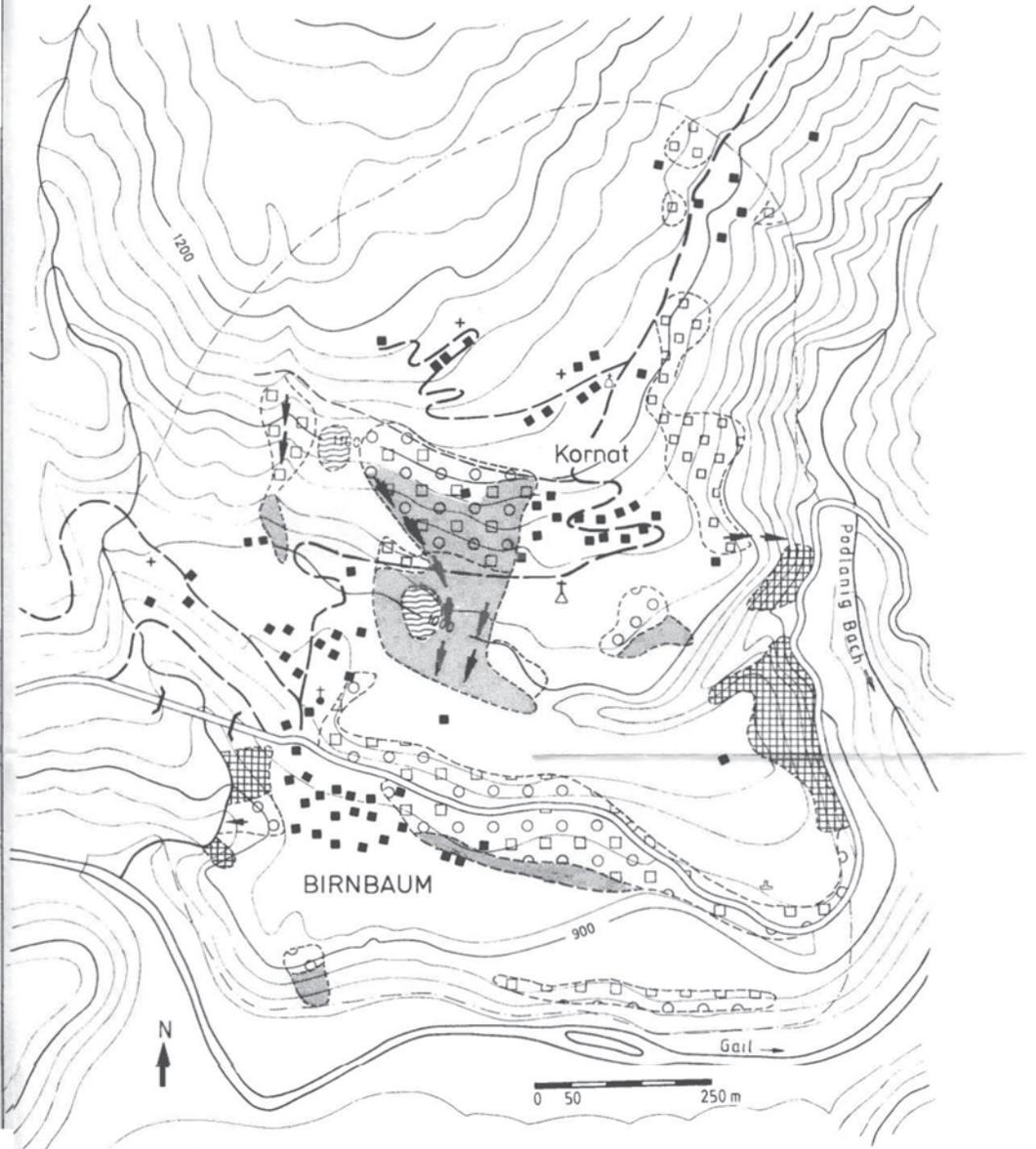
- MOSER, M.: Ingenieurgeologische Karten instabiler Hangbereiche. – Geotechnik, 8/1, 38–46, Essen 1985.
- & GLUMAC, S.: Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzschubes Gradenbach (Kärnten). – Verh. Geol. B.-A., 1982/3, 209–241, Wien 1983.
- & HOHENSINN, F.: Geotechnical aspects of soil slips in alpine regions. – Eng. Geol., 19, 185–211, Amsterdam 1983.
- MÜLLER, L.: Der Felsbau I. – 624 S., Stuttgart (F. Enke) 1963.
- NEMCOK, A. et al.: Classification of landslides and other mass movements. – Rock Mechanics, 4, 71–78, Wien 1972.
- SKEMPTON, A. W.: Soil mechanics in relation to geology. – Proc. York, Geol. Soc., 33–62, London 1953.
- STINY, J.: Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern. – 120 S., Wien (Springer) 1931.
- WEISS, E. H.: Kraftwerksgruppe Fragant, 8. Geologische Übersicht, Voraussagen und Erfahrungen beim Bau. – Österr. Z. f. Elektrizitätswirtsch., 22/10, 464–471, Wien 1969.
- & HERZOG, U.: Baugeologische Ergebnisse der Untersuchung zwischen Rauchenkatsch und Gmünd für die projektierte Tauernautobahn. – Unveröff. Gutachten, Amt d. Kärntner Landesregierung, Bundesstraßenverwaltung, Klagenfurt 1966.
- ZISCHINSKY, U.: Über Sackungen. – Rock Mechanics, 1, 30–52, Wien 1969.
- Ingenieurgeologische Karte des Stauraumes Durlaßboden. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 19, 287–294, Wien 1970.

Manuskript eingelangt am 27. März 1986
angenommen am 20. Mai 1986



- | | | |
|--|---|--|
| <p>I Festgesteine</p> <p> i.a. Granat-Glimmerschiefer
Verwitterungsschutt <0.5m
(geotechnisch nicht näher gekennzeichnet)</p> <p>II Lockergesteine</p> <p> Hangschutt, vorw. sandig-kiesig
mit Schluffanteil 10-30%</p> <p> Fluvioglaziale Ablagerungen
vorw. steinig-blockig</p> <p> Murmaterial/Felssturzmaterial</p> <p> Wildbachschutt</p> <p> Mächtigkeit
0.5-2/2-5/>5m</p> | <p>III Hangbewegungen, Anbrüche</p> <p> Nischenanbrüche
frisch/ z. Zt. wenig aktiv, verheilt</p> <p> Muschelanbrüche flachgründig, vorw. < 200m²</p> <p> Blattanbrüche flachgründig vorw. < 200m²</p> <p> Rinnenanbrüche
frisch/verheilt</p> <p> Kriechen oberflächennah</p> | <p>IV Sonstige</p> <p> Quelle mit dauernden Gerinne/</p> <p> Quelle m. period. Gerinne; Versickerungsstelle</p> <p> Murkegel/</p> <p> Vernässungszone</p> <p> Künstliche
Aufschüttung</p> |
|--|---|--|

Inhalt: mögliche Anbruchszonen und Hangbewegungen
Siedlungsgebiet Birnbaum-Kornat/Lesachtal



Lockergesteine



Blattanbruchszonen herrührend von:
vorw. translationsförmigen Rutschungen
flachgründig, vorw. <math> < 200 \text{ m}^2 </math>



Muschelanbruchszonen herrührend von:
z.T. rotationsförmigen Rutschungen
flachgründig, vorw. <math> < 200 \text{ m}^2 </math>



Kriechen



Die sich an die potentiellen
Anbruchszonen anschließenden
Sekundärmassenbewegungen /
Rinnenanbruchszonen



wenig bzw.
nicht gefährdet

Festgesteine

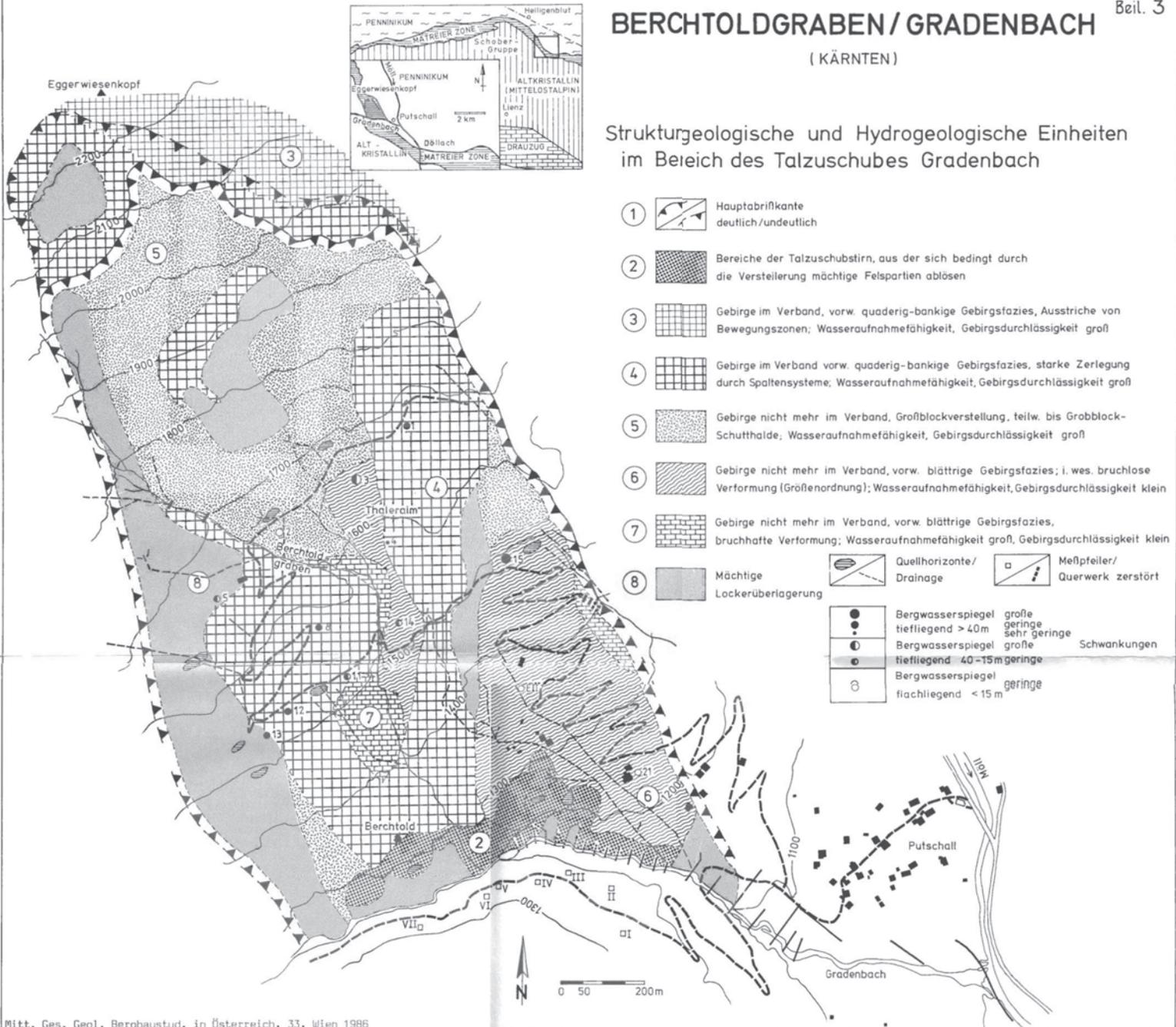


Nischenanbruchszonen herrührend von:
Felssturz, Felsgleitung

BERCHTOLDGRABEN / GRADENBACH

(KÄRNTEN)

Strukturgeologische und Hydrogeologische Einheiten im Bereich des Talzuschubes Gradenbach



**Darstellung geologischer Flächengefüge unter Verwendung
eines programmierbaren Taschenrechners**

von
Rainer POISEL

mit
9 Abb. und 3 Beil.

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. Dr. Rainer Poisel
Institut für Grundbau, Geologie und Felsbau
Abteilung Geologie
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
A-1040 Wien

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung, Summary	78
1. Einleitung	79
2. Dichtepläne von Lagenkugeldiagrammen	81
Rechenbeispiel 1	82
3. Darstellung mittels Einheitsquadraten und als Blockbilder	85
Koordinaten des Normalvektors einer Ebene	86
Winkel zwischen zwei Vektoren bzw. Projektion eines Vektors auf einen anderen	86
Schnittgerade zweier Ebenen	86
Normalprojektion eines Punktes im Raum in eine Bildebene	86
Durchstoßpunkt einer Geraden durch eine Ebene	88
3.1. Darstellung von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten	88
Rechenbeispiel 2	88
3.2. Darstellung von Flächengefügen als Blockbilder	90
Rechenbeispiel 3	90
4. Literatur	92

1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll zeigen, wie der Arbeitsaufwand des Geologen für die statistische Auswertung von Kompaßmessungen und für die Darstellung geologischer Flächengefüge mittels eines programmierbaren Taschenrechners verringert werden kann. Das Programm für die Ermittlung von Dichteplänen von Lagenkugeldiagrammen soll eine erste, grobe Auswertung von Kompaßmessungen bereits im Gelände ermöglichen, um deren Ergebnisse noch an Ort und Stelle überprüfen zu können. Die Programme für die Darstellungen von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten nach L. MÜLLER und als axonometrische Blockbilder sollen dazu anregen, geologische Flächengefüge nicht nur in Lagenkugeldiagrammen sondern auch mittels anderer Methoden darzustellen und so die Verständigung zwischen Geologen und Ingenieuren zu verbessern.

Summary

This paper is to show in which way the geologist's work expended on statistical analyses of compass readings and graphic representations of geological structures may be reduced by means of a programmable pocket calculator. The program concerning the determination of pole density plots is to enable a rough primary analysis outside in order to check the results. The programs concerning graphic representations of structural planes by means of projected squares set to the line of intersection in construction plans after L. MÜLLER and by way of axonometric drawings of intersecting planes are to trigger off attempts to depict geological structures not only by means of spherical projections but also to apply different methods, thus intensifying the cooperation between geologists and engineers.

1. Einleitung

Bauingenieuren wird oft vorgeworfen, sie verstünden die Sprache der Geologen nicht und könnten deshalb die Ergebnisse ingenieurgeologischer Voruntersuchungen nicht in dem Maß in ihre Überlegungen einbringen, in dem es notwendig wäre. Dies liegt zum Teil an den Bauingenieuren, zum Teil aber auch an den Geologen. Nicht alle Geologen sind bereit, ihre Erkenntnisse so aufzubereiten und darzulegen, daß sie auch ohne bzw. mit nur geringen Vorkenntnissen auf dem Gebiet der Ingenieurgeologie verstanden und verarbeitet werden können.

Eine wichtige – wenn nicht die wichtigste – geologische Grundlage für Entscheidungen im Felsbau ist das Flächengefüge des Gebirges (z. B. Schichtung, Schieferung, Klüfte). Die Erkundung des Flächengefüges ist eine der Aufgaben des Ingenieurgeologen. Ebenso wichtig wie die Erkundung sind aber Interpretation und Darstellungen des Flächengefüges, die auch einem mit der Denkweise eines Geologen weniger vertrauten Ingenieur ermöglichen, Nutzen aus ingenieurgeologischen Untersuchungen zu ziehen.

Die meistverbreitete Art der Darstellung von Gefügen sowie von räumlichen Beziehungen auf dem Gebiet der Geotechnik ist die Lagenkugel. Die flächentreue Projektion der Lagenkugel ermöglicht sowohl eine statistische Behandlung der Meßergebnisse (W. SCHMIDT, 1925), um Gefügeregelungen erkennen zu können, als auch die graphische Lösung geometrischer Aufgaben (z. B. Bestimmung des Winkels zwischen einer Kraft und einer Klüftfläche). Gefügediagramme mit sehr vielen Flächenpolen bzw. Durchstoßpunkten von Linearen sind unübersichtlich und Regelungen (z. B. in Klüftscharen) lassen sich nur schwer erkennen (Abb. 1 a). Deshalb werden von solchen Diagrammen Dichtepläne bzw. Dichtelinienpläne erstellt (Abb. 1 b). Der dafür erforderliche Auszählvorgang dauert bei einer großen Anzahl von Meßdaten relativ lange und ist mühsam (L. MÜLLER, 1963, gibt den Zeitaufwand für die Erstellung eines Dichteplanes von 100 Meßwerten mit etwa 6 Stunden an).

So aussagekräftig und wertvoll Lagenkugeldarstellungen in Geologie und Felsbau-mechanik auch sind, so wenig sagen sie jemandem, der mit diesem Prinzip weniger vertraut ist. L. MÜLLER (1953) machte daher den Vorschlag, in Lageplänen, Schnitten und Profilen Gefügeflächen mittels der an die Schnittspuren angelegten Einheitsquadrate („Müllerfähnchen“) darzustellen (Abb. 1 c). Die dafür erforderlichen Winkelbeziehungen können mit Hilfe der Lagenkugel ermittelt werden. Besonders bei großen Wiederholungszahlen ist dieser Weg aber langwierig und zeitaufwendig.

Eine allgemein übliche Art, räumliche Beziehungen abzubilden, stellen axonometrische Bilder dar. E. HOEK & E. T. BROWN (1980) gaben ein Verfahren zur Ermittlung isometrischer Blockbilder von einander schneidenden Ebenen (Ebenen in einem Glaswürfel) an (Abb. 1 d). Dieses Verfahren ist zwar der sonst üblichen Konstruktion nach den Regeln der darstellenden Geometrie überlegen, ist aber immer noch zeitaufwendig und hat darüberhinaus den Nachteil, ungenau zu sein.

Der geringe Platzbedarf und die immer größer werdende Kapazität von programmierbaren Taschenrechnern ermöglicht die rasche Ermittlung von Dichteplänen von Gefügediagrammen noch im Gelände. Dadurch können Gefügediagramme direkt im Gelände verifiziert und durch Kontrollmessungen überprüft bzw. ergänzt werden. Die in den Beilagen gelisteten, einfachen Programme ermöglichen auch, ohne großen Arbeitsaufwand Größen für die Darstellung von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten und als Blockbilder rechnerisch zu ermitteln, und sollen dadurch anregen, geolo-

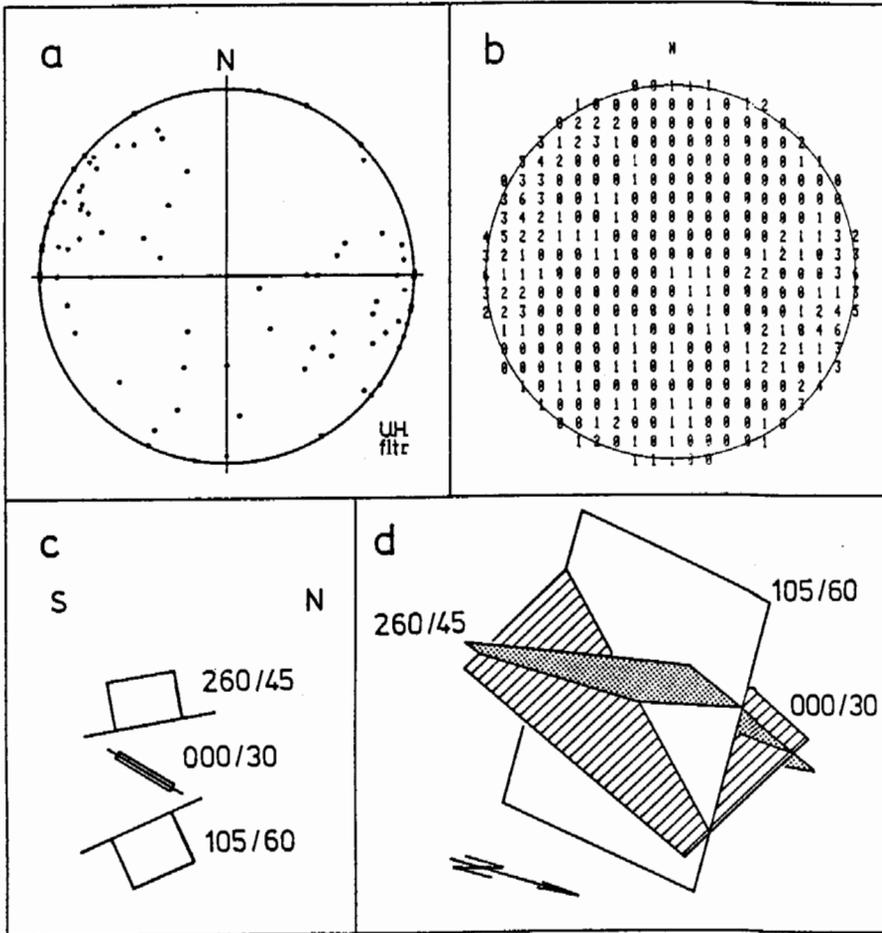


Abb. 1: Darstellungen geologischer Flächengefüge. a – Polpunktdiagramm (flächentreue Projektion der Lagenkugel); b – Dichteplan des in a dargestellten Polpunktdiagrammes; c – Darstellung flächenhafter Gefügeelemente in Bauplänen mittels Einheitsquadraten nach L. MÜLLER (1953); d – axonometrisches Bild einander schneidender Gefügeflächen.

gische Flächengefüge nicht nur in Lagenkugeldiagrammen, sondern auch mittels anderer, allgemein verständlicherer Methoden darzustellen, um so die Verständigung zwischen Geologen und Ingenieuren zu verbessern.

Im folgenden wird die Raumstellung einer Fläche bzw. einer Linearen mit dem im Uhrzeigersinn gemessenen Winkel zwischen der Nordrichtung und der Fallrichtung (ψ) und mit dem von der Horizontalen nach unten gemessenen Fallwinkel (α) bezeichnet. Alle Winkelangaben erfolgen in Altgrad.

Die in den Beilagen gelisteten und kommentierten Programme sind auf einem HP-41CX mit zwei X-Memory-Modulen sowie einem CCD-Modul erstellt. An diesen Taschenrechner sind ein Drucker und ein Kassettenlaufwerk als Massenspeichereinheit angeschlossen.

2. Dichtepläne von Lagenkugeldiagrammen

Dichtepläne von Lagenkugeldiagrammen dienen dazu, Gefügeregelungen bzw. Trennflächenscharen erkennen und analysieren zu können. W. SCHMIDT (1925) schlug vor, die Anzahl der Flächenpole bzw. Durchstoßpunkte, die in 1 % der Fläche der Lagenkugel liegen, als Belegungsziffer zu bezeichnen. Dabei werden jene Flächenpole bzw. Durchstoßpunkte abgezählt, die im Diagramm der flächentreuen Projektion innerhalb eines Kreises mit einem Radius von einem Zehntel des Halbmessers des Diagrammes liegen. Dem Mittelpunkt des Zählkreises wird diese Anzahl als Belegungsziffer zugeordnet. Üblicherweise wird diese Auszählung für Schnittpunkte eines Rasters mit dem Linienabstand $0,1r$ durchgeführt. In Bereichen mit großen Schwankungen der Belegdichte kann je nach Bedarf eine Verdichtung der Auszählvorgänge zwischen den Rasterpunkten vorgenommen werden.

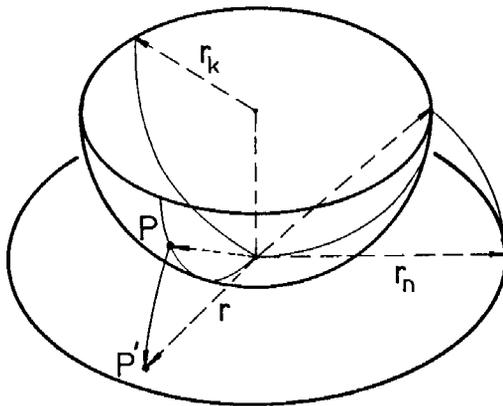


Abb. 2:
Flächentreue Projektion der Lagenkugel.

Das Abbildungsgesetz der flächentreuen Projektion der Lagenkugel (Abb. 2 und 3) lautet

mit r_k ... Radius der Lagenkugel und Radius des Netzes $r_n = r_k \sqrt{2}$

für Flächenpole $r = 2r_k \sin \frac{\alpha}{2}$

für Durchstoßpunkte von Linearen $r = 2r_k \sin \frac{90-\alpha}{2}$

Leistungsfähige Rechenanlagen ermöglichen, diese Auszählung unmittelbar auf der Lagenkugel (im Raum) vorzunehmen und damit den Fehler auszuschalten, der durch die Verzerrung des Zählkreises in der Projektion entsteht (vgl. F. KOHLBECK & A. E. SCHEIDEGGER, 1977). Für mehr oder weniger vertikal stehende Gefügeflächen (Randbereich des Gefügediagrammes) ergibt sich der Fehler zu (vgl. Abb. 3):

$$\delta = 90 - 2 \arcsin \frac{0,05r_n}{r_n \sqrt{2}} - 2 \arcsin \frac{0,45r_n}{r_n \sqrt{2}} \cong 90 - 8 - 79 \cong 3^\circ$$

Für flach liegende Gefügeflächen ist dieser Fehler nahezu 0, da der Auszählkreis nur geringfügig bzw. überhaupt nicht verzerrt wird.

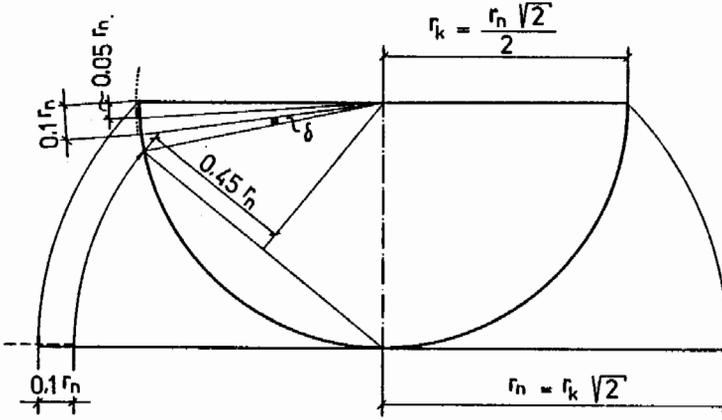


Abb. 3: Flächentreue Projektion der Auszählkalotte
 ----- Auszählkreis in der Projektionsebene; Auszählkalotte auf der Kugel

Der Fehler, der bei der Auszählung in der Projektionsebene durch die Verzerrung des Auszählkreises entsteht, liegt somit in der Größenordnung der Genauigkeit, mit der die Einmessung der Gefügeelemente im Gelände erfolgt, und kann daher in einer ersten, groben Auswertung, die nur eine Übersicht über die gemessenen Daten bringen soll, vernachlässigt werden.

Beilage 4 enthält das kommentierte Programm 'DIPL' für das Einlesen und Drucken der Daten (Fallrichtung und Fallwinkel von Flächen bzw. Linearen), für den Auszählvorgang in allen Punkten eines Rasters mit dem Linienabstand $r/10$ (Auszählung in der Projektionsebene) und für das Ausdrucken des Dichteplans. Dabei gibt der Zeilenabstand des Druckers (4,2 mm) den Abstand der Rasterlinien und damit die Größe des Netzes (8,4 cm) vor. Gradnetze in Pol- und Äquatorlage (Schmidtsches Netz) in dieser Größe enthält Abb. 4.

Rechenbeispiel 1

Gesucht sei der Dichteplan folgender Meßreihe (Bezeichnung der Meßreihe = Name des Datenfiles: Test 1; Flächen):
 260/25, 085/15, 205/25, 096/84, 240/21, 064/85, 320/89, 314/78, 178/54, 277/85, 138/81, 218/80, 000/00, 090/90 (14 Meßwerte).

Eingabe	Anzeige	Ausdruck
XEQ'DIPL'	DATENEINGABE J:N ¹	
J	NAME ?	
Name des neu anzulegenden Datenfiles, z. B. TEST 1 ²	MESSUNG 1	TEST 1 FLAECHE
1. Meßwert, z. B. 260.25	MESSUNG 2	260.25

Eingabe	Anzeige	Ausdruck
2. Meßwert, Z. B. 085.15 3 usw.	usw.	85.15 usw.
1 Datenfile kann max. 129 Meßwerte beinhalten Beenden durch Eingabe eines negativen Zahlenwertes (z. B. -1)	NAME ?	14 MESSWERTE
Name des nächsten, neuanzulegenden Datenfiles usw.	usw.	usw.
Soll kein neuer Datenfilename mehr eingegeben werden, Beenden durch Eingabe des ⏪-Zeichens	1 FILENAME	
Name des 1. zu verarbeitenden Datenfiles, z. B. TEST 1 usw.	2 FILENAME usw.	TEST 1 FLAECHEN usw.
Es können max. 20 Filenamen eingegeben werden ⁴ Beenden durch Eingabe des ⏪-Zeichens	PRINT ? E : S : G : A ⁵	
E		aktuelles Datum, aktuelle Uhrzeit DICHTEPLAN Namen aller im jeweiligen Dichteplan verarbeiteten Datenfiles TEST 1 FLAECHEN Anzahl der im jeweiligen Dichteplan verarbeiteten Meßwerte 14 MESSWERTE Dichteplan in 3 Teilen (Links, Mitte, Rechts) (vollständiger Dichteplan siehe Abb. 5).

- ¹ N Keine Eingabe neuer Daten (Verarbeitung bereits früher eingegebener Daten)
- ² J Eingabe neuer Daten
- ³ Längs der Filenamen: bis zu 7 Zeichen (Buchstaben oder Ziffern). Flächen: letztes Zeichen darf kein „L“ sein; Linearen: letztes Zeichen muß ein „L“ sein
Vor Drücken der Taste R/S kann der zuletzt eingegebene Meßwert durch Ausführung der Funktion 'CORR' korrigiert werden.
- ⁴ In einem Programmdurchlauf können bis zu $20 \times 129 = 2580$ Meßwerte verarbeitet werden. Wird ein Rasterwert (Belegungsnummer) größer als 99, kann dieser Wert nicht mehr vollständig gedruckt werden und es wird eine Warnung ausgedruckt.
- ⁵ E Ausdruck der Dichtepläne der einzelnen Datenfiles, deren Namen vorher eingegeben wurden
S Ausdruck der Dichtepläne nach Verarbeitung eines Datenfiles (d. h. Dichteplan des 1. Datenfiles; Dichteplan des 1. + 2. Datenfiles; Dichteplan des 1. + 2. + 3. Datenfiles usw.)
G Ausdruck des Dichteplanes aller Datenfiles zusammen
A Ausdruck der Dichtepläne sowohl aller einzelnen Datenfiles (E) als auch aller Datenfiles zusammen (G).

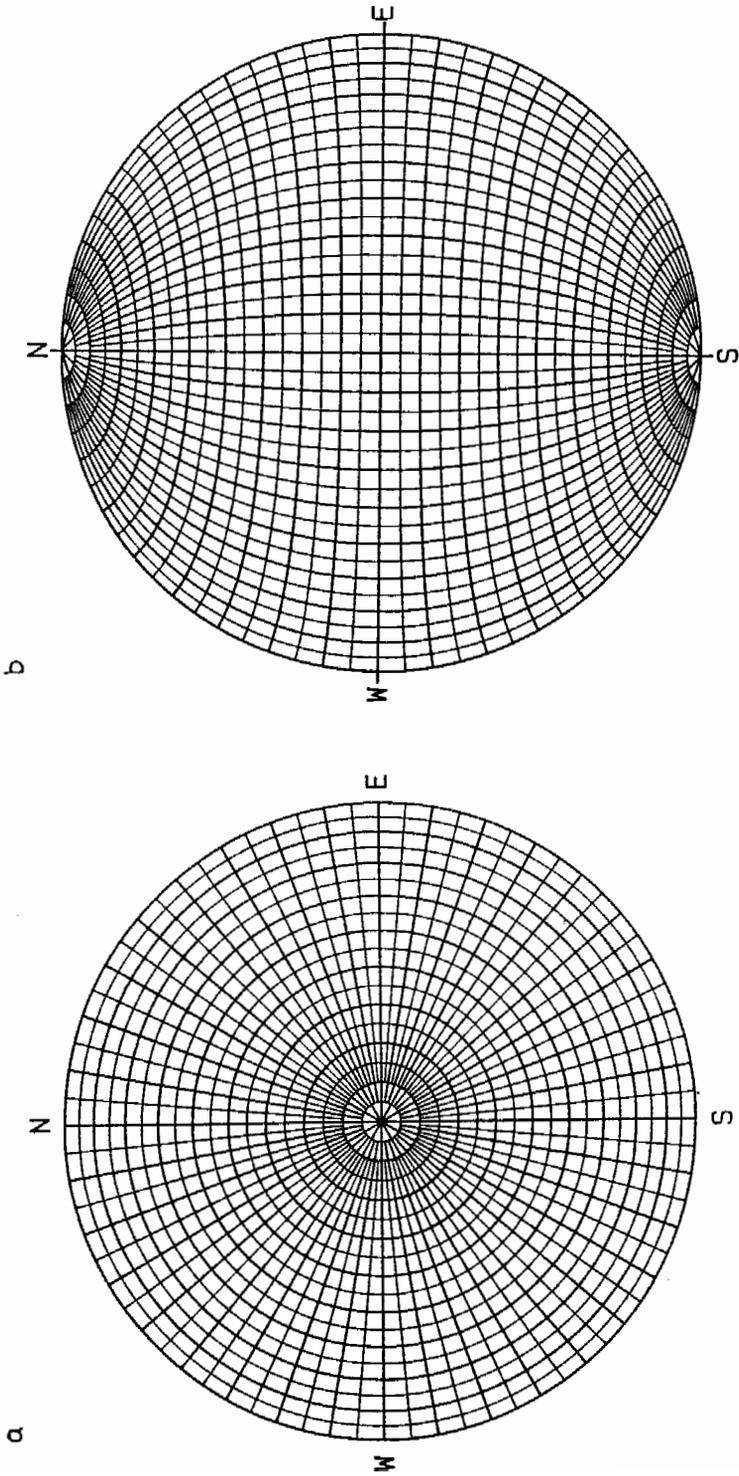


Abb. 4: Flächentreue Projektion einer Halbkugel mit Gradnetz (Computergraphik von W. LANGER).
a: Pollage; b: Äquatorlage (Schmidt'sches Netz).

Koordinaten des Normalvektors einer Ebene

Den Rechnungen ist ein rechtsdrehendes, kartesisches Koordinatensystem x, y, z mit vertikaler, nach oben zeigender z -Achse zugrunde gelegt. Bei der Ermittlung der Projektion eines Einheitsquadrates wurde die x -Achse in das Streichen der Projektionsfläche gelegt, bei der Ermittlung des Blockbildes stimmt die positive y -Achse mit der Nordrichtung überein.

Die Koordinaten des Normaleinheitsvektors einer Ebene, deren Raumstellung durch ψ/α festgehalten wurde, lauten

$$\begin{aligned}n_x &= \sin\alpha \sin\psi \\n_y &= \sin\alpha \cos\psi \\n_z &= \cos\alpha\end{aligned}$$

Die Gleichung der Ebene lautet (Normalvektorform):

$$n_x x + n_y y + n_z z = 0$$

(Ebene geht durch den Ursprung des Koordinatensystems).

Winkel zwischen zwei Vektoren bzw. Projektion eines Vektors auf einen anderen

Für den Winkel zwischen 2 Vektoren bzw. für den Winkel zwischen zwei Ebenen als Winkel zwischen deren Normalvektoren gilt

$$\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2 = |\vec{n}_1| \cdot |\vec{n}_2| \cos\epsilon = n_{1x} n_{2x} + n_{1y} n_{2y} + n_{1z} n_{2z}$$

$$\text{daraus } \epsilon = \arccos \frac{n_{1x} n_{2x} + n_{1y} n_{2y} + n_{1z} n_{2z}}{|\vec{n}_1| |\vec{n}_2|}$$

Der Winkel ϵ wird von den positiven Richtungen der Vektoren eingeschlossen, $|\vec{n}|$ ist die Länge des Vektors \vec{n} .

Für die Abbildung \vec{b}' eines Vektors \vec{b} auf den Einheitsvektor \vec{a} ($|\vec{a}|=1$) gilt

$$\vec{b}' = (\vec{a} \cdot \vec{b}) \vec{a}$$

d.h. bildet man das skalare Produkt eines Vektors (\vec{b}) und eines Einheitsvektors ($|\vec{a}|=1$), erhält man die Länge des auf die Richtung des Einheitsvektors projizierten Vektors \vec{b} (incl. Vorzeichen!).

Schnittgerade zweier Ebenen

Die Schnittgerade zweier Ebenen (\vec{s}) steht normal auf die von deren Normalvektoren aufgespannten Ebene. \vec{s} läßt sich daher mittels des vektoriiellen Produktes der beiden Normalvektoren ermitteln (Abb. 6).

$$\begin{aligned}\vec{s} &= \vec{n}_1 \times \vec{n}_2 \\s_x &= n_{1y} n_{2z} - n_{1z} n_{2y} \\s_y &= n_{1z} n_{2x} - n_{1x} n_{2z} \\s_z &= n_{1x} n_{2y} - n_{1y} n_{2x}\end{aligned}$$

Normalprojektion eines Punktes im Raum in eine Bildebene

Für die Ermittlung der (Raum-)Koordinaten des in eine Zeichenebene projizierten Punktes wird der Differenzvektor des Ortsvektors des abzubildenden Punktes (\vec{p}) und des auf die Sehstrahlrichtung abgebildeten Ortsvektors ($\vec{n} \cdot \vec{p}$) \vec{n} errechnet (Abb. 7).

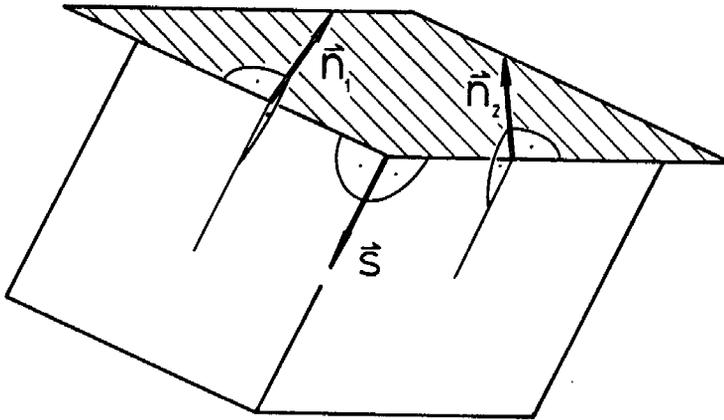


Abb. 6:
Schnittgerade zweier Ebenen.

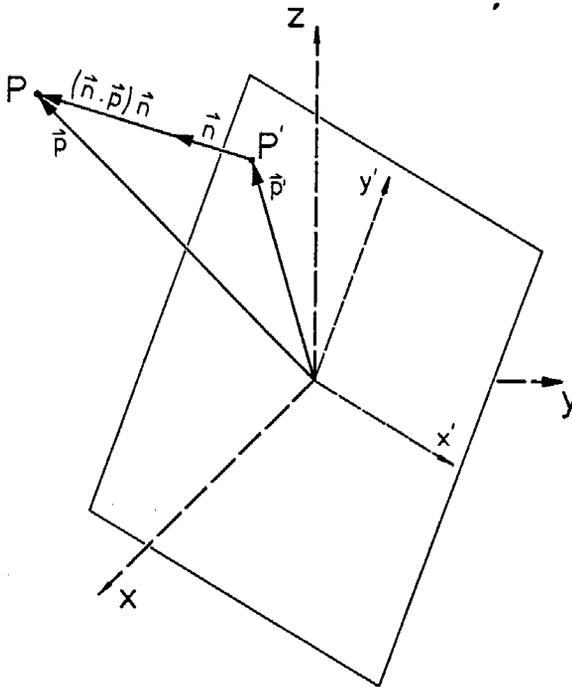


Abb. 7:
Normalprojektion eines Punktes im Raum in eine Bildebene
 \vec{p} Ortsvektor des abzubildenden Punktes P
 \vec{n} Normalvektor der Bildebene
 \vec{p}' , Ortsvektor des abgebildeten Punktes P'

$$\begin{aligned} \vec{p}' &= \vec{p} - (\vec{n} \cdot \vec{p}) \vec{n} \\ p'_x &= p_x - n_x (n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z) \\ p'_y &= p_y - n_y (n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z) \\ p'_z &= p_z - n_z (n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z) \end{aligned}$$

Anschließend werden die Koordinaten des abgebildeten Punktes in der Zeichenebene durch Projektion des Ortsvektors dieses Punktes auf die in der Zeichenebene liegenden Koordinatenachsen (x' , y') bestimmt.

Durchstoßpunkt einer Geraden durch eine Ebene

Für die Darstellung der Gefügeflächen im Blockbild (Würfel) werden die Durchstoßpunkte der Würfelkanten durch die darzustellenden Ebenen errechnet. Der Würfelmittelpunkt liegt im Koordinatenursprung, die Würfelkanten sind parallel zu den Koordinatenachsen und die Kantenlänge beträgt zwei Längeneinheiten. Als Beispiel wird die Ermittlung der Raumkoordinaten des Durchstoßpunktes einer vertikalen Würfelkante (parallel zur z-Achse, x-Koordinate = +1, y-Koordinate = +1) gezeigt.

$$\text{Ebenengleichung} \quad n_x x + n_y y + n_z z = 0$$

Einsetzen der Koordinaten der Würfelkanten führt zu

$$n_x + n_y + n_z z = 0$$

Die z-Koordinate des Durchstoßpunktes ergibt sich daher zu

$$z = - \frac{n_x + n_y}{n_z}$$

$$(x = +1, y = +1)$$

In ähnlicher Weise werden die Koordinaten der Durchstoßpunkte aller anderen Würfelkanten errechnet.

3.1. Darstellung von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten

Nach Bestimmung der Koordinaten der Normalvektoren der Projektionsfläche sowie der darzustellenden Ebene wird der Cosinus des Winkels zwischen beiden Ebenen und damit das Breiten-Längen-Verhältnis des „Müllerfähnchens“ sowie der Winkel zwischen der Schnittgeraden beider Ebenen (Grundgerade) und einer, in der Projektionsebene liegenden, horizontalen Bezugsgeraden ermittelt.

Beilage 5 enthält das kommentierte Programm 'QUADRAT', das aus der Raumstellung der Projektionsebene sowie der Gefügefläche den Grundgeradenwinkel und die Fähnchenbreite in Abhängigkeit von der gewünschten Fähnchenlänge bestimmt und ausdrückt.

Rechenbeispiel 2

Gesucht seien die „Müllerfähnchen“ der Schichtfläche 250/70 sowie der Klufflächen 000/85 und 130/50 in der Zeichenebene 180/90 (z. B. Baugrubenwand; Blick von S nach N).

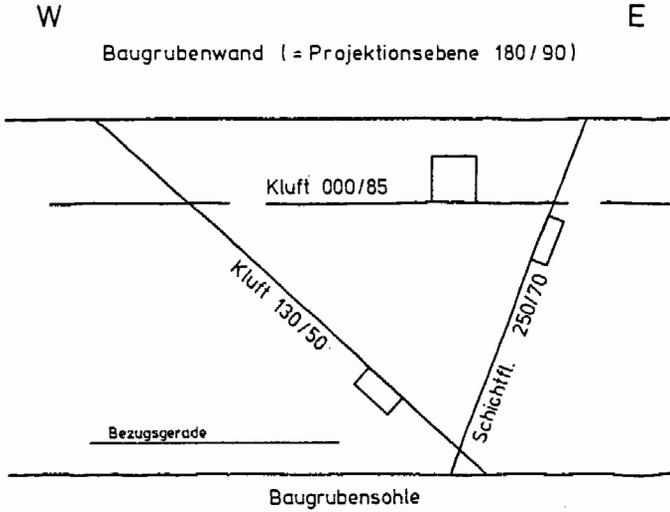


Abb. 8: Darstellung von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten (Rechenbeispiel 2)

Eingabe	Anzeige	Ausdruck
XEQ'QUADRAT'		aktuelles Datum, aktuelle Uhrzeit MUELLERFAEHNCHEN
Bezeichnung; z. B. X-DORF	ORT ?	X-DORF
Fallrichtung und Fallwinkel der Projektionsebene; z.B. 180.90	PROJ.EBENE ?	PROJEKTIONSEBENE 180.90
N	UNTERSICHT J:N ¹	
gewünschte Fähnchenlänge in beliebigen Dimensionen, z.B. 1.0	LAENGE D. F. ?	Faehnchenlaenge 1.00
Fallrichtung und Fallwinkel der Gefügefläche, z. B. 130.50	GEFUEGEFL. ?	GEFUEGEFLAECHE 130.50 Grundgeradenwinkel 138° ² Faehnchenbreite -0.49 ³
250.70	GEFUEGEFL. ?	GEFUEGEFLAECHE 250.70 Grundgeradenwinkel -111° Faehnchenbreite -0.32
000.85	GEFUEGEFL. ?	GEFUEGEFLAECHE 0.85 Grundgeradenwinkel 180° Faehnchenbreite 1.00

¹ J Projektionsebene in Untersicht (Blick von unten hinauf)

N Projektionsebene in Draufsicht (Normalvektor nach oben zeigt zum Beschauer)

² Grundgeradenwinkel ≥ 0 : Gegenuhrzeigersinn; Grundgeradenwinkel ≤ 0 : Uhrzeigersinn

³ Fähnchenbreite ≥ 0 : Fähnchen zeigt nach oben; Fähnchenbreite ≤ 0 : Fähnchen zeigt nach unten.

3.2. Darstellung von Flächengefügen als Blockbilder

Nach der Bestimmung der Koordinaten des Normalvektors der Projektionsebene (normal auf die Sehstrahlrichtung) sowie der Einheitsvektoren in den Zeichenkoordinatenachsen x' und y' werden die Zeichenkoordinaten der Einheitsvektoren x , y , z ermittelt. Anschließend werden die Zeichenkoordinaten der Würfeckpunkte und der Durchstoßpunkte der Würfelkanten durch die darzustellenden Gefügeflächen errechnet. Fragen der Sichtbarkeit werden von diesem einfachen Programm nicht behandelt. Diese müssen bei der zeichnerischen Darstellung über die Anschauung gelöst werden. Deshalb werden abschließend noch die Winkel zwischen den Schnittgeraden der darzustellenden Ebenen und der in der Zeichenebene liegenden, horizontalen x' -Achse bestimmt. Alle Zeichenkoordinaten werden unter Berücksichtigung einer gewünschten Bildgröße errechnet.

Beilage 6 enthält das kommentierte Programm 'WUERFEL' für das Einlesen der gewünschten Blickrichtung und Bildgröße sowie der darzustellenden Gefügeflächen und für die Ermittlung und das Ausdrucken der Größen für das Blockbild.

Rechenbeispiel 3

Gesucht sei das Blockbild der Schichtfläche 250/70 sowie der Kluftflächen 000/85 und 130/50. Die Blickrichtung sei 020/35, die gewünschte Bildgröße 6 cm.

Eingabe	Anzeige	Ausdruck
XEQ'WUERFEL'		aktuelles Datum, aktuelle Uhrzeit WUERFEL
Bezeichnung, z. B. X-DORF	ORT ?	X-DORF
020.35	BLICKRICHTUNG ?	BLICKRICHTUNG 20.35
130.50	FLAECHE 1	FLAECHE 1 130.50
250.70	FLAECHE 2	FLAECHE 2 250.70
000.85	FLAECHE 3	FLAECHE 3 0.85
Beenden der Eingabe von darzustellenden Flächen durch Eingabe von einem Wert kleiner 0 -1	FLAECHE 4	
gewünschte Bildgröße in cm; z. B. 6	BILDGROESSE	BILDGROESSE 6.0 cm

Eingabe	Anzeige	Ausdruck
		KOORDINATEN IN DER ZEICHENEBCNE x' / y'
		EINHEITSVEKTOREN ¹
		X-ACHSE 1.8 / 0.4
		Y-ACHSE = NORD -0.7 / 1.0
		Z-ACHSE 0.0 / 1.6
		WUERFELECKPUNKTE ²
		EBENE Z = - 1
		1 / 1 / 1 1.2 / 3.0
		- 1 / 1 / 1 - 2.5 / 2.2
		- 1 / - 1 / 1 - 1.2 / 0.2
		1 / - 1 / 1 2.5 / 0.9
		EBENE Z = 1
		1 / 1 / - 1 1.2 / - 0.2
		- 1 / 1 / - 1 - 2.5 / - 0.9
		- 1 / - 1 / - 1 - 1.2 / - 3.0
		1 / - 1 / - 1 2.5 / - 2.2
		FLAECHE 1 130.50 ³
		X / - 1 / - 1 1.1 / - 2.5
		X / 1 / 1 - 1.1 / 2.5
		- 1 / Y / 1 - 1.9 / 1.3
		1 / Y / - 1 1.9 / - 1.3
		- 1 / - 1 / Z - 1.2 / - 1.2
		1 / 1 / Z 1.2 / 1.2
		FLAECHE 2 250.70
		X / - 1 / 1 2.0 / 0.8
		X / 1 / - 1 - 2.0 / - 0.8
		X / - 1 / - 1 0.6 / - 2.6
		X / 1 / 1 - 0.6 / 2.6
		FLAECHE 3 0.85
		FLAECHE X-PARALLEL
		- 1 / Y / 1 - 1.8 / 1.1
		1 / Y / - 1 1.8 / - 1.1
		- 1 / Y / - 1 - 1.9 / - 1.9
		1 / Y / 1 1.9 / 1.9
		WINKEL ZUR X'-ACHSE ⁴
		SCHNITTGERADE GRAD
		130.50 - 250.70 - 72
		130.50 - 0.85 153
		250.70 - 0.85 - 116

¹ Die Koordinaten der Einheitsvektoren geben die Richtungen der Koordinatenachsen und damit der Würfelkanten sowie der Nordrichtung in der Projektion an.

² 1 / 1 / 1 bezeichnet den Würfelckpunkt mit den Raumkoordinaten $x = 1, y = 1, z = 1$.

³ $x / - 1 / - 1$ bezeichnet den Durchstoßpunkt jener Würfelkante, die zur x-Achse parallel ist und deren y- und z-Koordinate - 1 beträgt, durch die jeweilige Fläche

⁴ Winkel zwischen der x' -Achse und der Schnittgeraden ≈ 0 : Gegenurzeigersinn
Winkel zwischen der x' -Achse und der Schnittgeraden < 0 : Uhrzeigersinn.

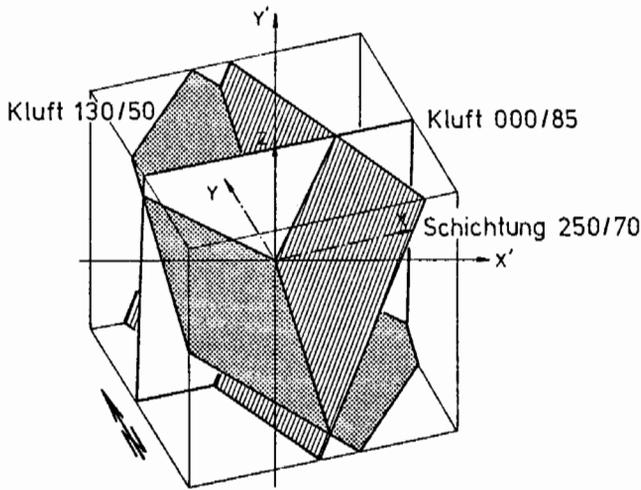


Abb. 9:
Darstellung von Ge-
fügeflächen im
Blockbild (Rechen-
beispiel 3).

4. Literatur

- HOEK, E., BROWN, E. T.: Underground Excavations in Rock. – Institution of Mining and Metallurgy, London 1980.
- HÖNIG, H.: Neigungswinkel der Schnittlinien flächiger Gefügeelemente mit der Baugrubenwand als Bildebene in allgemeiner Lage. – Felsbau, 1, 14–16, 1983.
- KOHLBECK, F., SCHEIDEGGER, A. E.: On the Theory of the Evaluation of Joint Orientation Measurements. – Rock Mechanics, 9, 9–25, 1977.
- MÜLLER, L.: Die Darstellung geologischer Flächen in Bauplänen. – Geologie und Bauwesen, 20, 6–10, 1953.
- Der Felsbau. 1. Band. – Stuttgart (Enke), 1963.
- SCHMIDT, W.: Gefügestatistik. – Tschermaks min. u. petrogr. Mitt., 38, 392–423, 1925.

Manuskript eingegangen am 5. Mai 1986
angenommen am 26. Mai 1986

PROGRAMM 'DIPL'
ermittelt Dichtepläne von Gefügediagrammen

Table with columns for input names (e.g., 104*LBL, 107 CF 80), processing instructions (e.g., 'wenn Ausdruck?', 'Belegdichte um 1 erhöhen'), and output names (e.g., 57*LBL, 57D INT). Includes vertical labels like 'Eingabe Titelnamen', 'Verarbeitung der einzelnen Maßwerte', 'Ausdruck innerer Teil', and 'Ausdruck äußerer Teil'.

PROGRAMM 'QUADRAT'

ermittelt Größen zur Darstellung von Gefügeflächen mittels Einheitsquadraten

<p>81*LBL "QUADRAT" 82*LBL "QU" 83 DEG 84 CF 00 85 CF 01 86 CF 02 87 15 88 PSIZE 89 CLPG 10 "": 11 ADV 12 FIX 4 13 DATE 14 "BATTUM": 15 ABATE 16 ACA 17 FMT 18 FIX 2 19 TIME 20 ACX 21 ADV 22 ADV 23 "MUELLER-" 24 SF 12 25 ACA 26 PRUF 27 "FAECHNCHEN" 28 ACA 29 ADV 30 ADV 31 CF 12 32 "ORT ?" 33 ADV 34 PROMPT 35 OFF 36 FMT 37 ACA 38 ADV 39 ADV 40 "PROJ. EBENE ?" 41 PROMPT 42 STO 06 43 "PROJEKTIONS" 44 ACA 45 CLA 46 "EBENE" 47 ACA 48 FMT 49 ACX 50 ADV 51 "UNTERSICHT IN" 52 PMTX 53 I 54 - 55 X)0? 56 CTO 01 57 PRA 58 SF 02</p>	<p>59*LBL 01 60 "LAENGE D. F. ?" 61 PROMPT 62 STO 09 63 "Faehnchenlaenge" 64 ACA 65 FMT 66 ACX 67 ADV 68 ADV 69 ADV 70 ADV 71 ADV 72 RCL 05 73 FRC 74 100 75 * 76 STO 07 77 RCL 06 78 INT 79 STO 06 80*LBL A 81 "GEFUEGEFL. ?" 82 PROMPT 83 CLA- 84 ABSP 85 ABSP 86 ACA 87 "RECHE" 88 ACA 89 FMT 90 ACX 91 ADV 92 STO 00 93 FRC 94 100 95 * 96 RCL 00 97 INT 98 RCL 06 99 - 100 X<)Y 101 I 102 P-P 103 STO 04 104 ADV 105 P-R 106 STO 03 107 ADV 108 STO 02 109 RCL 07 110 I 111 P-R 112 STO 01 113 ADV 114 STO 00 115 * 116 X)0? 117 SF 01 118 X)2 119 STO 05 120 RCL 01 121 RCL 02 122 * 123 X)2 124 ST+ 05 125 RCL 03 126 RCL 01 127 * 128 RCL 04 129 RCL 00 130 * 131 - 132 X)0? 133 SF 00 134 X)2 135 ST+ 05</p>	<p>136 LASTX 137 RCL 05 138 SWPT 139 / 140 ACOS 141 FS? 01 142 CHS 143 FS? 02 144 CHS 145 "Grundgeraden" 146 ACA 147 "winkel" 148 ACA 149 FMT 150 FIX 0 151 ACX 152 3 153 SKPCOL 154 7 155 ACCOL 156 5 157 ACCOL 158 7 159 ACCOL 160 ADV 161 RCL 00 162 RCL 03 163 * 164 RCL 01 165 RCL 04 166 * 167 + 168 RCL 09 169 * 170 F)0? 00 171 CHS 172 FS? 02 173 CHS 174 "Faehnchenbreite" 175 ACA 176 FMT 177 FIX 2 178 ACX 179 ADV 180 ADV 181 ADV 182 CTO 0 183 .END.</p>	
<p>Eingabe Projektionsebene</p>	<p>Eingabe Fahnchenlaenge</p>	<p>Eingabe Gefuegeflaeche</p>	<p>Eingabe Grundgeradenwinkel</p>
<p>Eingabe Normalv. Normalvektor Gefuegeflaeche Proj. ebene</p>	<p>Vorzeichen Grundgeradenwinkel</p>	<p>Eingabe Fahnchenbreite</p>	<p>Eingabe Grundgeradenwinkel</p>

**Sanierung einer Rutschung an der Standseilbahn Hallstatt
(Oberösterreich)**

von

P. BAUMGARTNER, W. FRIEDEL, W. FÜRLINGER

mit 4 Abbildungen und 2 Beilagen

Anschriften der Verfasser:

Dr. phil. Peter Baumgartner,
Dr. phil. Walter Friedel
ZT-Büro für technische Geologie,
Im Winkl 7
A-4801 Traunkirchen

Dr. phil. Werner Furlinger
Ingenieurkonsulent für technische Geologie (ZT)
Karlbauernweg 12
A-5020 Salzburg

Inhalt

1. Zusammenfassung, Summary	94
2. Einleitung	94
3. Hergang der Rutschung	97
4. Baugeologische Kartierung der Rutschung	97
5. Bewegungsbeobachtung	97
6. Geoelektrische Sondierungen im Bereich der Abrutschung in der Trasse der Standseilbahn zum Hallstätter Salzberg	98
6.1. Allgemeines	98
6.2. Methodik	98
6.3. Zum Ergebnis der geoelektrischen Sondierung	100
7. Bohrungen	100
8. Sofortmaßnahmen	100
9. Sicherung der Stützenfundamente	101
10. Analyse des Bewegungsbildes	102
11. Bodenmechanische Ansätze	102
12. Literatur	103

1. Zusammenfassung

Die Standseilbahn Hallstatt (Oberösterreich) war 1984 von einer Rutschung nahe den Stützen 24 und 25 betroffen. Baugeologische Aufnahmen führten zu mehreren Sofortmaßnahmen wie Einstellung der Personenbeförderung und Abtransport von bewegtem Lockergesteinsmaterial. Die baugeologischen Aufnahmen, geoelektrische Tiefensondierungen und Aufschlußbohrungen führten zur Planung und Ausführung von Sicherungsbauwerken für die Stützenfundamente und zur Sicherung des Rutschgebietes durch einen Ankerbalkenrost aus Stahlbeton.

Summary

At the site of the supports 24 and 25 of the Hallstatt funicular (Upper Austria) a mass-movement had developed in 1984. The result of engineering geological investigations called for an immediate suspension of public traffic and other urgent measures. A considerable mass of the creeping debris had to be removed and taken to a dump. Further geological studies, geoelectrical soundings and investigation drillings provided the basis for planning and construction of retaining elements for the weakened supports and for stabilizing the slip area by a framework of reinforced concrete anchor-beams.

2. Einleitung

Die als touristische Attraktion weithin bekannten Anlagen des Hallstätter Salzbergbaues wurden in den Jahren 1979/80 durch eine neue Standseilbahn besser zugänglich gemacht. Die neue Standseilbahn ersetzt eine alte Gondelbahn, die nach 30 Betriebsjahren von der Kapazität her den Ansprüchen nicht mehr genügte. Die Bahn

führt von einer Talstation im Echerntal (528 m Seehöhe) am SW-Ufer des Hallstätter Sees zum Eingang des Salzberg-Hochtales in der Nähe des Rudolfsturmes (830 m Seehöhe).

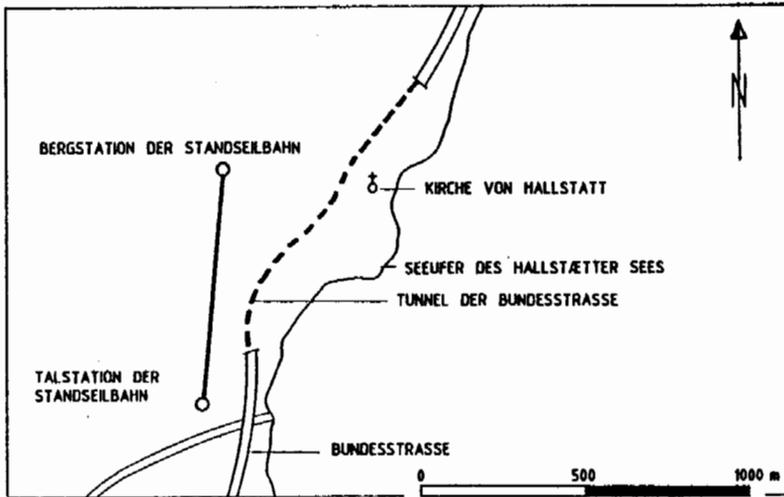


Abb. 1: Lageplan

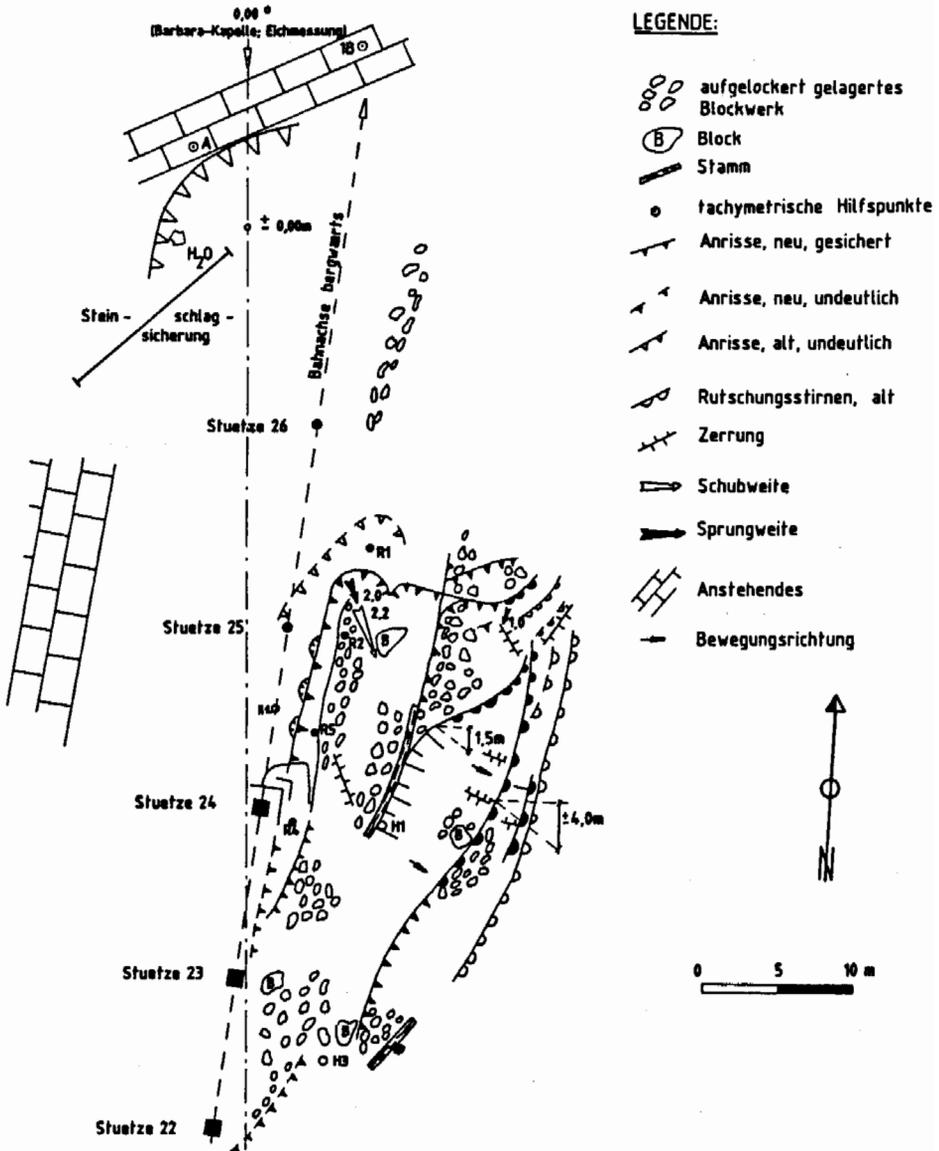
Die Schienenbrücke der Standseilbahn ruht auf insgesamt 35 Pendelstützen aus Stahl. Im unteren Abschnitt sind die Stützen hauptsächlich in Hangschuttkörpern fundiert, in der oberen Hälfte stehen sie zum Teil auf Fels. Es handelt sich dabei um grobbankige bis massive Dachsteinkalke, die die eiszeitlich geformten Felsflanken des Echerntales aufbauen. Am Fuße dieser Steilwände haben sich über Moränenresten die erwähnten hohen und mächtigen Hangschuttkörper abgelagert. Die natürlichen Hangneigungen stellen den Grenzböschungswinkel dieser Lockergesteine dar. Abnorme natürliche Einflüsse (exzessive Niederschläge), aber vor allem auch künstliche Eingriffe in den Hangwasserhaushalt und die Neigungsverhältnisse verursachen eine sensible Reaktion des Hanges. Dieser Zusammenhang trat bei einem Rutschungsereignis im Jahre 1984 im Bereich des Mittelabschnittes der Bahn deutlich hervor.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Erkundung von Ursache, Ausmaß und Mechanismus der Massenbewegungen sowie mit Planung und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen. Die Erkundung, die wegen Gefahr im Verzug unter großem Termindruck ausgeführt werden mußte, stützte sich auf eine detaillierte baueologische Kartierung, auf geoelektrische Sondierungen, Aufschlußbohrungen und Aufgrabungen. Geodätische und geotechnische Messungen begleiteten die Erkundungs- und Bauausführungsphase. Als Sanierungsmaßnahmen wurden neben einem Abtrag von Hangschuttmaterial und Zementinjektionen ein mit vorgespannten Felsankern gehaltener Betonbalkenrost ausgeführt.

Die Fundamente der unmittelbar betroffenen Stützen wurden zusätzlich durch verankerte Betonmanschetten gesichert.

Die Maßnahmen wurden trotz aller Erschwernisse einer Gebirgsbaustelle in fünf Monaten fertiggestellt.

STANDSEILBAHN HALLSTATT;
BAUGEOLGISCHE SKIZZE DER RUTSCHUNG.



LEGENDE:

- aufgelockert gelagertes Blockwerk
- Block
- Stamm
- tachymetrische Hilfspunkte
- Anrisse, neu, gesichert
- Anrisse, neu, undeutlich
- Anrisse, alt, undeutlich
- Rutschungstirnen, alt
- Zerrung
- Schubweite
- Sprungweite
- Anstehendes
- Bewegungsrichtung

Abb. 2: Baugeologische Skizze der Massenbewegung. Verwendet als Grundlage für die Bewegungsbeobachtung und die Planung von Sofortmaßnahmen.

3. Hergang der Rutschung

Die Beobachtungen zum Hergang der Rutschung stammen zum größten Teil von Betriebsangehörigen der österreichischen Saline AG, Betriebsteil Standseilbahn Hallstatt.

Während der letzten 10 Tage vor dem 17. 8. 1984 gab es im Salzkammergut immer wieder kurze, aber fast katastrophale Niederschläge. Nahe dem bergwärts der Rutschung anstehenden Dachsteinkalk wurde der konzentrierte Eintritt von Oberflächenwasser in die Hangschutt- und Aushubmassen beobachtet. Dabei entwickelte sich dann parallel zur Trassenachse ein Anriß und eine Anrißschar normal dazu. Der trassenparallele Anriß verlief ganz nahe der talseitigen Außenkante der Stützenfundamente Nr. 24 und 25.

Die Bewegungsweiten der Rutschung wurden vorerst von den Betriebsangehörigen mit Hilfe von Visierseilen beobachtet. Die Seilstrecken waren nahe den Pendelstützenfundamenten angeordnet, um vor allem eine mögliche Gefährdung dieser wichtigen Teile des gesamten Bauwerks rechtzeitig zu erkennen. Die Beobachtung der Massenbewegung ergab bis zum 17. 8. 1984 Bewegungsweiten von 5,0 bis 8,0 cm pro Tag. Dann wurde der Geologe eingeschaltet.

Auch während der folgenden Phase der Sofortmaßnahmen und der baugeologischen Aufnahme waren die Bewegungen noch nicht abgeklungen.

Die Bewegungsweiten lagen während dieser Zeit bei etwa 3 cm pro Tag.

4. Baugeologische Kartierung der Rutschung

Die Kartierung einer Massenbewegung gibt vor allen zeit- und kostenaufwendigeren Untersuchungsmethoden erste Anhaltspunkte über Ursachen, Mechanismen des Ablaufes, Tiefgang und Gefahren der Weiterentwicklung. Sie ist damit eine sehr wichtige und rasch erstellbare Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung der Gefahrensituation, die Veranlassung von Sofortmaßnahmen und die besten Strategien beim weiteren Gang der Untersuchungen (vgl. dazu BAUMGARTNER, P., 1985).

Als topographische Grundlage diente eine rasche tachymetrische Aufnahme markanter Punkte der Massenbewegung (siehe Abb. 2).

5. Bewegungsbeobachtung

Die früheste Beobachtung der Bewegungsweisen und -richtungen erfolgte durch das Personal der Standseilbahn mit Hilfe des bereits erwähnten Visierseiles. Es war am trassenparallelen Rand der Massenbewegung an den Pendelstützenformrohren montiert. Nach der Erstellung der baugeologischen Karte wurden in unregelmäßigen Abständen markante Punkte an den Abrißlinien in ihrer Höhen- und Horizontalentfernung zueinander beobachtet. Dies war jedoch nur bei den anfänglich großen Bewegungsweiten in Abständen von einigen Tagen möglich.

Zum Zeitpunkt, da die Bewegungsweiten bereits auf mm bis 1 cm pro Tag abgenommen hatten, war zur Bewegungsbeobachtung bereits ein geodätisches Fixpunktenetz aufgebaut und von einem Ziviltechnikerbüro vermessen worden. Die Vergleichspunkte liegen in den bergwärts der Massenbewegung anstehenden Dachsteinkalken.

Das Fixpunktenetz wurde nach Errichtung des Betonbalkenrostes (siehe weiter unten) auf diesen erweitert und dient zur periodischen Kontrolle der Lage des Bauwerkes. Indirekt dienen auch zwei Ankermeßstellen am fertigen Betonbalkenrost durch die Messung der Ankerspannung der Prüfung etwaiger Bewegungen des Sanierungsbauwerkes. Die Kontrollmessungen wurden von der Seilbahnbetriebsgesellschaft, und zwar durch die Markscheiderei des Salzbergwerkes Hallstatt ausgeführt.

Mögliche Bewegungen der Fundamente der Pendelstützen wurden während der Bauarbeiten durch Stangenextensometer kontrolliert.

6. Geoelektrische Sondierungen im Bereich der Abrutschung in der Trasse der Standseilbahn zum Hallstätter Salzberg.

6.1. Allgemeines

Trotz ungünstiger topographischer und geologischer Verhältnisse wurden im Bereich der Massenbewegung (Sonde 1 und 2) sowie knapp oberhalb der Anrißmuschel (Sonde 3) geoelektrische Tiefensondierungen ausgeführt, um erste Hinweise auf die Mächtigkeit der Lockermaterialien über dem standfesten Kalkuntergrund zu bekommen.

Der Kalkuntergrund wirkt aufgrund seiner senkrechten Schichtstellung als Isolator und kann somit geoelektrisch gut erfaßt werden. Wegen der zahlreichen Störfaktoren wie Kurzschluß durch die Stahlkonstruktion der Standseilbahn, Diskordanzen im Untergrund und anderes mehr konnte keine Computerauswertung der Meßergebnisse durchgeführt werden, da die dabei anzuwendenden Vergleichskurven von einem homogenen, waagrecht geschichteten und ungestörten unendlichen Halbraum ausgehen.

Die erwähnten Faktoren und die komplizierte Lagerung des Untergrundes machten eine händische Auswertung unter Berücksichtigung der Störfaktoren notwendig.

6.1. Methodik

Die Tiefensondierungen wurden nach der erweiterten Schlumberger-Methode durchgeführt. Bei dieser Vierpunkt-Meßmethode wird der Abstand der Innenelektroden solange wie möglich konstant gehalten. Erst wenn der Spannungsabfall an den Innenelektroden den Betrag von 1mV unterschreitet, wird der Abstand vergrößert.

Größere Abweichungen von den Vergleichskurven der Kurvenatlanten (E. MUNDY & J. HOMILIUS, 1979 sowie E. ORELLANA & H. MOONEY, 1966) wurden nach Feststellung der Ursachen korrigiert. Die laterale Nähe des Anstehenden, das den unendlichen Halbraum des elektrischen Feldes verzerrt, wurden soweit möglich, bei der Auswertung berücksichtigt (H. SCHNEIDER, 1974).

Die Darstellung der Widerstandskurven erfolgte auf doppelt logarithmischem Papier mit der Einheit 83,33 mm (3 Dekaden an der Abszisse). Auf der Abszisse wurde der halbe Außenabstand $AB/2$, auf der Ordinate der scheinbare spezifische Widerstand φ_s aufgetragen. Der wahre spezifische Widerstand sowie die Tiefen der einzelnen Schichten wurden auf den graphischen Darstellungen der Kurven angeführt. Die Tiefenangaben bezogen sich ausschließlich auf die Normale zur Morphologie, sie wur-

den daher etwa unter 45° zum Hang einfallend gemessen (siehe Abb. 3).

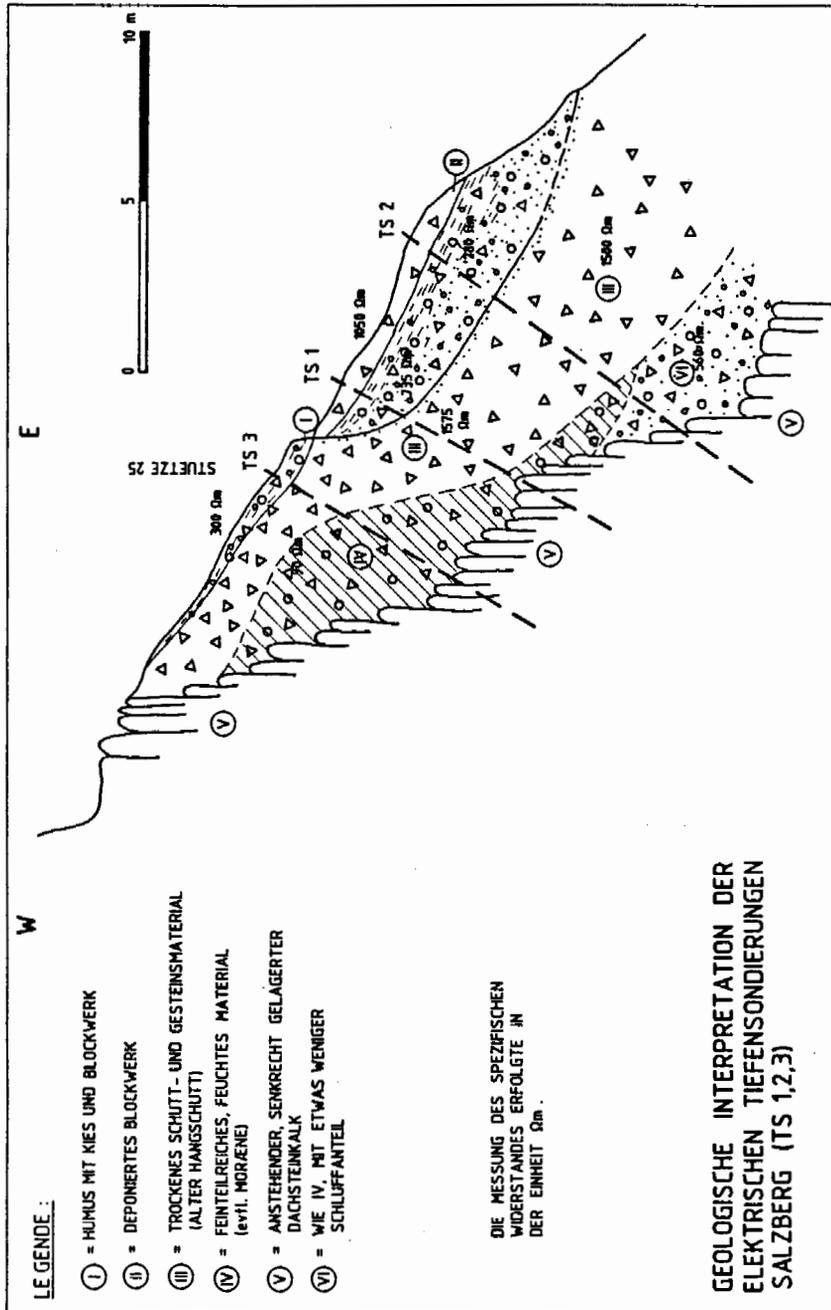


Abb. 3: Geologisches Profil im Schnitt entlang der Falllinie.

6.3. Zum Ergebnis der geoelektrischen Sondierung

Trotz der komplizierten geologischen Randbedingungen für die geoelektrischen Meßvorgänge ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der geoelektrisch ermittelten und der später abgebohrten Felslinie. Es konnte mit Hilfe der geoelektrischen Tiefensondierung sowohl die Mächtigkeit des gesamten, dem Dachsteinkalk auflagernden Lockergesteinskörpers, der Verlauf der Felslinie und der Tiefgang der Massenbewegung im frühesten Stadium der Untersuchungen abgeklärt werden.

Dies war für die Bearbeitung folgender Fragen notwendig:

- Vorentscheidung über die geplante Sanierungsmaßnahme durch Prognose der zu erwartenden Ankerlängen
- Abschätzung des Massenabtrages aus der Rutschung
- Beurteilung des Gefahrenmomentes für das Abrutschen der Stützenfundamente für den Fall, daß es sich nur um eine dünne Lockergesteinsdecke gehandelt hätte.

7. Bohrungen

Die abgeteufte Bohrungen wurden alle in zweifacher Weise verwendet:

Einmal zur Erkundung und Verdichtung der Information über den Verlauf der Felsoberfläche und die Zusammensetzung der Lockergesteinsüberlagerung und zum Zweiten für Stabilisierungsmaßnahmen wie Betoninjektionen und den Einbau von vorgespannten Freispielankern.

Im einzelnen wurden drei Aufschlußbohrungen, 18 Injektionsbohrungen zur Errichtung von Stützkörpern im Rutschbereich für die Zeit der Baumaßnahmen und 25 Bohrungen für die Freispielanker abgeteuft.

Es ergab sich eine Gesamtlänge der Bohrungen von 600 m.

Besonders durch die Ankerbohrungen ergab sich ein gutes Bild der Felsoberfläche, das sich sehr gut mit den Ergebnissen der geoelektrischen Tiefensondierungen deckte (siehe Abb. 4).

8. Sofortmaßnahmen

Der Zustand der Massenbewegung wurde bereits beim ersten Einsatz des Baugeologen als akut angesprochen. Sowohl hinsichtlich der Stützenfundamente der Standseilbahn als auch des in der Falllinie talwärts gelegenen Ortsteils von Hallstatt mußte von „Gefahr im Verzug“ gesprochen werden.

Der Personenbetrieb der Standseilbahn wurde sofort eingestellt. In den ersten Tagen waren ständig Beobachtungspersonen im Rutschbereich anwesend, um über Funk weitere Bewegungen zu melden.

Neben der bereits erwähnten Beobachtung wurde auf Betreiben des Geologen der Abtransport von Rutschmassen ins Tal vorbereitet. Diese Maßnahme gestaltete sich wegen der Höhenlage und Steilheit der Baustelle schwierig. Eine Materialseilbahn wurde errichtet und die Massenbewegung durch Abtransport von Lockergestein und Holz entlastet. Die Gewinnung des Materials und das Beladen des Transportkübels mußte unter großer Vorsicht händisch ausgeführt werden.

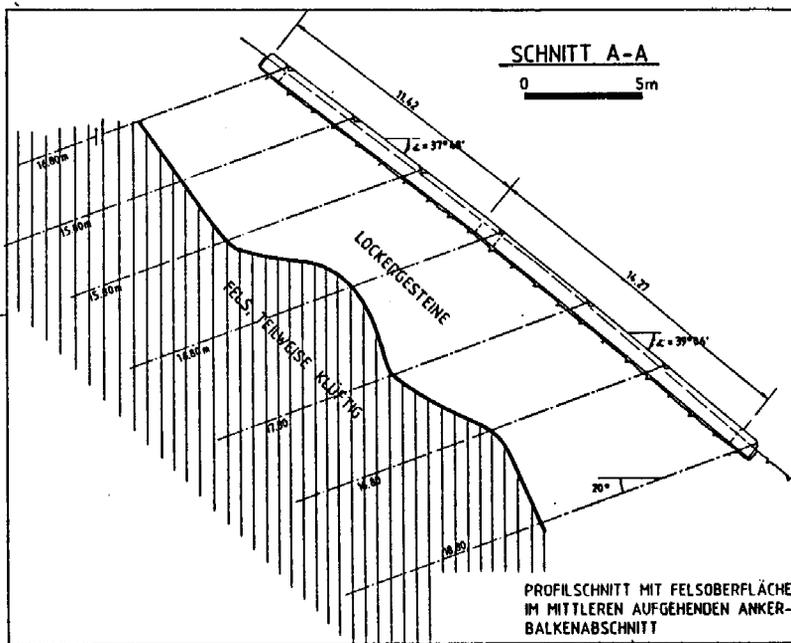


Abb. 4: Ankerbalkenrost, Anker, Überlagerung und Felslinie im Aufriß

300 m³ Rutschungsmaterial wurden zu Tal gebracht und auf Deponie gelegt. Die Schätzung für die zu erwartenden Lockergesteinsmassen lag aufgrund der Ergebnisse der geoelektrischen Tiefensondierung bei 200 bis 400 m³.

Mit der zunehmenden Freilegung der Lockergesteine durch den Abtransport von ehemaligem Bauaushub, Holz, Vegetationsdecke und Hangschwarte war es notwendig, den gesamten Rutschbereich vor Wasserzutritt bei Niederschlägen zu schützen. Das Rutschgebiet wurde durch mehrere Planen abgedeckt.

Um die Ausbildung weiterer Rutschungen im steilen Gelände zu verhindern, wurden die anschließenden Aufschlußbohrungen für Betoninjektionen mit Torstahlbewehrung genutzt. Diese Sofortmaßnahme führte bereits in die eigentlichen Sanierungsarbeiten.

9. Sicherung der Stützenfundamente

Die Fundamentkörper der Stützen 24 und 25 waren durch die aufgetretenen Massenbewegungen talseitig teilweise entblößt. Zudem bestand die Gefahr eines weiteren bergwärtigen Rückgreifens der Bewegungen entlang in der Morphologie angedeuteter alter Bewegungsbahnen. Um drohenden Schäden an der Konstruktion der Bahn vor-

zubeugen, ergab sich daher die Notwendigkeit, die jeweils talseitigen Fundamentblöcke der Stützen 24 und 25 zu sichern.

Dies wurde durch Betoninjektionen und Ankerungen erreicht.

Zunächst mußte das weitere Ausrieseln der rolligen Schuttbestandteile in der Umgebung der Fundamente verhindert werden. Zu diesem Zweck wurden an jeweils drei Punkten unterhalb der Stützen Injektionen von Zementsuspension unter geringem Druck und unter Beigabe von Schnellbindern eingebracht. Diese Maßnahme bewirkte eine Verfestigung der Lockergesteinsmassen in der Umgebung der Stützenfundamente.

Um das durch die Rutschung entstandene Sicherheitsdefizit bezüglich Verschiebungen zu kompensieren, mußten die Fundamentkörper mit Hilfe von je zwei Felsankern im Anstehenden verhängt werden. Zur einwandfreien Aufnahme der auf je 60 t Vorspannkraft ausgelegten Anker war es notwendig, die Fundamente durch bewehrte Betonmanschetten zu umfassen.

Die korrosionsgeschützten Dauerfreispielanker mit insgesamt 25 m Länge wurden jeweils ca. 2–3 m hinter der Felsoberfläche mit einer Haftstrecke von 7 m im anstehenden Fels eingebunden.

Die Aufspannung der Anker auf die vorgesehene Gebrauchslast erfolgte stufenweise unter ständiger Beobachtung der installierten Meßgeräte, um keine unerwünschten Bewegungen der Fundamente hervorzurufen.

Der Ausführungsplan des Ankerbalkenrostes ist in den Beilagen 7 und 8 dargestellt.

10. Analyse des Bewegungsbildes

Der ins Rutschen gekommene Hang hat eine Neigung von $40\text{--}42^\circ$. Die Beobachtungen zeigten, daß sich die Instabilitäten infolge von Wasserandrang nach längeren Regenfällen bei Böschungsneigungen von 42° einstellten.

Die Bewegungsflächen lagen nach den Erkenntnissen durch die baugeloge Aufnahme, die geophysikalische Erkundung sowie die Aufschlußbohrungen nicht tiefer als 2,0 bis 4,0 m. Es handelte sich dabei um im Schnitt vorwiegend geradlinige oder nur wenig gekrümmte Flächen.

Die Längsausdehnung der Rutschzone erreichte ca. 30 m, die größte Querausdehnung ca. 25 m. Insgesamt war eine Fläche von rund 600 m^2 von der Bewegung erfaßt. Die Bewegung erfolgte in die Richtung der Falllinie.

Die aktive Bewegungsfläche, an der sich die Gleitungen und Scherbewegungen abspielten, lag in einer Tiefe von ca. 3 m. Sie wurde in den geoelektrischen Messungen als Grenzschicht zwischen grobblockigem, „rolligem“ Hangschutt und Schichten mit Anreicherungen von feinkörnigem Material identifiziert.

Bis zu dieser obersten Gleitfläche wurden die bewegten Massen im Zuge der sofort eingeleiteten Sanierungsmaßnahmen größtenteils abtransportiert.

11. Bodenmechanische Ansätze

Die rechnerische Untersuchung der Stabilität des Hangabschnittes erfolgte unter Annahmen analog zu den bis dahin beobachteten Rutschvorgängen, und zwar mit flachgründigen kreisförmigen Gleitflächen (vgl. Beilage 8).

Zum Nachweis der Sicherheit von $\eta = 1$ wurde vereinfachend ein kleinster Reibungswinkel von $\varphi = 42^\circ$ angenommen und mit diesem die Höhe eines bergseitig vorhandenen Wasserspiegels errechnet, der talseitig an der Böschungsoberfläche verläuft.

Unter diesen vereinfachenden Bedingungen, die zur Eingrenzung des Rechenaufwandes erforderlich waren, wurden zwei potentielle Rutschflächen mit Längen von 30 bzw. 39 m und einem Tiefgang von 3–4 m untersucht.

Folgende Annahmen wurden somit der Berechnung zugrunde gelegt:

Reibungswinkel:	$\varphi = 42^\circ$
Kohäsion:	$c = 0$
Wichte des Bodens:	$\zeta = 22 \text{ kN/m}^3$
Vorhandene Sicherheit:	$\eta = 1$

12. Literatur

- BAUMGARTNER, P.: Geologische Massenbewegungen und deren Auswirkungen auf kleine und mittlere Bauvorhaben. – Felsbau 3(1985), Nr. 1, 43–46, 3 Abb., Verl. Glück Auf, Essen-Kray 1985.
- FÜRLINGER, W.: Geologisch begründete Nachforderungen im Felsbau – eine wachsende Herausforderung für den Ingenieurkonsulenten von heute. – Rock Mechanics, Suppl. 11, 33–34, Wien–New York (Springer Verl.) 1981.
- MUNDRY, E. & HOMILIUS, J.: Dreischichtmodellkurven für geoelektrische Widerstandsmessung (Schlumberger Anordnung; Modul 83,33 mm). – 615 Kurvenscharen. – Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, und Geolog. Landesämter in der BRD, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung) 1979.
- ORELLANA, E. & MOONEY, H. M.: Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures. – Interscincia, Madrid 1966.
- SCHNEIDER, H.: Die Wassererschließung. Grundlage der Erkundung, Bewirtschaftung und Erschließung von Grundwasservorkommen in Theorie und Praxis. – 2. Aufl., 871 S., zahlr. Abb., Essen (Vulkan Verlag) 1973.

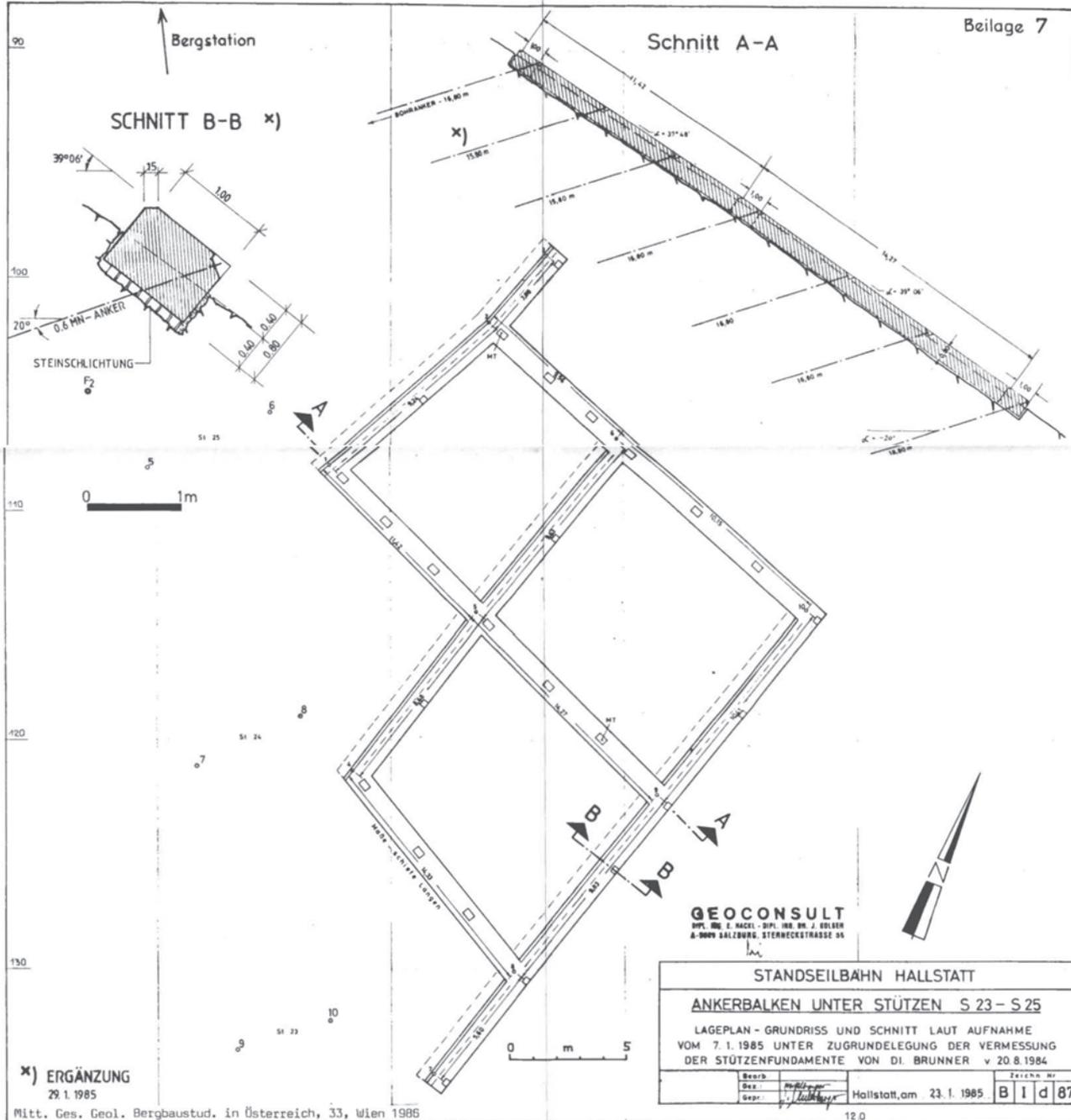
Manuskript eingelangt am 7. Mai 1986

angenommen am 16. Juni 1986

Schnitt A-A

Bergstation

SCHNITT B-B x)



GEOCONSULT
 DIPL. ING. E. HACHEL - DIPL. ING. DR. J. GOLDS
 A-5000 SALZBURG, STERNRECKSTRASSE 9A

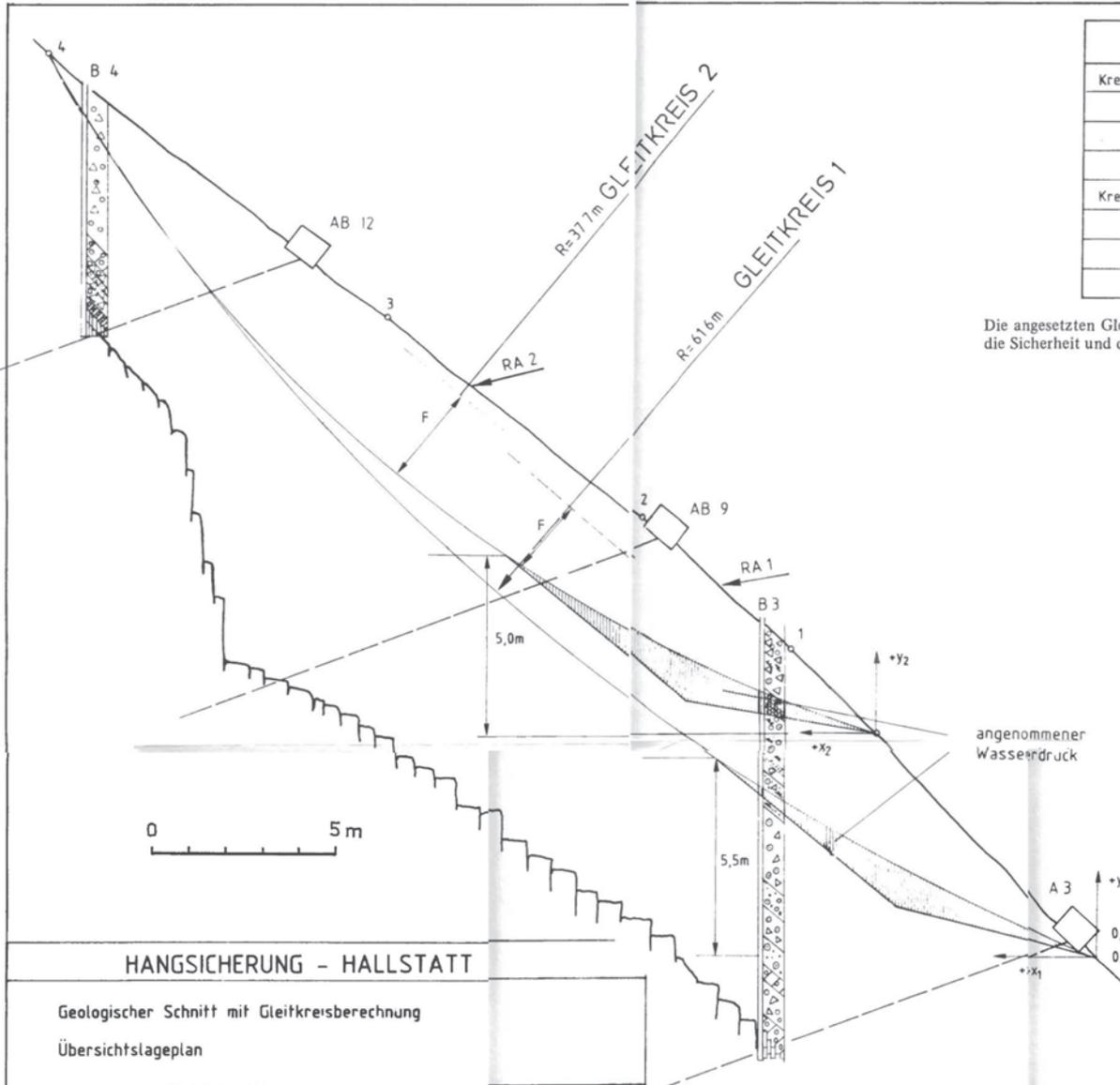
STANDSEILBAHN HALLSTATT

ANKERBALENN UNTER STÜTZEN S 23 - S 25

LAGEPLAN - GRUNDRISS UND SCHNITT LAUT AUFNAHME
 VOM 7.1.1985 UNTER ZUGRUNDELEGUNG DER VERMESSUNG
 DER STÜTZENFUNDAMENTE VON DI. BRUNNER v 20.8.1984

Bearb.	Gez.	Gepr.	Hallstatt, am 23.1.1985	Zeichn. Nr.
				B I d 87

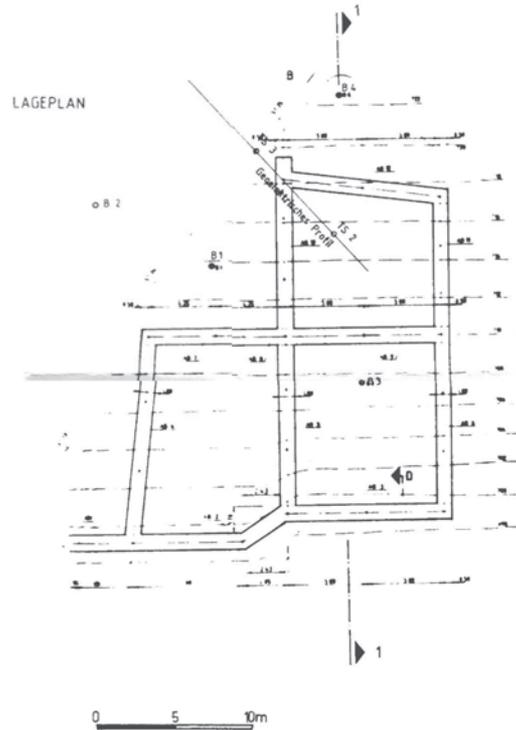
x) ERGÄNZUNG
 29.1.1985



	R [m]	F [m]	H _{GW} [m]	τ_{vorh}	τ_{erf}	A [MN/m]
Kreis 1	61,6	3	5,5	1,0	1,4	0,73
					1,3	0,59
					1,2	0,43
					1,1	0,23
Kreis 2	37,7	3	5,0	0,99	1,4	0,59
					1,3	0,48
					1,2	0,35
					1,1	0,20

Die angesetzten Gleitkreisüberlegungen ergaben die in der Tabelle dargestellten Rechenwerte für die Sicherheit und die notwendigen Ankerkräfte.

LAGEPLAN



HANGSICHERUNG - HALLSTATT

Geologischer Schnitt mit Gleitkreisberechnung
Übersichtslageplan

BEARB			GEOCONSULT	388	004
GEZ	BIR	Okt. 84	DIPL.-ING. E. HACKL	DIPL.-ING. J. GÖLSER	
GEPR			A-5020 SALZBURG STERNWEGSTRASSE 55		

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. in Österreich, 33, Wien 1986

Signaturen nach DIN 4023

**Der Verbandssammlerstollen VS 3.1 durch den Mönchsberg,
Salzburg**

von

G. HORNINGER

mit 3 Abbildungen

Anschrift des Verfassers:

Dr. Georg Horninger
Salzburgerstraße 4
A-4713 Gallsbach

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	106
1. Einleitung	106
2. Vorläufer des Verbandssammlerstollens VS 3.1	107
3. Der Verbandssammlerstollen VS 3.1	113
(Danksagung)	115
4. Literatur	115

Zusammenfassung

Ein 592 m langer Stollen mit 7 m² Ausbruchsquerschnitt wurde mit Hilfe einer VÖEST-Alpine Tunnelvortriebsmaschine in interglaziale Mindel-Riß Nagelfluh (Konglomerat) des Salzburger Mönchsberges aufgeföhren. Obwohl die Aussichten für das Stollenprojekt nur mäßig waren, ging der Vortrieb schnell und ohne ernsthafte Störungen vor sich. Überlegungen über deutlich sichtbare einzelne Klüfte mit Öffnungen von 2 bis 3 cm im Abstand von 90 bis 110 m von der Oberfläche des Mönchsberges werden angestellt.

Summary

A gallery of 592 m length, sectional area 7 m², was bored by means of a VÖEST-Alpine tunneling machine through the interglacial Mindel-Riß nagelfluh (conglomerate) of the Mönchsberg in Salzburg downtown. Although auspices for the tunneling project were not too good, the operations ran smoothly, and without any serious accident. Considerations about conspicuous individual clefts as wide as 2 to 3 cm at 90 to 110 m distances from the Mönchsberg surface walls.

1. Einleitung

Im Rahmen eines umfassenden Wasserentsorgungsprogrammes ließ der „Reinhalteverband für den Großraum Salzburg und Umgebungsgemeinden“ 1976 durch den nördlichen Teil des Mönchsberges, einige Meter unter dem Straßenplanum der Stadt, einen Stollen von 7 m² Ausbruchsquerschnitt (Rechteckprofil mit überwölbter Firse), Richtung N 39° E, fräsen. Der Stollen verbindet das Entsorgungsnetz für die westlich der Altstadt gelegenen Bereiche Moosstraße und Glanegg mit einem Sammlerstrang längs des linken Salzachufers. Die Ausbruchs-Sohlkote des Verbandssammlerstollens VS 3.1 liegt an dessen Einlaufschacht in der Reichenhaller Straße auf 421,25 m SH und damit 7.35 m unter dem Planum der Straße. Mit 592,05 m Gesamtlänge, ausschließlich in Nagelfluh, hat dieser jüngste Stollen durch den Berg die mit Abstand größte Länge aller Mönchsberg-Durchschlagstollen. In den ersten 440 lfm ist er als großteils unverkleideter Rohrstollen ausgestaltet, in den letzten 50 lfm vor dem Ende auf der Salzachseite als vollausgekleidetes, massives Betongerinne. Die Ausbruchs-Sohlkote liegt am Stollenende auf 416,80 m SH, 8,20 m unter dem der „Friedhofterrasse“ (Th. PIPPAN, 1960, S. A58) zugerechneten Niveau

der Müllner Hauptstraße. Für die Ortswahl von Einlauf und Auslauf des VS 3.1 waren projektbezogene Gesichtspunkte entscheidend: für den Einlauf günstigste Zuleitung des Abwassers zum Berg und für das Austrittsmundloch eine günstige Stelle 40 m N' vom Klausentor (unmittelbar unter der bekannten Humboldt-Terrasse). Das Klausentor war das nördliche Stadttor des mittelalterlichen Salzburg. Es ist einem ausgeprägten Bergvorsprung angebaut, der von der ehemals unregulierten Salzach unmittelbar bespült wurde. An der für das Stollenende gewählten Stelle bestand seit der Regulierung 1862/63 ein für die Bauzwecke günstiger, nur 50 m breiter, unbesiedelter Uferstreifen. Baugeologische Überlegungen haben die Trassenwahl kaum beeinflusst.

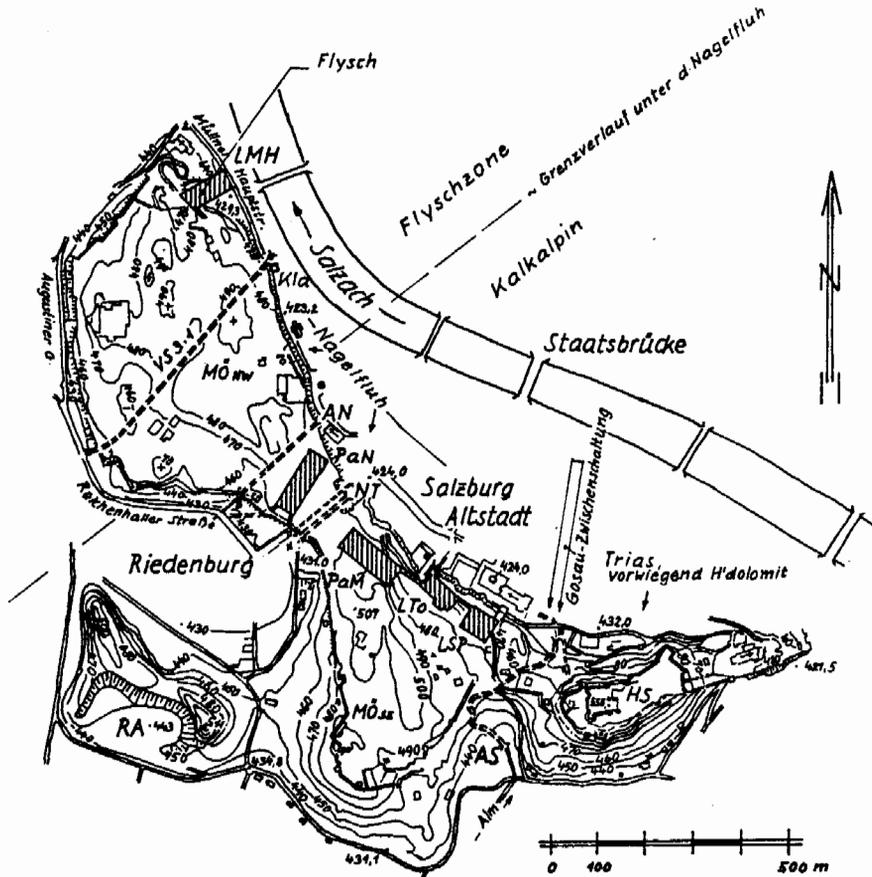
2. Vorläufer des Verbandssammlerstollens VS 3.1

Über die Baugeschichte des ersten Durchschlagstollens durch den Berg, der um 1137 im Auftrage des Erzstiftes St. Peter zur Beileitung von „Alm“-Wasser – daher „Stiftsarm“ des (künstlichen) Almgerinnes – ist durch die Forschungen F. ZILLNERs, 1864, viel bekannt geworden. Bis zur Jetztzeit folgten an Großbauten ein zweiter, ebenfalls mittelalterlicher Almkanalstollen, dann, Jahrhunderte später, der als „Siegmundstor“ oder „Neutor“ bekannte Straßentunnel. In langem zeitlichen Abstand wurde im Zweiten Weltkrieg eine ganze Kette weiträumiger, eingeschobiger Stollensysteme auf Straßenniveau für Luftschutzzwecke gebaut und schließlich folgten um 1972–1975 zwei Kavernen-Großgaragen. Das Wissen um die Baugeschichte dieser mehr als acht Jahrhunderte umfassenden Tradition an Untertagebauten im Mönchsberg, in die die zahllosen „privaten“ Unterwühlungen zur Erweiterung von Wohn- und Nutzraum hinter den Altstadthäusern gar nicht einbezogen sind, bedeutet für die Gegenwart alles in allem mehr Belastung als Förderung für baugeologische Prognosen. Ein historischer Rückblick möge dies verständlich machen. Die Reihung der Objekte erfolgt dabei von SE nach NW fortschreitend.

– Der erwähnte älteste Stollen am „Stiftsarm“ der Alm, wurde damaligen Möglichkeiten entsprechend mit kleinstmöglichem Querschnitt in zwar leicht minierbaren, dafür aber nässeempfindlichen und auf Dauer wenig standfesten Gosaumergeln hergestellt. Sie sind eine schmale Zwischenschaltung zwischen den Triaskalken und -dolomiten des Festungsberges und der Mindel–Riß-Nagelfluh des Mönchsberges.¹⁾ Die Stollensohle liegt am Einlauf auf 431.45 m SH in der SW-schauenden Mulde zwischen Festung und Richterhöhe. Der Auslauf auf 428.23 m befindet sich im Stiftsbereich St. Peter, nahe der Festungsgasse. Durch die geologisch bedingten, weitausholenden Krümmungen (siehe Abb. 1), brachte es dieser Stollen auf 404 m Lauflänge. ZILLNER schätzte, daß im Mittel alle 200 Jahre eine Großreparatur zur Sanierung von Verstürzen notwendig war. Weil nur geographisch, nicht aber geologisch dem Mönchsberg zuzurechnen, hat dieser Stollen keine Beziehung baugeologischer Art zum 800 m weiter im NW gelegenen Verbandssammlerstollen VS 3.1.

– Nur 150 m NW' der Ausmündung des Stiftsarm-Stollens liegt auf 427,4 m SH, etwa 3 m über der mittleren Straßenhöhe des St. Peter-Bezirktes der Zugang zum südlichsten weiträumigen Stollensystem des Mönchsberges für Luftschutzzwecke (Luftschutz . . . LS) aus dem 2. Weltkrieg. Es hat(te) nach NW Verbindung zu ebensolchen Anlagen hinter dem Toscaninihof und dem Festspielhaus, und zwar durchwegs auf Straßenhöhe der Altstadt, d. i. um 424 m SH. Sie alle liegen in standfestem, leicht bearbeitbarem Mönchsbergkonglomerat. Im Zusammenhang mit VS 3.1 ist nur die An-

¹⁾ „Mindel-Riß“, natürlich nicht „Riß-Würm“, wie sich durch ein bedauerliches Versehen in HORNINGER, 1975, auf S. 77, oben, eingeschlichen hatte. Der Verf. dankt Herrn Prof. G. TICHY für den freundlichen Hinweis.



LAGESKIZZE

mit den im Bericht erwähnten Hohlgebäuden

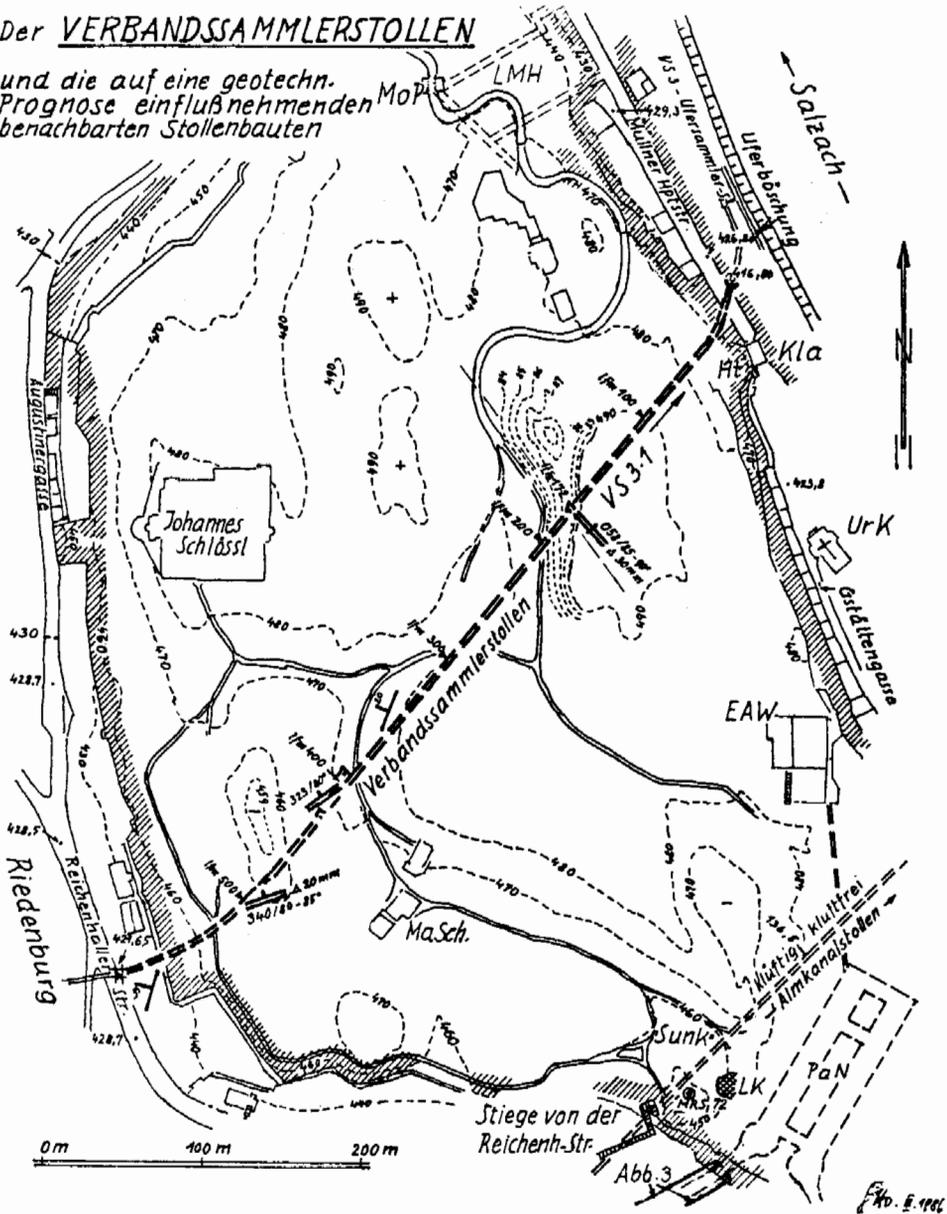
Abkürzungen

AN	Almkanalstollen Neutorarm (auch: Städtischer Arm)
AS	— " — " — Stiftsarm
HS	Festung Hohensalzburg
Kla	Klausentor
LMH	Luftschutzanlagen Mällner Hauptstraße
LSP	— " — " — St.-Peter-Bezirk
LTo	— " — " — Toscanini-Hof
MÖNW	Mönchsberg, Abschnitt NW' vom Neutor
MÖSE	— " — " — SE' " —
NT	Neutor oder Siegmundstor
PaM	Parkgaragenkavernen, Mönchsberg-Mitte'
PaN	— " — " — Mönchsberg-Nord'
RA	Rainberg
VS 3.1	Verbandssammlerstoßen VS 3.1

Abb 1: Lageplan der Hohlraumbauten im Mönchsberg

Der VERBANDSSAMMLERSTOLLEN

und die auf eine geotechn. Prognose einflussnehmenden benachbarten Stollenbauten



- | | | | | | |
|-----|--------------------------------------|--------|----------------------------|--|---------------------|
| UrK | Ursulinenkirche | LMH | LS-Stollen Müllner Hptstr. | | Rinnsstelle |
| EAW | Elektr. Aufzug, Café Winkler | Ma.Sch | Marketender Schlossl | | Wand oder Stufe |
| Ht | Humboldt-Terrasse | MoP | Monika-Pforte | | ss |
| Kla | Klausentor | MRS 72 | Bohrpunkt MRS 72 | | Große, offene Klüft |
| LK | Lehmklüfte, NW-Ende f. LS-stollenbau | PaN | Parkgaragenkav-Nord | | |

Abb. 2: Lageplan Verbandssammlerstollen

lage hinter dem St. Peter-Bezirk bedeutsam, weil in ihr 115 m tief hinter der Mönchsbergwänden auf 145 m Stollenlänge eine meterschmale Zone fast vertikaler Großklüfte aufgeschlossen ist. Vgl. G. HORNINGER, 1974.

– Gegen NNW folgt das 1766 fertiggestellte „Neutor“ – kein Tor im herkömmlichen Sinne, sondern ein Straßentunnel von 131 m Länge –, ganz in der Nagelfluh. Das Neutor oder Siegmundstor, wie es eigentlich heißen sollte, liegt an der engsten natürlichen Einschnürung des Mönchsberges. Heutzutage, nach den Erfahrungen, die der Bau der Kavernengaragen 1972–1975 brachte, die zu beiden Seiten des Neutors hergestellt worden waren, versteht man, wie sehr dem verdienstvollen Erbauer des Neutors, Jh. E. v. GEYER, bei seiner Arbeit auch das Glück hold war. Wäre die Tunnelachse nur etwa 40 m weiter NW' angesetzt worden, wäre der Tunnel so gut wie sicher in den örtlich schon stark gelockerten Felsbereich der 25 x 20 m² weiten Kuppel einer im Berginneren verborgenen Sackungshöhle geraten. 1973, also 200 Jahre später, bereitete diese „Mönchsberg-Seehöhle“ ernste Bauprobleme, als sie beim Garagenbau angeschnitten werden mußte (G. HORNINGER, 1975). An eine andere, böse Klippe hätte man beim Bau des Neutors in Nähe seines SW-Endes geraten können, wenn man nicht vom stadtsseitigen Anschlagpunkt weg zwecks Erzielung günstigeren Lichteinfalles stark steigend vorgegangen wäre. Die Sohle des Neutors hätte nur zu leicht in die südlichen Randfelder des durch Mischungskorrosion zerweichten Nagelfluhhorizontes geraten können, der, an ein altes Grundwasserniveau knapp unter Neutorplanum gebunden, dem Ausbruch beim Garagenbau ernste Erschwerungen einbrachte (G. HORNINGER, 1976). Mit Glück lief aber beim Neutorbau alles Technische bestens. Erst später schälten sich aus dem Mosaik der mannigfaltigen geologischen und technischen, zunächst kaum aufeinander beziehbaren, ja widersprüchlich erscheinenden Feststellungen beim Bau der Kavernengaragen – „Nord“ und – „Mitte“ – gemeinsame Ursachen heraus. So schien vorerst schwer verständlich, warum sowohl das Neutor als auch die südlich daran anschließenden Kavernen der Garagengruppe „Mitte“ mit keinen ernststen geotechnischen Schwierigkeiten zu kämpfen hatten und daß auch der Ausbruch des Luftschutzkavernensystems unmittelbar NW' vom Neutor wenig behelligt von gesteinsbedingten Schwierigkeiten ablief, daß dagegen der Bau der Kavernengaragen – „Nord“ – buchstäblich ab 1 Meter unter dem Planum der LS-Stollen an mehreren Stellen auf erhebliche geologisch bedingte Erschwerungen stieß. Dabei lagen doch die Kavernengaragen – „Nord“ – im Grundriß genau auf dem rund 10400 m² großen Areal des LS-Kavernensystems! Die erwähnte gemeinsame Ursache ist in der für eine interglaziale Nagelfluh ungewöhnlich intensiven Entwicklung der über die ganze Mönchsbergwandhöhe reichenden Steilklüfte in der SW-Hälfte des Mönchsberges zu sehen. Kausal übergeordnet sind dieser Klüftentwicklung, die etwa 30 m NW' vom Neutor einsetzt und zumindest 125 m weit nach NW anhält, Sackungstendenzen im Nagelfluhkörper (vgl. G. HORNINGER, 1976), die ihren Ausgang in den Gesteinen unter der Nagelfluh nehmen. Mit der schrittweise reifenden Erfassung dieser Zusammenhänge war u. a. der Schlüssel für das Verständnis um das Zustandekommen der „Mönchsberg-Seehöhle“ gegeben (an die man übrigens beim Aussprengen der LS-Kavernen ahnungslos auf 80 cm herangekommen war, ohne die Höhle anzukratzen). Damit waren ferner die dem Garagenbau recht hinderlichen, von oben her genau horizontgebundenen einsetzenden Gesteinszerweichungen als Mischungskorrosion am Zusammentreffen des Felsickerstromes mit Klüftwasser zu erklären. Wo die Steilklüfte fehlten, wie in den Garagen „Mitte“, war auch keine Mischungskorrosion zustande gekommen. In Abwandlung eines bekannten Wortspieles könnte

man für den klüftigen 125-m-Abschnitt des Mönchberges sagen: „Oben hui, unten pfui.“ Die Grenze zwischen oben und unten lag ganz knapp unter dem Horizont, auf dem die LS-Kavernen, die an das schräg nach NE fallende Neutorplanum angeschlossen waren, hergestellt worden waren. Nun war auch die Tatsache einzuordnen, daß der versuchte Weiterbau der LS-Kavernen gegen NW an einer örtlichen Häufung bis zu 30 cm weiter, mit Lehm und mit eingeschwemmtem Sand gefüllter Klüftspalten scheiterte (vgl. Abb. 2). Auch das 1943 von CZOERNIG in einem Aktenvermerk festgehaltene Kuriosum, daß beim Bau der LS-Kavernen eine winzige Höhlung angeschnitten worden war, gehört in den umfassenden Zusammenhang. Hätte man nachgegraben, wozu allerdings 1943 wenig Lust bestand, wäre man in den ausgedehnten Zerweichungshorizont geraten, der dem Garagenbau so hinderlich war.

Z. T. knetbar-weiche Nierentaler Tonmergel waren wohl zusammen mit grauen Gosaumergeln von mehreren Aufschlußbohrungen im SW-Bereich der Kavernengaragen—,„Nord“ und „Mitte“ erfaßt worden. Sie tauchten aber gegen E so rasch ab, daß sie dem Garagenbau nicht mehr schaden konnten. Einen ausgezeichneten räumlichen Aufschluß in diesen, die Nagelfluh gegen E unterteufenden Mergeln bot aber dann der Bau der Ausfahrtsrampe für das Garagensystem „Nord“, die die 4,8 m Höhenunterschied zwischen Kavernensohle und Reichenhaller Straße zu überwinden hatte. (Da über diesen interessanten Aufschluß nach Wissen des Verfassers noch nirgends geschrieben worden ist, seien die Profilbilder längs beider Aushubflanken der Rampe Δ etwa 10 m, hier als Abb. 3 beigegeben). Im westlichen Mönchsbergvorland sind oft Bohraufschlüsse bei nur 20 m Seitenabstand voneinander so verschieden, daß sie nicht mehr aufeinander beziehbar sind.

— Der nordwestlichste Stollenbau in jener Zone intensiver Bergzerklüftung ist der sogenannte „Städtische Arm“ oder „Neutor-Arm“ des Almgerinnesystems. Dieser schnurgerade Stollen wurde um 1380 im Auftrag der Bürger der Stadt als kleinquerschnittiger Freispiegelstollen gebaut. Sohlkote am Einlauf, genau unter der Stiege, die aus der Reichenhaller Straße auf den Mönchsberg führt, 426,4 m SH, d. i. 2,90 m unter dem Planum der Straße. Länge der Felsstrecke — durchwegs Nagelfluh — bis zum Stollenende am Gstätentor 215 m. Sohlkote dortselbst 425,4 m SH, 2 m unter der dortigen Straßenhöhe. Stollenrichtung $N 46^{\circ}E$. Die Nagelfluh dieses Stollens ist in dessen riedenburgerseitiger Hälfte bis lfm 136,5 ab Eintritt unter die Mönchsbergwand an der Stiege noch intensiv von mittelsteil einfallenden Großklüften in Mitleidenschaft gezogen. Die ersten 37,5 m der Einlaufstrecke sind ab Wandkante voll ausgemauert. Wie es hinter der Mauerung aussehen dürfte, lassen die vielen großen Klüfte an der Bergwand in Einlaufnähe schätzen. Ab 37,5 m bis etwa 62 m ist der Nagelfluhfels ober den gemauerten Wangen dick mit Kalksinter überkrustet. Die Schichtung fällt etwa 45° nach NW, also in den linken Ulm. Bis lfm 136,5 ist das Gestein arg zerklüftet. In dieser Strecke stellt man neben vielen kleineren Klüften allein 13 Klüfte von mehr als 4 cm und bis zu 10 cm Spaltweite fest. Diese Klüfte sind durchwegs mit weichem, meist blaß rotbraunem Lehm gefüllt. Sie entsprechen jenen, an denen man in nächster Nähe bei den Arbeiten zur versuchten N-Ausweitung der LS-Kavernen gescheitert war (vgl. Abb. 2). Im Stollenabschnitt zwischen lfm 64 und 110 streichen die Großklüfte um N—S und fallen 50 bis 70° nach E. Ab lfm 110 bis 136,5 dreht das Streichen der großen Klüfte auf $N 40^{\circ}W$ und liegen die Fallwinkel bei 60 — 70° NE. Bei Stat. 136,5 hört die Felsklüftung schlagartig auf und die Folgestrecke bis zum Auslauf beim Gstätentor liegt in voll-standfester Nagelfluh. In ihr sind die hier unter 20° nach W bis WNW fallenden, meist um 20 bis 50 cm starken Schichtbänke

S 65°W Kavernengaragen-Nord Profil I : NW-Wange der Ausfahrt N 65°E

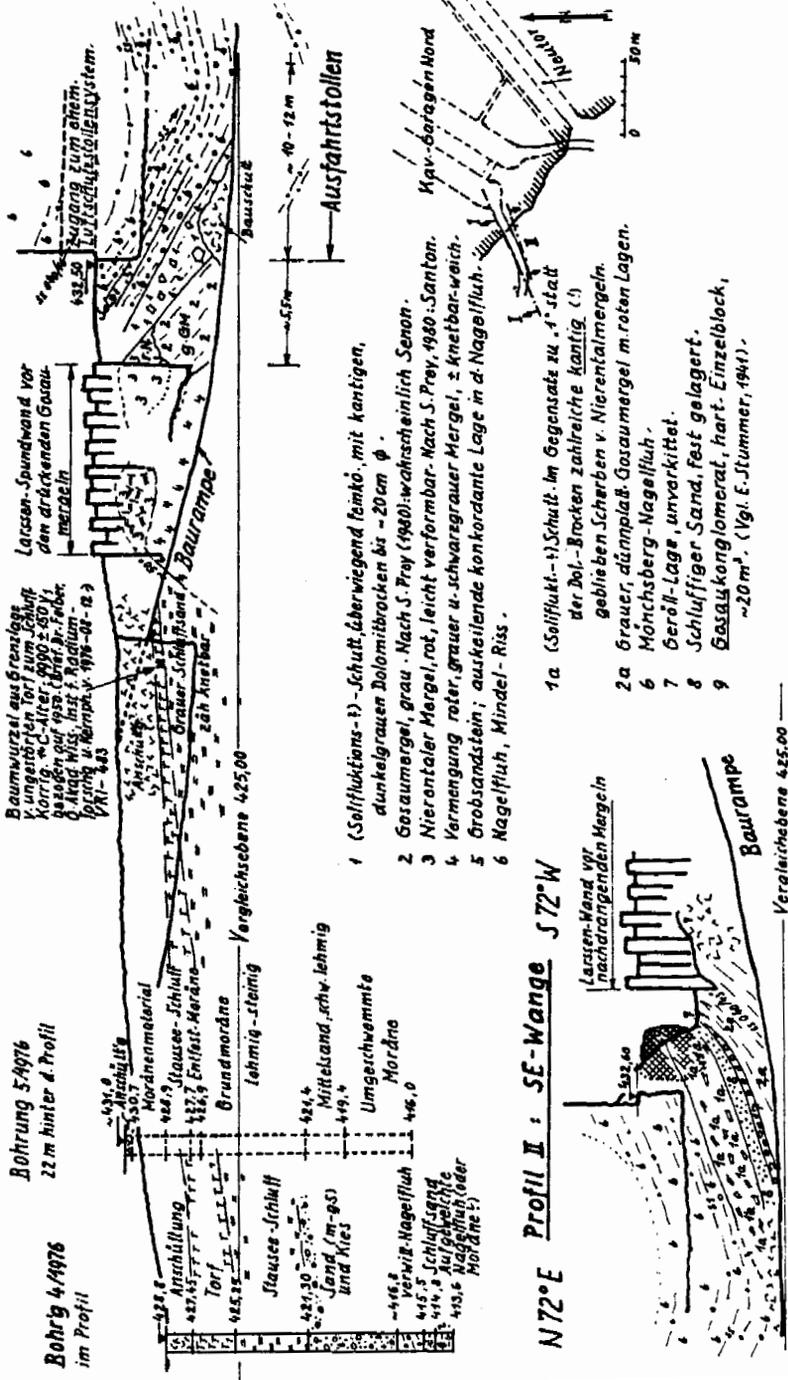


Abb. 196

N 72°E Profil II : SE-Wange S 72°W

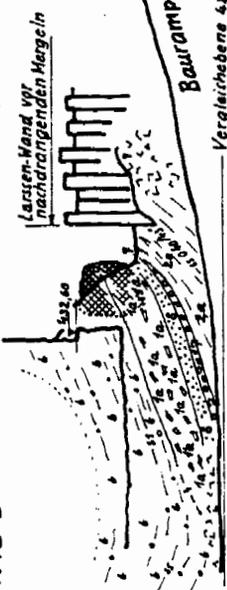


Abb. 3: Profile Ausfahrt Kavernengaragen Nord.

die einzigen, übrigens bautechnisch harmlosen, Diskontinuitäten. Es scheint zwar, daß die intensive Klüftung der Nagelfluh ab der erwähnten Stiege gegen W bzw. NW rasch ausklingen würde. (Eingehende Untersuchungen darüber unterblieben seinerzeit, weil für den Bau der Garagenkavernen nicht mehr relevant.) Merkwürdig wäre aber solches plötzliche Aufhören der intensiven Klüftung an der Stiege auf den Berg auf jeden Fall, weil diese Stelle in nächster Nähe des Intensitätszentrums der Sackungerscheinungen liegt und ein Ausklingen des Phänomens gegen NW wahrscheinlicher wäre als das plötzliche Aussetzen.

Der zuletzt beschriebene Kanalstollen im „Städtischen Arm“ ist von dem um 1974/75 projektierten Verbandssammlerstollen VS 3.1 nur 300 m entfernt. Nach dem oben Dargestellten wäre eine Randwirkung des Intensivklüftungsbereiches in das SW-Ende des VS 3.1 hinein zwar nicht sehr wahrscheinlich, aber auch nicht unbesehen auszuschließen gewesen.

– Wesentlich höhere Eintrittswahrscheinlichkeit einer direkten Rückwirkung auf den VS 3.1 kam den Befunden aus den Luftschutzzstollen in der Müllner Hauptstraße zu. Sie waren erstmals 1944 von E. STUMMER in einem Zeitungsartikel einem weiteren Kreise zugänglich gemacht worden. Zur Stollenlage und zur Lagebeziehung gegenüber VS 3.1 vgl. Abb. 2. Statt, wie erwartet, von der Müllner Hauptstraße aus direkt in die Nagelfluh zu gelangen, die wenig höher über dem südlichen der beiden Zugangsstollen als Wand überzeugend ansteht, geriet man mit den LS-Stollen auf Straßenhöhe, ca. 426,0 m SH, in graue, nachbrüchige Mergel, die dem Flysch zuzurechnen waren. Den Mergeln war noch eine schräg aufsitzende Kappe aus blockreicher Grundmoräne und darüber etwas Seeton aufgelagert, ehe man in die Nagelfluh kam. E. STUMMERs Freude über die geologische Neuerkenntnis dürfte entschieden größer gewesen sein als die Begeisterung der Mineure, denen die Nachbrüchigkeit von Mergel, Moräne und Seeton sehr zu schaffen machte (E. STUMMER, 1944; DEL-NEGRO, 1979).

So hatten also die dem VS 3.1-Projekt räumlich nächstgelegenen unter den älteren Untertagebauten, die für Vergleiche am ehesten in Frage kommen hätten können, mit erheblichen Bauschwierigkeiten zu kämpfen gehabt: im SE die Garagenkavernen—„Nord“ einschließlich des Stollens für den „Städtischen Ast“ der Alm, im NW die LS-Stollen in der Müllner Hauptstraße. Daß weder die eine noch die andere Befürchtung tatsächlich eintreffen werde, konnte man vor dem Bau des VS 3.1 nicht wissen. Es war ein beachtlicher, durchaus nicht selbstverständlicher Glücksfall für den Bau des VS 3.1, daß die Flyschmergel und die sie begleitenden Grundmoränen und Seetone vom VS 3.1 nicht mehr angeschnitten wurden, obwohl der VS 3.1-Stollen volle 10 Höhenmeter tiefer als die Müllner LS-Stollen liegt.

3. Der Verbandssammlerstollen VS 3.1

Ende Jänner 1976 wurde ohne viel Aufsehen etwa 40 m nördlich vom Klausentor im schmalen Parkgelände zwischen der Salzach und der steilen Stufe zur Müllner Hauptstraße hinauf, mit der Herstellung der Abfahrtsrampe für die Teilschnittfräse begonnen. Binnen kurzem hatte sich dann die „AM 50“ so weit in den Berg gefressen, daß die weiteren Vortriebsarbeiten jeder Art schädlicher Neugierde entzogen waren. Der Stollen blieb vom Anschlagpunkt am salzachseitigen Ende bis zum Endpunkt an einem kurzen Fallschacht, einige Meter jenseits der Mönchsbergwand in der Reichen-

haller Straße in gutartiger, fast durchwegs frei stehender oder mit nur leichten Stützeinbauten zu sichernder Nagelfluh. Zur einzigen größeren Vortriebsschwierigkeit kam es bei Baustationierung lfm 172 (ab salzachseitigem Stollenende): Eine isolierte, nur teilweise mit weichem Lehm gefüllte, quer über den Stollen schneidende Kluftspalte nach $050/85^\circ$, mit einer Öffnungsweite zwischen 3 cm am NW-Ulm und 1 1/2 cm am SE-Ulm, entleerte in ihr aufgestautes Bergwasser. Es kam kurzfristig zu einer Überflutung der Sohle und der Vortrieb wurde auf etwa 2 Tage unterbrochen. Dem Vernehmen nach betrug die Schüttung am Anfang „ein paar wenige l/s“. Die Spalte lief bald leer; überblieb auf Dauer eine harmlose Rinnstelle, wie solche im Laufe des weiteren Vortriebes noch mehrmals, meist in Sohlennähe, angefahren wurden. Keine dieser Rinnstellen hatte aber eine auch nur annähernd so starke Anfangsschüttung wie die Kluft bei lfm 172. In geologischer Hinsicht ist dieser Mini-Wassereinbruch bemerkenswert. Die Spalte muß nämlich sowohl nach unten, wie auch ober dem Sammlerstollen von Natur aus gegenüber allen anderen Sickerwegen im Fels abgedichtet gewesen sein. In der Isoliertheit dieser Großkluft im Berginneren ergibt sich die Parallele zu jener merkwürdigen, 115 m hinter der blanken Nagelfluhwand in den LS-Stollen im St. Peter-Bezirk auf 145 lfm Länge festgestellten Spaltenzone, auf die weiter oben hingewiesen worden war. Austrocknung des Gesteins als Ursache für solche Spalten im Berginneren anzunehmen ist zwar bequem und scheint zunächst plausibel, letzten Endes ist dies aber doch nicht befriedigend, auch wenn sie für die typischen Zerrspalten in den äußeren Metern der Wände gelten mag (Th. PIPPAN, 1958, S. 235; G. HORNINGER, 1974). Die Phänomene wären wert, genauer studiert zu werden. Im ganzen Stollen VS 3.1, besonders aber in dessen NE-Hälfte ist die Nagelfluh ausgesprochen schwach und unscharf geschichtet. Der Anteil an Geröllen, die meist Faustgröße nicht überschreiten, beträgt nur etwa 1/3 im Vergleich zu 2/3 an Sand- und Schluffmatrix.

Nach Ingenieurklassifikation waren beim Vortrieb von den 592.05 m der Gesamtlänge in Summe 506,1 m, d. s. 85,5 % als „feste Nagelfluh“ eingestuft worden. Die restlichen 14,5 %, summiert aus 16 Teillängen zwischen 2,0 und 12,7 m, wurden im Abrechnungsplan als „Lockergestein“ geführt. („Lockergestein“ natürlich nicht im petrographischen Sinne!)

Gewiß haben im Laufe der Jahrhunderte zahlreiche bauliche Eingriffe die glazial geformte Morphologie des Mönchbergplateaus z. T. beträchtlich verändert. Die großen Hohlformen des Reliefs, wie z. B. der „Sunk“, d. i. die weite Mulde zwischen dem oberen Ende der Stiege aus der Reichenhaller Straße, und der Bürgerwehr, scheinen aber doch in der Urform erhalten geblieben zu sein. Für die ausgeprägte Plateaumulde mit Tiefpunkt 459 m SH über dem südwestlichen Drittel des VS 3.1 hat sich die aus den Beobachtungen beim Bau der Garagenkavernen Mönchsberg–, „Nord“ abgeleitete (und der Firmenbauleitung mitgeteilte) Erwartung bestätigt, daß größere Mulden auf dem Plateau mit Schwächezonen im Felsgefüge ursächlich zu tun haben. Die im SW-Drittel des VS 3.1 etwa ab lfm 400 bis über lfm 500 hinaus angetroffene Felsverschlechterung im Sinne stärkerer Klüftung der Nagelfluh, damit verbundener Bergnässe und verstärkter Verwitterungserscheinungen sowohl an den Klüften selbst als auch in deren 1/2-m-Nachbarschaft – mit häufiger Zersetzung der empfindlichen Dolomitgerölle von innen heraus – war erwartet worden. Diese Felsverschlechterung war bestimmt nicht dramatisch. Sie war aber auch nicht zu übersehen. Bei lfm 410 setzt z. B. nach $314/90^\circ$ ein steiler, um 8 mm weit klaffender, stets feuchter Firstenriß ein. Er wird ab lfm 417 durch einen 1/4 m daneben gestaffelt verlaufenden Riß in Lage $323/80^\circ$ abgelöst, der bei 420 in den Ulm hineinläuft. (Der Riß gab übrigens einige

Jahre nach Baufertigstellung Anlaß zu einigen Überlegungen hinsichtlich eventueller Nachbrüche in dem zum guten Teil unverkleidet belassenen Rohrstollen.) Eine andere bemerkenswerte Kluft, 349/88–90°, die im Stollen von lfm 490,5 bis lfm 502, hauptsächlich am SW-Ulm und in der Firste, durchläuft, sei etwas eingehender behandelt. Ähnlich wie die oben erwähnte, bis zu 30 mm weite, rinnende Fuge bei lfm 172, deren kürzester Abstand ab ihrer Schnittstelle mit dem Stollen bis zur salzachseitigen Bergwand 110 m beträgt, liegt diese um 20 mm weite Großfuge bei lfm 500 etwa 90 m von der ihr nächstgelegenen, freien Wand an der Riedenburger Seite des Mönchsberges entfernt. In beiden Fällen sind in den jeweiligen Stollenstrecken von der Kluft bis zur offenen Wand nur wenige und schwächere Klüfte zu finden. Beide Großklüfte haben, zumindest teilweise, Lehmfüllungen und weisen an den Klufrändern und in deren Nachbarschaft die typischen Anzeichen für Gesteinszersetzung durch Nässewirkung auf. Von den anderen Klüften unterscheiden sich aber die beiden durch eine deutliche, für Nagelfluhklüfte ungewöhnliche Glättung; bei lfm 172 ist die Glättung gepaart mit einer merkbaren Striemung, die fast nach der Falllinie ausgerichtet ist. Die Kluft bei lfm 172 hat übrigens einen auffallenden Gleichlauf mit Detailformen auf dem Mönchsbergplateau in der geometrischen Auslängung dieser Kluft (vgl. Abb. 2). Ein Zufall oder doch ein Hinweis auf Verstellung, wohl durch differentielles Einsinken der Nagelfluh in eine nachgiebige Unterlage? Verschiebungssinn und Versetzungsbetrag konnten wegen des fast völligen örtlichen Mangels an Gesteinsschichtung im Stollen nicht ermittelt werden.

Die endgültige betriebliche Sicherung der 440 m langen Rohrstollenstrecke konnte sich bisher durchaus auf die allgemein üblichen „Hausmittel“ für wenig-nachbrüchige Gesteine, wie örtliche Torkretierung der Leibung, Setzen und Einspritzen einiger Streckenbögen, oder auch örtliche Abdeckung des GFK-Rohres gegen eventuellen Nachfall aus der Firste beschränken.

Danksagung

Dem Reinhaltverband für den Großraum Salzburg und Umgebungsgemeinden, speziell Herrn Dipl.-Ing. ABLINGER, sei herzlich für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit und für freundliche Beistellung von Bestandsplänen, sowie für Auskünfte gedankt. Ebenso dankt der Verfasser Herrn Dipl.-Ing. FORSTHUBER für wertvolle Auskünfte. Einige Daten betreffend Höhen aus den beiden mittelalterlichen Almkanal-Stollen konnten beim Kanal- und Gewässeramt der Stadtbaudirektion Salzburg erhoben werden. Auch dafür vielen Dank.

4. Literatur

- CZOERNIG, W. v.: Archivnotiz ex 1943, Bundesdenkmalamt, Wien.
 DEL-NEGRO, W.: Erläuterungen zur Geol. Karte der Umgebung der Stadt Salzburg 1:50.000. – Geol. B.-A., Wien 1979.
 EBERS, E., WEINBERGER, L. & DEL-NEGRO, W.: Der pleistozäne Salzachvorlandgletscher. – Veröff. Ges. für Bayer. Landeskd., München 1966.
 FIEBICH-RIPKE, E.: Der Salzburger Almkanal. Ein Werk ältester Salzburger Ingenieurkunst. – ÖWW., 11, H. 4/5, 105–116, 1959.

- HORNINGER, G.: Tiefliegende oberflächenparallele Klüfte. — Proc. Third Intern. Congr. on Rock Mech., II, Part A, 613–618, Denver 1974.
- Baugeologische Ergebnisse bei Erkundungsarbeiten im Mönchsberg, Salzburg. — Verh. Geol. B.-A., 1975, H. 2–3, 75–129, Wien 1975.
 - Geologische Erfahrungen vom Bau der Kavernengaragen Mönchsberg-Nord, Sbg. — Rock Mech., Suppl. 5, 3–28, Springer 1976.
- MARTIN, F.: Eine Zeitung über den großen Bergsturz von 1669. — Mitt. Ges. Sbg. Landeskd., 62, 27–32, Salzburg 1922.
- MUDRICH, A.: Die Geschichte des St. Siegmunds- oder Neutores bis 1774. — Mitt. Ges. Sbg. Landeskd., 55, 113–150, Salzburg (Kiesel) 1915.
- OSBERGER, R.: Der Flysch-Kalkalpenrand zwischen der Salzach und dem Fuschlsee. — Sitzber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Abt. I, 161, 785–801, Wien 1952.
- PIPPAN, Th.: Bericht 1957 über geologische Aufnahmen auf den Blättern Hallein 94/1 und Untersberg 93/2, 1:25.000 und dem Stadtplan Salzburg 1:10.000. — Verh. Geol. B.-A., 1958, 232–240, Wien 1958.
- Bericht 1959 über geologische Aufnahmen auf den Blättern Salzburg 63/4 und Ebenau 64/3, 1:25.000. — Verh. Geol. B.-A., 1960, A55–A61, Wien 1960.
- PREY, S.: Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg 1:50.000. — Geol. B.-A., Wien 1969.
- Erläuternde Beschreibung des Nordteils der Geol. Karte der Umgebung der Stadt Salzburg, 1:50.000: Flyschzone, Walserbergserie, Gosau und Nordrand der Kalkalpen und Quartär. — Verh. Geol. B.-A., 1980, H. 3, 281–325, Wien 1980.
- STUMMER, E.: Zum interglazialen Alter des Mönchs- und Rainberges in Salzburg. — Ber. Reichsst. für Bodenforschung, 95–99, Wien 1941.
- Das Alter des Mönchsberges. — Salzburger Ztg. vom 1. Juni 1944, S. 2 f.
 - Der Aufbau des Salzburger Zungenbeckens. — Mitt. Ges. Salzbg. Landeskd., 81–92, Salzburg 1947.
- TICHY, G.: Das Würm-interstadiale Kohle-Vorkommen von Mülln (Stadt Salzburg). — Z. f. Gletscherkd. u. Glazialgeol., 16, H. 1, 107–110, 1980.
- ZILLNER, F.: Die Wasserleitung der Alm. — Mitt. Ges. Salzbg. Landeskd., IV, Salzburg 1864.

Manuskript eingelangt am 25. 3. 1986

angenommen am 14. 5. 1986

**Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasser-
stollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im
NW-Bereich des zentralen Tauernfensters**

von

Klaus LIEGLER

mit 4 Abb. und 5 Beil.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Klaus L. Liegler
Tauernkraftwerke AG
Mayrhofen, Tirol

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	118
1. Einleitung	118
2. Der geologische Aufbau	119
2.1. Petrographie	120
2.2. Gefüge	120
2.3. Felsentensionen	122
2.4. Bergwasserzutritte	124
3. Ermittlung von Gebirgskennwerten	124
3.1. Konvergenzmessungen	124
3.2. Felsoberflächenspannungsmessungen	125
4. Meßergebnisse und Schlußfolgerungen	129
5. Literatur	130

Zusammenfassung

Beim Bau des Triebwasserstollens des Zillerkraftwerkes im nordwestlichen zentralen Tauernfenster in Tirol wurden Felsoberflächenspannungsmessungen durchgeführt. Die Richtungen der größeren Hauptspannungen schwanken innerhalb charakteristischer Richtungen mit unterschiedlichen Größen. Im Zusammenhang mit dem Gefüge weisen verschiedene Bereiche unterschiedlich orientierter Hauptnormalspannungen vermutlich auf Grund aktiver tektonischer Einspannungen auf. Gleichzeitig kommen charakteristische Gebirgsspannungen, bedingt durch die relativ oberflächennahe Stollenlage, vor.

Summary

In the course of the construction of the power tunnel of the Ziller hydroelectric power station which is situated in the NW central Tauernwindow in the Tyrol measurements of the stresses acting on the rock surface in the tunnel were carried out. The directions of the principal stresses vary with different magnitude within characteristic orientations. As to texture various zones exhibit principle stresses of different orientations possible as a result of active tectonic strains. At the same time characteristic stress reliefs were observed which are due to the near surface location of the tunnel.

1. Einleitung

Die Kraftwerksgruppe Zemm-Ziller befindet sich im inneren Zillertal, einem rechten Seitental des Inntales, an der Nordabdachung der Zentralalpen. Es ist dies der nordwestliche zentrale Bereich des penninischen Tauernfensters, in dem die tiefsten tektonischen Einheiten der Ostalpen aufgeschlossen sind. Sie bestehen dort aus den in relativ junger Vergangenheit gehobenen präalpinen Tuxer-, Ahorn- und Zillertal-Venediger Zentralgneiskernen. Die zugehörigen darüber geschobenen und heute zwiebelschalenartig gelagerten Schieferhülledecken verlaufen randlich, greifen aber auch

zwischen die Ausläufer der Zentralgneiskerne hinein. Es sind dies die Schönachmulde im Norden, die Realspitzzone im Nordwesten und die Greinermulde im Südwesten in der näheren Umgebung des zu betrachtenden Gebietes. Die Kraftwerksanlagen befinden sich zum größten Teil in den Gesteinen der Zentralgneiskerne, im Westen und Norden erreichen sie teilweise gerade noch die Schieferhüllgesteine.

Das Arbeitsgebiet liegt im Bereich der konvergierenden Großstrukturen des Inntales im Norden, des Salzachtales im Nordosten und der tektonisch aktiven periadriatischen Naht mit ihren nach Norden abzweigenden Ästen im Süden (Abb. 1).

LAGE DER HAUPTSTÖRUNGSLINIEN IN DER UMGEBUNG DES ARBEITSGEBIETES

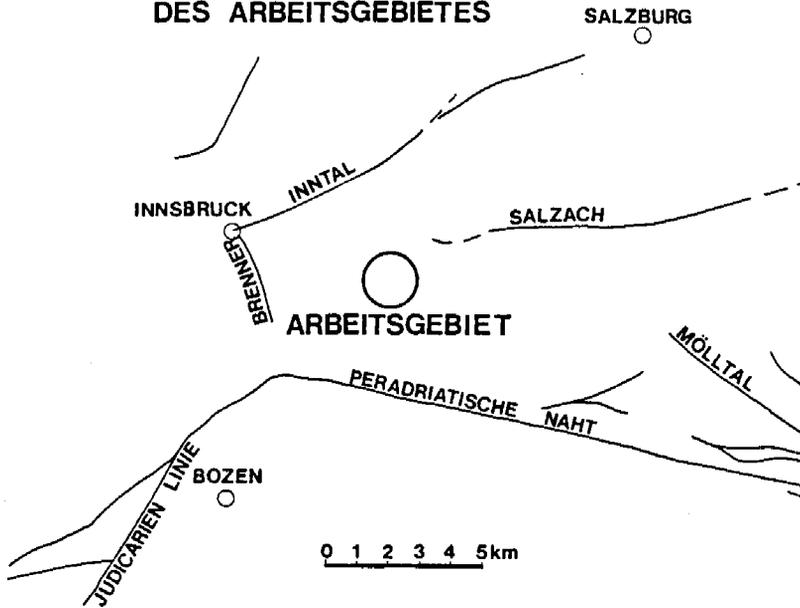


Abb. 1: Die Lage des Arbeitsgebietes

Im Rahmen des Zillerkraftwerksbaues wurden im Triebwasserstollen Zillergründl-Ofenwald während des Vortriebes in situ Felsoberflächenspannungsmessungen durchgeführt. Sie dienten der Erfassung der Spannungsverhältnisse im Hinblick auf die zu bemessende Stollenauskleidung. In der Folge wird versucht, einen Zusammenhang zwischen dem Gefüge und den orientierten Richtungen der Hauptnormalspannungen abzuleiten. Beobachtungen verschiedener Gebirgsdeformationen und ermittelte Felsspannungen lassen eine aktive tektonische Einspannung, die über die einfache Auflast des Gebirges hinausgeht, vermuten.

2. Der geologische Aufbau

Der Druckstollen durchfährt den nördlichen Rand des Zillertal-Venedigerkernes, einen Teil der paläozoischen Schieferhülle, die in diesem Bereich als Schönachmulde

bezeichnet wird und sich durch den Stollenbau als mit einer rd. 100 m breiten Zentralgneiseinschaltung zweigeteilt herausstellte. Weiters wird noch der Südrand des Ahorngneises, ein nördlicher Teillappen des Zillertal-Venedigerkernes, berührt.

2.1. Petrographie

Detaillierte petrographische Untersuchungen des „Zentralgneises“ wurden im gegenständlichen Bereich von RAASE (1972), RAITH (1971) und MORTEANI (1971) durchgeführt. Der Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes quert den Nordrand des Zentralen Tauernfensters.

Der Nordrand des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes besteht im Ostbereich des Triebwasserstollens zunächst aus massivem Zweiglimmergneis mit Biotitschiefer einschaltungen. Kurz darauf folgt der nördliche Tonalitzug, bestehend aus massivem Metagranit mit zahlreichen, je nach Intensität der Schieferung runden bis stark gelängten dunklen basischen Schollen. Gegen Nordwesten wird er stärker geschiefert und augig. Die dunklen basischen Schollen sind in stark gelängter Form weiterhin vorhanden. Dünne Lagen und Schollen von Amphibolit kommen vor. Die Gesteine der Schönachmulde bestehen großteils aus ehemaligen Sedimenten und sauren Eruptivgesteinen, die heute als massive Paragneise, dünnbankige Quarzite mit Hellglimmerhäutchen und quarzreichen variierenden Glimmerschiefern und Gneisen bis Metatuffiten vorliegen. Die weiter im Osten massiv einsetzenden dunklen Habachphyllite sind im Bereich des Triebwasserstollens kaum zu erkennen und nur wenige dm dick. Die ebenso im Osten mächtigen Grünschiefer reichen nicht mehr bis zum Triebwasserstollen. Die Gesteine des Ahorngneises bestehen aus massigen, wenig augigen dunklen Migmatiten und einzelnen Biotitschieferlagen.

Die Grenzen zwischen dem „Zentralgneis“ und der Schönachmulde sind tektonisch überprägt, in dem gegenständlichen Bereich aber störungsfrei aneinandergesetzt. Der Zentralgneis ist im Grenzbereich auf einige Zehnermeter stark geschiefert bis gebändert, Gesteinspartien der Schönachmulde sind mit verschuppt. Mylonite und Zerkackungszonen kommen im Triebwasserstollen an keiner dieser Grenzen vor.

2.2. Gefüge

Die sehr verschieden intensive Schieferung der Gesteine aller drei geologischen Einheiten streicht gleichmäßig WSW–ENE und fällt unterschiedlich großteils NNW, selten SSE. Großräumige Falten kommen vor, sie werden besonders durch die gelängten, dunklen basischen Schollen in der Schieferung erkennbar. B-Achsenmessungen waren jedoch auf Grund der glatten Stollenwandung des gefrästen Stollens in den harten Gesteinen so gut wie unmöglich.

Große Störungen waren im Triebwasserstollen nicht vorhanden. Es gibt nur wenige Großklüfte mit bis zu 2 m mächtigen Zerrüttungssäumen und bis zu 50 cm dicken Myloniten, die meist aber wesentlich geringmächtiger sind. Eine Eigenheit der Quarzite der Schönachmulde sind häufig vorkommende s-parallele dünne Mylonithäutchen.

Kleinere Klüfte und Schieferzonen führen immer wieder Mylonit. Großteils benützen die Klüfte und Mylonitzonen die stark geschieferten Bereiche und Glimmerschieferlagen. Im massigen Granitgneis kommen kaum abrupt größere Störungen vor. Aus

Störungen und deren Myloniten wurden aus dem Triebwasserstollen und in der Überleitung Nord, die sich in der streichenden Fortsetzung der Gesteine befindet, Proben entnommen und tonmineralogische Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen ergaben einen relativ hohen Anteil an quellfähigem Montmorillonit, worüber zu einem anderen Zeitpunkt berichtet werden wird. Da die Mylonite den Stollen größtenteils in stumpfem Winkel queren und auch steil stehen, sind sie nicht von so großer Bedeutung, als daß sie Sondermaßnahmen der Stollenauskleidung erfordert hätten.

Die Verteilung des Gefüges läßt in den einzelnen Bereichen der drei durchfahrenen geologischen Einheiten charakteristische Unterschiede erkennen (vgl. Beilage 2). Dabei wird ersichtlich, daß die Klüfte sehr ähnlich streichen, in den einzelnen Stollenabschnitten aber doch unterschiedlich orientiert sind:

In den ost-südöstlichen 2.500 m des Triebwasserstollens ist der Metagranit größtenteils massig und selten stark geschiefert. Großräumige Falten lassen die Schieferung um die Vertikale streuend und teilweise sehr flachliegend erkennen. Biotitschieferereinschaltungen und Biotitanreicherungen, die nicht durchgerissene Ansätze zu Biotitschieferlagen darstellen, sind in ihrer Streichrichtung der regionalen Anordnung entsprechend, ausgebildet, stehen fast ausschließlich steil, auch wenn die Schieferung des umgebenden Metagranites flach einfällt. Großklüfte kommen nicht häufig vor. Flach WSW einfallende Fugen mit randlichen Bleichungssäumen der Gesteine und gelegentlicher drusenförmiger Mineralisation (Bergkristalle, Kalzit, Chlorit) sind in dieser Kluffgruppe relativ häufig. Ihre oberflächennahe Öffnung und Verfüllung mit Lehm und Sand war Grund für den tiefen Aushub der Sperre Zillergündl. Diese Gefügrouppe stellt ein Äquivalent zu der im östlichen Zentralbereich des Tauernfensters steil ESE einfallenden Kluffgruppe dar.

Der westliche Randbereich des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes zeigt nicht mehr diese großräumigen leicht welligen Verfaltungen. Die Gesteine sind größtenteils straff geschiefert, was auch deutlich in den Lagenkugeldiagrammen ersichtlich wird. Besonders die stark gelängten basischen Schollen lassen dies erkennen. Größere Klüfte nehmen an Häufigkeit zu, ebenso die Bergwasserzutritte. Die Kluffanlage erfolgt bevorzugt in der Schieferungsrichtung in den Biotitschieferereinschaltungen.

Die Gesteine der beiden Teile der Schönachmulde lassen in den geschieferten Abschnitten weiterhin die straffe Regelung erkennen. Nur in den Nordabschnitten fällt sie auch gegen Süden ein und ist in ihrer Gesamtheit etwas verdreht, so daß eine deutliche E–W-Ausrichtung erkennbar wird. Die flachen WSW einfallenden Klüfte mit ihren randlichen Bleichungssäumen und Mineralisationen sind weiterhin, aber nicht mehr so häufig, vorhanden. Die steilstehenden Klüfte benützen ebensogern die Schieferung oder stehen spitzwinkelig dazu.

Im Ahornzentralgneiskernlagen wird wieder eine breitere Streuung des Gefüges ähnlich dem Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern deutlich. Eine technisch erforderliche Stollenkrümmung führte zum spitzwinkligen Verschnitt einiger größerer Klüfte mit der Stollennachse. Dies erforderte zusätzliche technische Maßnahmen des Stollenbaues. Einige steil ESE einfallende Klüfte sind bemerkenswert.

Vergleicht man die Kluffdarstellungen der Lagenkugeldiagramme mit den größeren bekannten regionalen Strukturen, so sind die WSW einfallenden und damit NNW–SSE streichenden Klüfte mit ihren Bleichungssäumen und Mineralisationen dem nördlichen Teil, der in rd. 40 km Luftlinie entfernten Brennerfurche am Westrand des Tauernfensters, geometrisch betrachtet, zuordenbar. Wie bereits erwähnt, sind diese Klüfte scharfe Schnitte mit Bleichungssäumen und gelegentlichen Chloritfüllun-

gen und Mineralisationen. Größere mylonitführende Klüfte waren nach dieser Klüftgruppe im gegenständlichen Gebiet jedoch nur einmal zu beobachten.

Der Großteil der größeren mylonitführenden Klüfte streicht WSW–ENE und fällt, wie beschrieben, oft aber nicht immer mit der vorherrschenden Schieferung zusammen. Sie streichen großteils parallel zum rd. 35 km Luftlinie entfernten Inntal, teilweise auch parallel zur weiter entfernten und deutlich ausgeprägten, im Detail bekannten Salzachlängstalstörung. Auch die beiden größeren beobachteten Störungen dieses Gebietes sind parallel zum Inntal orientiert.

2.3. Felsentspannungen

Ein Charakteristikum dieses Stollens waren Deformationen der Stollenlaibung in Form von Scherbrüchen und plattigen Lockerungen im talseitigen hohen Kämpfer und der bergseitig tiefen Ulme ähnlich einem Lehnstollen. Sie reichen über weite Strecken vorwiegend im Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern. Im Ahorngneis trat dies nur untergeordnet, in der Schönachmulde nur an einer Stelle, dafür aber besonders deutlich auf.

Diese plattigen Ablösungen griffen bis zu 1 m tief in den Fels. Es konnte immer wieder beobachtet werden, daß die Felsablösungen häufig an Klüften begannen, aber nicht nur mit dem Vortrieb mitschreitend, sondern auch teilweise entgegen der Vortriebsrichtung vorkamen: sobald die Klüft durch die Vortriebsmaschine angefahren wurde, brachen aus einem bis dahin unversehrten Kämpfer, entgegen der Vortriebsrichtung, also quasi rückschreitend, Keile über mehrere m Länge aus (s. Abb. 2).

An der gegenüberliegenden tiefen bergseitigen Ulme entspannte sich der Fels in Form plattiger Auflockerungen. Dies setzte sich noch lange nach dem Abschluß des Fräsvorganges fort: der zunächst anscheinend unzerstörte Fels öffnete sich plattenförmig an immer neuen Stellen, die diese Deformation früher nicht erkennen ließen.



Abb. 2: Plattige Felsablösungen im talseitig hohen Kämpfer.

Der Stollen verläuft von Ost nach West, in Vortriebsrichtung betrachtet zunächst relativ oberflächennah. Die Vertikalüberlagerung beträgt im Osten rd. 300 m, die kürzeste Entfernung der Oberfläche rd. 250 m. Die größeren Felsablösungen beginnen bereits zwischen Station 400 und 700 m und setzen sich nach Station 2000 m fort. Die Überlagerung beträgt dort dann zwischen 800 und 900 m. Die Stollentrasse verläuft nahezu parallel zwischen dem tief unten liegenden Zillertal und dem Bergkamm zwischen Aukarkopf und dem Brandberger Kolm (vgl. Abb. 3). Erst beim Auftreten vermehrter Diskontinuitäten mit Wasserzutritten (ab Station 3400) nehmen die Felsablösungen wieder ab.

Die Gesteine der Schönachmulde sind großteils wesentlich stärker geschiefert und weisen mit einer einzigen Ausnahme nur selten solche Felsentspannungen auf. Sie sind daher dort umso auffällender: im talseitig hohen Kämpfer und der bergseitig tiefen Ulme kommen intensive, gekrümmte, plattenförmige Felsablösungen vor. Dieser Bereich erscheint als ein besonders auffällender Hinweis auf aktive rezente Verformungen und damit zusammenhängende Spannungen, wie sie in der Literatur bei der Hebung des Alpenkörpers dargestellt werden und teilweise aus Vermessungen über große Zeitabstände bekannt sind (EXNER & SENFTL 1978).

Im Ahorngneis treten diese Felsablösungen nur in geringfügigem Maße auf. Möglicherweise beinhaltet der vom Hauptkörper des Zillertal-Venediger-Kernes abgesetzte Zentralgneissteyllappen nicht mehr diese Spannungen, wie sie anscheinend im Hauptkörper des Zentralgneiskomplexes vorhanden sind.

Diese Felsablösungen der Stollenlaibung stehen aber in keinem simplen Zusammenhang mit der Häufigkeit der Klüfte. Es gibt einerseits geklüftete Bereiche, in denen solche Deformationen vorkommen, andererseits aber sehr massige Bereiche, in denen dies überhaupt nicht zu beobachten war. Es drängt sich daher der Verdacht auf, daß einzelne Gebirgsbereiche unter höherer Spannung stehen als andere. Auch die Beobachtung der intensiven Verformungen in der Schönachmulde an der oben beschriebenen Stelle weist auf solche Gegebenheiten hin.

Eine weitere charakteristische Form der Felsentspannung sind dünne plättchenförmige Ablösungen bis zu 5 cm Durchmesser. Sie kommen bevorzugt im talseitigen oberen Kämpferbereich vor, wo sonst die keilförmigen Ausbrüche erfolgen. Besonders auffallend waren diese plättchenförmigen Ablösungen in den massigen Granitgneisen der Beileitung Süd.

2.4. Bergwasserzutritte

Es gab keine Wassereinbrüche, aber zahlreiche kleine tropfende und rinnende Bergwasserzutritte, deren Gesamtschüttungsmenge auf rd. 7,5 km Stollenlänge 30 l/sec. nie überschritt. Trotzdem waren nur selten 100 lfm des Stollens ohne Feuchtstellen.

3. Ermittlung von Gebirgskennwerten

3.1. Konvergenzmessungen

Während des Vortriebes wurden an 18 verschiedenen Stollenquerschnitten Konvergenzen gemessen. Die gemessenen Werte lagen im allgemeinen bei 2–4 mm. Dabei ist

zu beachten, daß die Meßbolzen vereinzelt in geklüftetem Fels versetzt werden mußten. Auf Grund der Konstruktion der Fräsmaschine konnte dies nur in einem bestimmten Maschinenbereich erfolgen.

Die aufgefahrenen drei unterschiedlichen Gebirgsabschnitte des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes, der Schönachmulde und des Ahorngneises zeigen unterschiedliche Verformungen sowohl in deren Größenordnung als auch in der Art und Weise des Verlaufes der Verformungen. Die größten Konvergenzen treten im Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern auf. Häufig erfolgt die Stollenverengung in zwei Schüben in Form einer Konvergenzbeschleunigung mit nachfolgendem Ausklingen. In der Schönachmulde zeigt der Stollen geringere Verformungen. Sie gehen eher stetig und nicht ruckartig vor sich. Das gleichmäßigste Verformungsbild zeigt der Stollen im Ahorngneis. Nach einer anfänglichen Verengung kurz nach dem Ausbruch beruhigt sich die Verformung. Eine spätere zweite Phase der Verengung, wie sie für den Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern typisch ist, tritt in nur geringfügigem Ausmaß auf.

Eine erste Betrachtung vermittelt den Eindruck, als würde der zweite Konvergenzschub eine Folge des schonenden Vortriebes und der damit verbundenen langsamen Spannungumlagerung sein. Bei Betrachtung und zeitlichem Vergleich der einzelnen Konvergenzkurven entsteht der Eindruck, als würde der zweite Konvergenzschub in einem bestimmten Zeitabschnitt vor sich gehen. Er erfolgt großteils nach mehr als 100 Tagen des Auffahrens der entsprechenden Gebirgsbereiche, manchmal auch mehrere Monate später. Der Zeitpunkt dieses zweiten Konvergenzschubes wird im Laufe des Stollenvortriebes immer mehr vorverlegt und rückt bei später aufgefahrenen Stollenabschnitten ständig näher an die 100-Tage-Zeitspanne des anfänglichen Bereiches unmittelbar nach dem Ausbruch. Gleichzeitig vergrößern sich die anfänglichen Konvergenzen der Meßquerschnitte ab Station 2083,5 m. Daher entsteht der Eindruck, daß diese Verformungen des zweiten Konvergenzschubes und die Vergrößerung der ersten Konvergenz der östlichen Stollenstrecken in einer bestimmten Zeitspanne vor sich gehen. Laut Auskunft der Seismik (Kaprun und Schlegeis) kamen in diesem Zeitraum jedoch keine größeren Erdbeben in Europa vor.

3.2. Felsoberflächen Spannungsmessungen

Vor allen weiteren Ausführungen muß bemerkt werden, daß die Felsoberflächen Spannungsmessungen im Triebwasserstollen Zillergündl-Ofenwald keinem Programm zur regionalen Erfassung von Gebirgsspannungen mit Bezug zu Großstrukturen angehört, sondern der Erfassung lokaler Felsspannungszustände im Hinblick auf die zu wählende Auskleidung des Triebwasserstollens dienen sollten.

Die Messungen der Felsoberflächen Spannungen erfolgten in allen drei durchfahrenen geologischen Haupteinheiten: dem Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern, in den paläozoischen metamorphen Sedimenten der unteren Schieferhülle zugehörigen Venediger Decke und in dem vom Hauptkörper des Zentralgneises etwas abgesetzten Ahornlappen.

Es wurden zunächst großteils rund 20 m hinter dem Fräskopf in einem zugänglichen Teil der Stollenvortriebsmaschine Dehnungsmeßstreifen auf die frisch ausgebrochene und für die Messung polierte Felsoberfläche oberhalb und seitlich der Sohle an der tiefen Ulme aufgeklebt (vgl. Beil.11), im Gegensatz zu den Triaxialzellen, die KOHLBECK, LAHODYNSKY, SCHEIDEGGER (1986) verwendeten. Die Meßstellen

sind daher nicht streng horizontal ausgerichtet, sondern entweder SSE oder NNW (Nord- oder Südulme) gekippt, da der Großteil der Messungen während des laufenden Stollenvortriebes in einem einigermaßen freien Raum der ständig langsam vorrückenden Vortriebsmaschine erfolgen mußte. An der Stollensole waren Messungen nicht möglich, da Wasser- und Ölrreste zumindest einen Teil der Stollensole ständig bedeckten. Als Dehnmeßstreifen wurden großteils Rosetten von HOTTINGER 15/120RY 11 zur Erfassung eines ebenen Spannungszustandes mit rechtwinkelig aufeinanderstehenden Hauptnormalspannungen verwendet, ähnlich SCHÄFER-KEIL (1979).

Für die Ermittlung der Gebirgsspannungen wurde das Überbohrverfahren angewendet. Durch die beim Überbohren eintretende Entspannung des Bohrkernes erfolgte Dehnung wird aus elektrischen Widerstandsmessungen vor und nach dem Überbohren der Meßstelle errechnet. Die Elastizitätsmoduli wurden im Labor ermittelt, teilweise in Anlehnung an die erfolgten Messungen angenommen. An 37 Meßstellen wurden im Triebwasserstollen die Beträge der Hauptnormalspannungen festgestellt. Die Vertikalüberlagerungen betragen an den Meßstellen 300–900 m, größere seitliche Überlagerungen an den Bergkämmen reichen beträchtlich höher (vgl. Abb. 3). Bei allen Meßstellen läßt der betrachtete zweiachsige ebene Spannungszustand trotz der leicht gekippten Meßstellen bevorzugte Richtungen erkennen. Die senkrecht aufeinanderstehenden Hauptnormalspannungen σ_1 und σ_2 wurden im Lageplan M 1:25.000 auf Nord bezogen dargestellt (vgl. Beil. 9).

Es brachten nicht alle Meßstellen verwendbare Meßergebnisse. Einzelne Meßstellen lagen in Bereichen, die durch benachbarte Bohrlochhöhlräume dermaßen gestört wurden, daß keine Meßergebnisse zustande kamen. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich im Bereich der Schönachmulde mit den auffallend starken Felsablösungen (Station 5124). Der Fels enthielt dort so hohe Spannungen, daß sich die Bohrkernschneide nach wenigen Zentimetern des Überbohrens in Scheiben zerlegte. Gelang dennoch ein Bohrkern von wenigen cm Länge, bei 10 cm Bohrkerndurchmesser, so dehnte er sich in der Bohrkronenzone dermaßen aus, daß er klemmte und nur mehr herausgeschlagen werden konnte. Es zerbrachen auch die Felsstege zwischen den einzelnen Bohrlöchern.

Die einzelnen Meßbereiche, Detailbetrachtungen (vgl. Beil. 9, 10, 11):

Der Meßbereich 1 (Station 1348–1350)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 1 und 2 befindet sich im Metagranit, der dort mäßige Felsablösungen zeigt. Eine Konvergenzmeßstelle befand sich in unmittelbarer Umgebung. Die beiden Meßstellen an der Nordulme weisen eine ausgeprägte NE–SW Orientierung der Hauptspannung auf. Die Größe der ermittelten Spannungen entspricht mehr als der einfachen Überlagerung (REIK 1985) und ist u. a. mit dem seitlich hoch aufragenden Felskamm in Verbindung zu bringen. Auf Grund dieser hohen Spannungen kurz nach dem Stollenausbruch wurden zur Erfassung evtl. zeitlicher Veränderungen der Spannungen weitere Messungen durchgeführt. Die Messungen an den Meßstellen 3 und 6 erfolgten etwa zwei Wochen später und sind in etwa demselben Bereich an der Nordulme situiert.

Während die Meßstelle 3 eine deutliche Abnahme der Spannungen bei gleicher Spannungsrichtung erkennen läßt, zeigt die Meßstelle 6 abermals hohe Spannungen,

jedoch in anderer Orientierung. Knappe 2 Jahre später erfolgten dort die neuen Meßstellen 36 und 37. Dabei ergaben sich wieder die beiden Spannungsrichtungen.

Die Meßgrößen zeigten abnehmende Tendenz. Während des Bohrens lösten sich vom Bohrkern ca. 2 cm dicke Scheiben, so daß an zwei Stellen keine Meßergebnisse zu erreichen waren. Die Bohrlöcher selbst deformierten sich in kurzer Zeit derart, daß im Bohrloch Gesteinsabsplitterungen auftraten und eine Ovalform der Bohrlöcher mit freiem Auge erkennbar wurde.

Der Meßbereich 2 (Station 2270–2275)

Der Meßbereich befindet sich im Metagranit mit mäßigen Felsablösungen. Die Messungen an der Nordulme ergaben nicht mehr so hohe Werte, die räumliche Orientierung verhält sich ähnlich zum vorigen Meßbereich. Die Messung 8 war trotz massiven Felses zu nahe dem Bohrloch der Meßstelle 7 situiert, so daß keine brauchbaren Meßwerte gewonnen werden konnten. Die Messungen 9 und 10 an der Südulme zeigten ebenso keine hohen Werte, die Spannungen waren NW orientiert. Da sich in diesem Bereich bei weitem nicht so hohe Spannungen wie bei Station 1348 ergaben, wurde auf erneute Messungen zu einem späteren Zeitpunkt verzichtet.

Der Meßbereich 3 (Station 3055–3038)

Auch dieser Meßbereich befindet sich noch im Metagranit, starke Felsablösungen kamen vor. Etwa 10 m weiter befand sich eine Konvergenzmeßstelle. Die Felsspannungsmessungen ergaben teilweise hohe Werte, weshalb zu mehreren Zeitpunkten gemessen wurde. Die Spannungsverteilung der Meßstellen 13 und 14 an der Nordulme ist generell NE–SW orientiert, die Werte liegen ziemlich hoch. Bei der Meßstelle 16 konnten noch 10 Tage später erhebliche Spannungen gemessen werden, 14 Tage später sind sie bei der Meßstelle 18 bereits abgemindert. Zwei Jahre später wurde dieser Bereich erneut mit den Meßstellen 34 und 35 untersucht. Sie zeigten die gleiche Orientierung mit geringen Spannungsgrößen. Die Meßstellen 11 und 12 an den Südulmen ergaben eine ENE orientierte Spannungsverteilung, die Meßwerte sind eher klein, es treten sogar Zugspannungen auf. Bei den weiteren Meßstellen 15 und 17 an der Südulme wurden ganz in der Nähe der Meßstelle 11 hohe Spannungen ermittelt, die sich NNW–SSE orientieren, also nahezu rechtwinkelig zur Meßstelle 11 und 12.

In diesem Meßbereich befindet sich in unmittelbarer Nähe der Meßstellen eine große Aplitlinse, deren Lage diese sonderbaren Meßwerte vermutlich beeinflusst. Zusätzlich kommen in den Ulmen starke Felsablösungen vor. Trotz dieser Faktoren werden sowohl die spezifischen Richtungen der Spannungen als auch lokale in Größe und Richtung stark schwankende Spannungsbereiche erkennbar.

Der Meßbereich 4 (Station 3516–3517)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 19 und 20 liegt bereits am Nordrand des Zillertal-Venedigergneiskernes in grobkörnigem Augengneis. Zwischen mehreren WSW fallenden Klüften erfolgten die Messungen in einem massigen Fels. An der Südulme ergaben sich NE-orientierte Spannungsverteilungen vermutlich auf Grund der geklüfteten Umgebung der Meßstellen in geringer Größe. Aus diesem Grund wurden an diesen Stellen keine weiteren Messungen durchgeführt.

Der Meßbereich 5 (Station 4457)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 21 und 22 befindet sich in Hellglimmerquarzit der Schönachmulde ohne nennenswerte Klüftung an der Südulme. Die Spannungsverteilung erscheint wieder in charakteristischer Orientierung, aber mit auffallend geringen Größen der Meßwerte.

Der Meßbereich 6 (Station 5124)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 32, 33 befindet sich in massigen hellen Gneisen. Es ist dies der sich so auffallend entspannende Bereich in der Schönachmulde. Nach der Fertigstellung des Ausbruches des Triebwasserstollens wurde auf Grund dieser auffallenden Deformationen der Stollenlaibung versucht, in diesem Bereich Felsoberflächenspannungen zu messen. So weit dies bei den bereits ausführlich beschriebenen Verformungen möglich war, wurden ähnlich hohe Spannungen wie bei Station 1349,80 ermittelt.

Der Meßbereich 7 (Station 6223)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 23, 30, 31 an der Nordulme befindet sich am Nordrand der Schönachmulde in dunklen mittelkörnigen Gneisen unweit der habachphyllitverwandten Gesteinseinschaltungen. Die ersten Messungen ergaben sehr hohe NE-orientierte Spannungen. Nachfolgend ließen sie eine deutliche Verminderung erkennen.

Der Meßbereich 8 (Station 6926–6930)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 25, 28, 29 an der Nordulme befindet sich im geflaserten Migmatit am Südrand des Ahornzentralgneislappens. Der Fels ist dort etwas geklüftet, Feucht- und Tropfstellen kommen in der Umgebung vor. Die Spannungsverteilung ist ENE orientiert. Eine Abminderung der teils hohen Spannungen wird bis zur Beendigung des Ausbruches des Triebwasserstollens deutlich. Auch an der Südulme ist die Hauptspannung ENE–WSW orientiert.

Der Meßbereich 9 (Station 7538)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 26, 27 befindet sich im Schollenmigmatit des Ahornzentralgneiskernlappens. Der Fels ist in der Umgebung geklüftet, Feuchtstellen kommen vor. Die Spannungsverteilung ist NE-gerichtet, die Spannungen sind der nahen Klüftung entsprechen relativ gering.

4. Meßergebnisse und Schlußfolgerungen

In der Zeitspanne von knapp zwei Jahren (März 1982 bis Februar 1984) erfolgten an 37 Stellen Messungen von Dehnungsänderungen, wovon die Hauptnormalspannungen abgeleitet wurden. Es wurde jeweils eine Meßstelle nur einmal überbohrt. Die an den Bohrkernen im Labor ermittelten Elastizitätsmoduli liegen zwischen $18,4 \text{ kN/mm}^2$ und $17,5 \text{ kN/mm}^2$. In der Beilage 1 sind die Hauptnormalspannungen in ihrer Orientierung auf Nord bezogen dargestellt. Die Meßwerte schwanken zum Teil örtlich bedingt beträchtlich in ihrem Ausmaß, nicht so sehr in ihrer Orientierung. Zur genauen Erfassung zeitbedingter Veränderungen wären Messungen immer an denselben Meßstellen erforderlich gewesen, was bei laufendem Stollenvortrieb problematisch ist.

Zur besseren Übersicht wurden die jeweils größeren Hauptnormalspannungen in ihren prozentuellen Häufigkeiten nach Art einer Kluftrose dargestellt (vgl. Abb. 4). Dabei tritt ein Maximum mit NNE–SSW Orientierung deutlich hervor. Die beiden anderen Häufungsbereiche erstrecken sich NNW–SSE bzw. SW–NE.

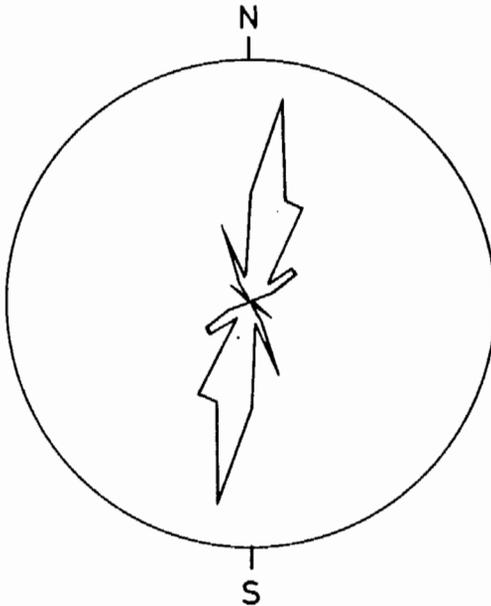


Abb. 4:
Häufigkeiten der Hauptnormalspannungen.

Für eine aussagekräftige statistische Auswertung liegt leider eine sehr geringe Anzahl der Ermittlungen der Hauptnormalspannungen vor, um die Gefügegeometrie damit direkt in Beziehung setzen zu können. Bei der vorliegenden Anzahl der Messungen ist aber dennoch eine deutliche NNE–SSW Ausrichtung der jeweils größeren Hauptnormalspannungen in Beziehung zu bringen. Am deutlichsten wird dies im einigermaßen homogenen Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern, wo die NNE orientierte größere Hauptnormalspannung als Winkelhalbierende zwischen die WSW einfallende Kluftschar und die nahezu s-

parallelen Klüfte als konjugierende Gefügeelemente zu liegen kommt. Dies kann trotz eines streuenden Gesamtbildes der Einzelelemente und der relativ geringen Anzahl der Messungen mit den beschriebenen Gebirgsdeformationen als ein Hinweis auf eine aktive tektonische Einspannung, die auf Grund unterschiedlicher Lokalbedingungen nicht streng einheitlich ausgerichtet sein muß, gedeutet werden.

Es kann aber auch die Lage des untersuchten Gebietes im möglichen Einflußbereich der Großstrukturen des Inntales, des Salzachtales und der periadriatischen Naht der Grund dafür sein.

Vielleicht könnte eine größere Anzahl von Messungen in Verbindung mit der Erfassung des Gefüges bereichsweise aufgliedert trotz der relativ einfachen Meßmetho-

de eine Unterscheidung und genauere Definition einzelner Spannungsfelder erkennen und unterscheiden lassen. Mit den vorliegenden Meßergebnissen läßt sich aber doch eine lokal differenzierte, gesetzmäßige Ausrichtung der Hauptnormalspannungen in bezug auf Orientierung und Größe erkennen. Dabei wird der Spannungszustand durch vermutlich örtlich variierende tektonische Einspannung, durch die Hebung des Alpenkörpers und durch die Hanglage des Stollens beeinflußt.

5. Literatur

- BUCHROITHNER, M.: Computer-aided evaluation of the major fracture pattern in Austria, derived from Landsat Data. – *Jahrb. Geol. B.-A.*, 125, 219–271, Wien 1982.
- CHRISTA, E.: Das Gebiet des oberen Zemmgrundes in den Zillertaler Alpen. – *Jahrb. Geol. B.-A.*, 81, 533–635, Wien 1931.
- Das Greiner-Schwarzensteingebiet der Zillertaler Alpen in geologisch-petrographischer Betrachtung. – Universitätsverlag Wagner, Innsbruck 1934.
- ECKHARDT, P., FUNK, W. & LABHART, T.: Postglaziale Krustenbewegungen in der Rhein–Rhone-Linie. – *Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich*, N. F. 233, 42–55, Zürich 1983.
- EXNER, CH.: Beitrag zur Kenntnis der jungen Hebung der östlichen Hohen Tauern. – *Mitt. geograph. Ges. Wien*, 91, 186–196, 1 Taf., Wien 1949.
- & SENFTL, E.: Rezente Hebung der Hohen Tauern und geologischen Interpretation. – *Verh. Geol. B.-A.*, 1973(2), 209–234, 3 Abb., Wien 1973.
- KIESLINGER, A.: Restspannung und Entspannung im Gestein. – *Geologie und Bauwesen*, 24, 95–112, Wien 1958.
- KOHLBECK, F.: In situ Spannungsmessungen im Tertiärbecken von Fohnsdorf. – *Berg- und Hüttenmänn. Mh.*, 124, 367–376, Wien 1979.
- & LAHODYNSKY, R.: Spannungsmessungen im Ruetzstollen der österreichischen Bundesbahnen (Stubai Alpen). – *ÖIZ*, 127/9, 320–327, Wien 1982.
- & SCHEIDEGGER, A. E.: Gebirgszustand und neotektonische Spannungen im Gebiet des Bergbaues von Bleiberg, Kärnten. – *Rock Mech.*, 14, 1–25, Wien 1981.
- , LAHODYNSKY, R. & SCHEIDEGGER, A. E.: Gebirgsspannungsmessungen im Ischler Salzberg, Oberösterreich. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, 32, 67–78, 6 Abb., 1 Tab., 2 Beil., Wien 1986.
- KRONBERG, P.: Die regionale und überregionale Bruchtektonik Mitteleuropas. Bestandsaufnahme und Interpretationen. – *Geotekt. Forsch.*, 53, 7–41, 21 Abb., 2 Beil., Stuttgart.
- LEEMANN, E. R.: The determination of the complete state of stress in rock in a single borehole – laboratory and underground measurements. – *Int. Journ. Rock Mech. and Min. Sci.*, 5, 31–56, Oxford 1968.
- The „doorstopper“ and triaxial rock stress measuring instruments developed by the CSIR. – *Journ. South Afr. Inst. Min. & Metall.*, 69, 305–339, Johannesburg 1969.
- MANDL, G. et al.: Shear zones in granular material. An Experimental Study of Their Structure and Mechanical Genesis. – *Rock Mechanics*, 9(2–3), 95–144, 33 figs., Wien 1977.
- Bruchtektonik-Einführung in Mechanik und Modelle. – *Schrift. Unterlagen und Arbeitsblätter zu einem Blockkurs in Salzburg*, 1980.

- MORTEANI, G.: Gliederung und Metamorphose der Serien zwischen Stillupptal und Schlegeistal (Zillertaler Alpen, Nordtirol). – Verh. Geol. B.-A., 1971, 287–314, Wien 1971.
- RAASE, P.: Petrographie und Geologie des oberen Zillergrundes und Sondergrundes (Zillertaler Alpen, Österreich). – 1972.
- RAITH, M.: Seriengliederung und Metamorphose im östlichen Zillertaler Hauptkamm (Tirol, Österreich). – Verh. Geol. B.-A., 1971, 163–207, Wien 1971.
- REIK, G.: Primärspannung und Gebirgsdruck. – Felsbau, 3(1985/2), 101–106, 13 Bilder, Essen 1985.
- RIEDEL, W.: Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. – Cbl. Min. Geol. Paläont., B1929, 354–368, 12 Abb., Stuttgart 1929.
- SCHEIDEGGER, A. E.: Beziehungen zwischen Orientationsstruktur der Talanagen und der Kluftstellungen in Österreich. – Mitt. Österr. Geogr. Ges., 121(II), 187–195, 8 Abb., Wien 1979.
- SCHÄFER, K. & KEIL, St.: In situ Gesteinsspannungsermittlungen in Island. – Meßtechnische Briefe 15/2, 35–47, 1979.
- SENFEL, E.: Ein Beitrag zum Nachweis rezenter Bewegungen in den Hohen Tauern. – ÖZV, 58, 41–46, Wien 1970.
- SKEMPTON, A. W.: Some observations on tectonic shear zones. – Proceedings First Congr. Intern. Soc. Rock Mechanics, 329–335, 7 figs., Lissabon 1966.
- STEINHAUSER, P.: Rezente Krustenbewegungen an der Novellemant-Linie Villach-Thörl Maglern. – Mitt. österr. geol. Ges., 71/72, 317–322, Wien 1980.
- TOLLMANN, A.: Ostalpen-Tektonik I. Die bruchtektonische Zyklenordnung im Orogen am Beispiel der Ostalpen. – Geotekt. Forsch., 34, 90 S., 21 Abb., 1 Tab., 1 Taf., Stuttgart 1970.
- Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 153, 1–27, Stuttgart 1977.

Manuskript eingelangt am 7. Juli 1986
angenommen am 14. Juli 1986

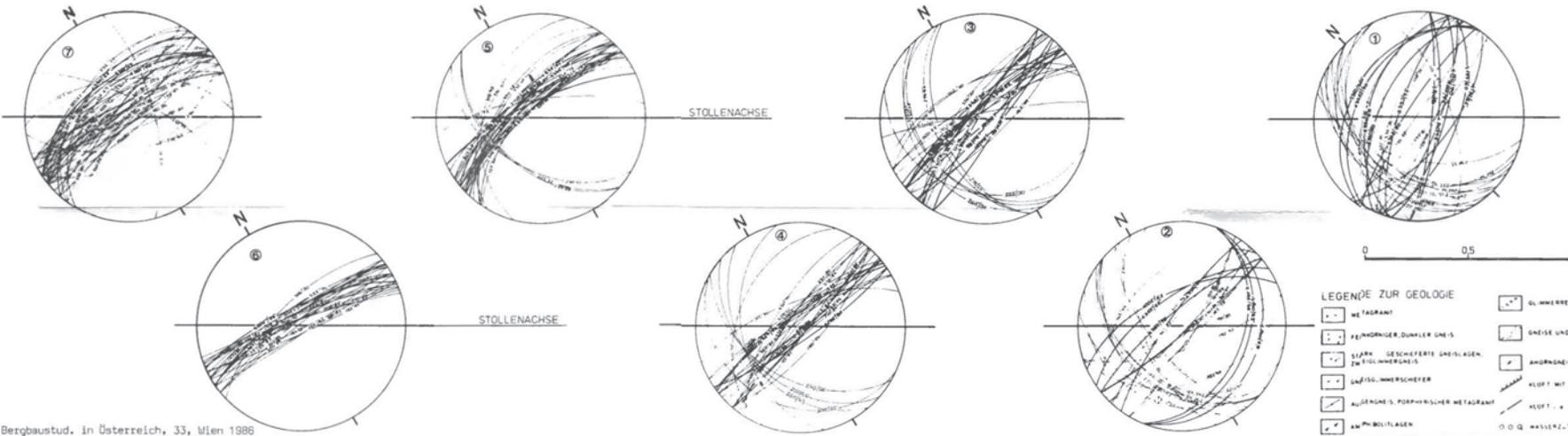
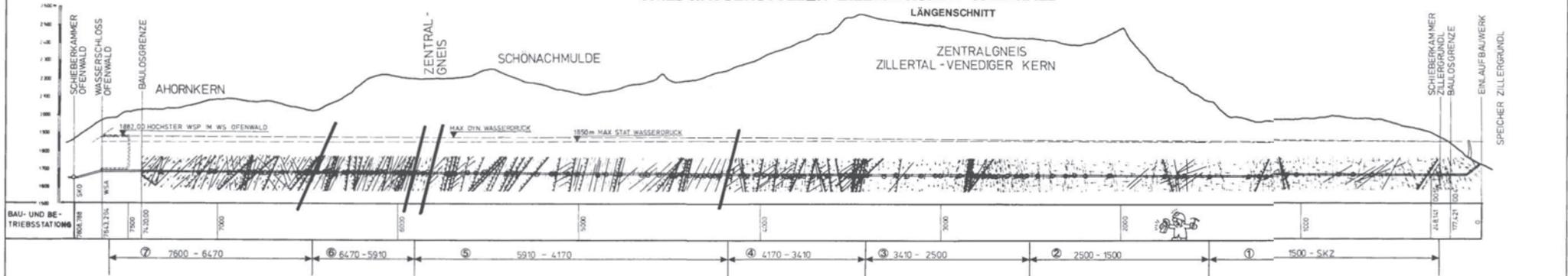


GRÖSSE UND RICHTUNG DER FELS-OBERFLÄCHENSpannungen IM TRIEBWASSERSTOLLEN ZILLER - GRÜNDL - OFENWALD



TRIEBWASSERSTOLLEN ZILLERGRÜNDL-OFENWALD

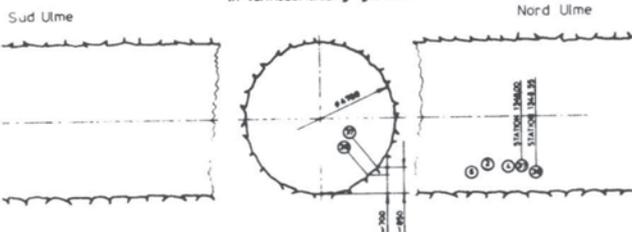
LÄNGENSCHNITT



- LEGENDE ZUR GEOLOGIE
- METAGRANIT
 - FEILHORNIGER, DUNKLER GNEIS
 - STARK GESCHICHTETE GNEISLAGEN IM FÜLLHORNERGNEIS
 - UNFÖHLHORNSCHEIFER
 - AUßERGEWÖHNLICHER METAGRANIT
 - AMPHIBOLITENLAGEN
 - GLIMMERREICHE LAGEN
 - GNEISE UND QUARZITE DER SCHÖNACHMULDE
 - ANORTHOGNEIS
 - KLUFT MIT MYLONIT (UND ZERKNACKUNG)
 - KLUFT - >
 - WASSERLEITENDE MITTLE TROPFENDRINNE

STATION 1348

in Vortriebsrichtung gesehen

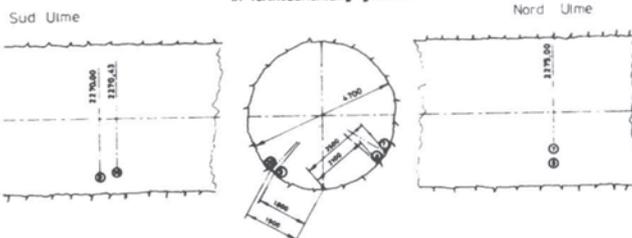


**LAGE DER EINZELNEN FLSOBER-
FLÄCHENSPEANUNGSMESSUNGEN IM
TRIEBWASSERSTOLLEN
ZILLERGRÜNDL – OFENWALD**



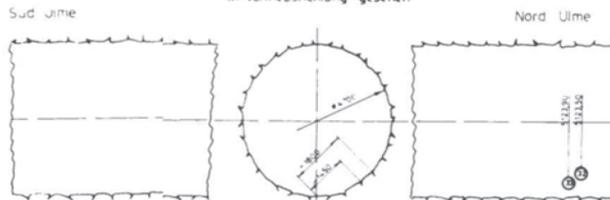
STATION 2270

in Vortriebsrichtung gesehen



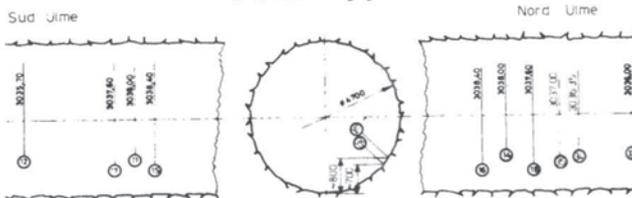
STATION 5124

in Vortriebsrichtung gesehen



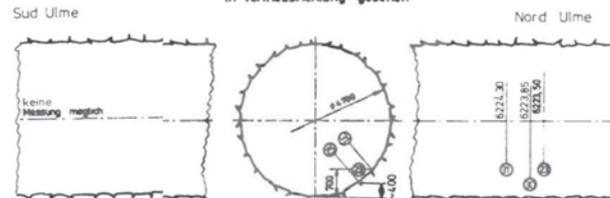
STATION 3035

in Vortriebsrichtung gesehen



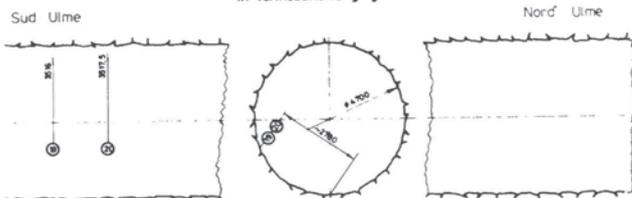
STATION 6223

in Vortriebsrichtung gesehen



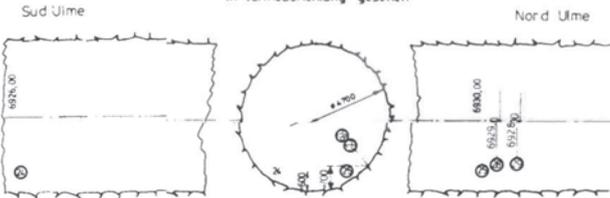
STATION 3516

in Vortriebsrichtung gesehen



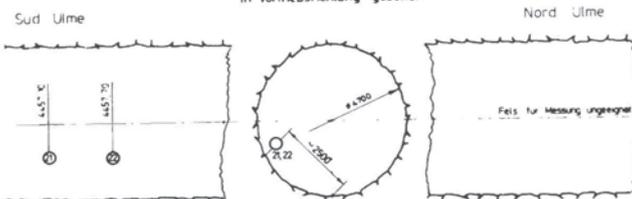
STATION 6926

in Vortriebsrichtung gesehen



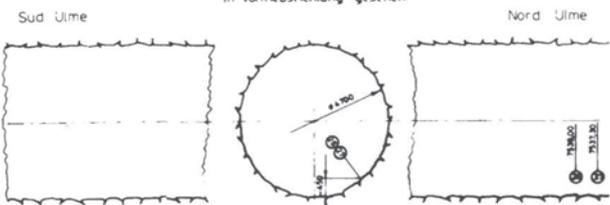
STATION 4457

in Vortriebsrichtung gesehen



STATION 7538

in Vortriebsrichtung gesehen



**Ein Beitrag zu den Felsspannungsmessungen im Druckschacht
und Krafthausschacht Häusling des Zillerkraftwerkes
der Tauernkraftwerke AG**

von

Helmut HALBMAYER

mit 4 Abb. und 1 Beil.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Helmut Halbmayer
Österr. Elektrizitätswirtschafts-AG
Am Hof 6A
A-1010 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 133–143	Wien 1986
---------------------------------------	----	------------	-----------

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	134
1. Einleitung	134
2. Geologische Beschreibung	135
2.1. Meßergebnisse	136
2.1.1. Konvergenzmessungen	136
2.1.2. Stempeldruckversuche	136
2.1.3. Felsoberflächenspannungsmessungen	136
3. Geologische Beschreibung des Krafthauschachtes Häusling	137
3.1. Meßergebnisse	141
3.1.1. Felsoberflächenentensionmessungen	141
4. Schlußfolgerungen	143

Zusammenfassung

Während des Baues des Zillerkraftwerkes wurden Felsoberflächenspannungsmessungen für die Bemessung der Stollenauskleidung und der Injektionsdrücke ausgeführt. Im Bereich des Druckschachtes Häusling und des Krafthauschachtes Häusling scheint die Richtung der größten Hauptnormalspannungen, einerseits von der regional vorgegebenen Einspannung (s. LIEGLER) zum Zeitpunkt der Messungen vom Ausbruch des Hohlraumes andererseits von der Topographie und durch den Ausbruch entstandenen Hohlraum sehr stark beeinflusst zu sein. Ein wesentlicher Faktor, der bei der Deutung der erhaltenen Meßergebnisse berücksichtigt werden muß, ist die Lage und Entfernung des Hohlraumes zur Oberfläche und der Vortriebsart.

Summary

In the course of the construction of the Ziller power plant stress measurements were carried out at the tunnel surface to allow for adequate dimensioning of the tunnel lining and selection of the appropriate grouting pressures. In the area of the Häusling pressure shaft and the Häusling power house shaft the orientation of the maximum principal stresses seems strongly determined by the regional restraints (cf. LIEGLER) and the existing cavity on the one hand and by the topographical conditions and the cavity on the other hand. A main factor to be taken into account in the interpretation of the results obtained from measuring is the cavity location in respect to and its distance from the ground surface and the method of tunneling applied.

1. Einleitung

Im Rahmen dieses Zillerkraftwerksbaues wurden auch im weiteren Triebwasserweg, dem Druckstollen des Bauloses Ofenwald, dem Druckschacht Häusling und im Schacht des Krafthauses während des Vortriebes Felsspannungsmessungen ausgeführt.

Diese Messungen dienten auch hier für die Bemessung der Stollen- und Schachtaus-

kleidung sowie der Injektionsdrücke. Nähere Informationen über die regionale geographische und geologische Lage der Kraftwerksgruppe, sowie eine genaue Beschreibung der Versuchsdurchführung sind aus der Arbeit „Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im NW-Bereich des zentralen Tauernfensters“ von K. LIEGLER zu entnehmen.

2. Geologische Beschreibung

Der Triebwasserweg des Bauloses Ofenwald und der Druckstollen des Bauloses Häusling hat wie erwartet zwei geologische Zonen aufgefahren. (Beilage 12). Im nördlichen Teil wurden Gesteine des *Ahornkernes*, die unter dem Sammelbegriff Zentralgneis bekannt sind, angetroffen. Im speziellen waren dies folgende Gesteine: Migmatite, Schollenmigmatite, feinkörnige Biotitgneise, Bändergneise, Augengneise und Zweiglimmergranitgneise. Stellenweise wurden diese Gesteine von Aplit- und Quarzgängen durchschlagen. Abgesehen von einzelnen cm-dicken Mylonitzonen, die teilweise konkordant aber auch diskordant verlaufen und vor allem in den Stollenabschnitten nördlich der Schieberkammer auftreten, zeichnet sich das Gebirge durch Klufarmut aus. Die Lagerungsverhältnisse der aufgefahrenen Gesteine weisen ebenfalls ein regelmäßiges mehr oder weniger W–E Streichen auf, wobei das Einfallen um die Vertikale pendelt. Es konnte also N- oder S-Fallen gemessen werden. Parallel zu den verstärkt auftretenden Mylonitzonen im nördlichsten Teil dieses Bauabschnittes konnten auch deutliche Wasserzutritte beobachtet werden. Die Größenordnung dieser Wasserzutritte reichte von Tropfwasser bis Wasserfäden, die gemessenen Wasserdrücke im schon ausgekleideten Stollen erreichten Werte bis 12 bar.

Die zweite geologische Zone, welche im südlichsten Teil des Bauloses aufgefahren wurde, beinhaltet Gesteine der *Schönachmulde*. Die Grenze zwischen diesen Einheiten wurde in der Flachstrecke des Druckstollens bei Baustation 174 m aufgefahren. Die Grenze selbst wurde durch ein markantes ca. 10 cm dickes konkordantes Mylonitband gebildet. In dem Stollenabschnitt, der die Schönachmulde verquert, war das Gestein ein heller feinkörnig bis mittelkörniger Gneis mit Feldspatleisten sowie Granat und Pyrit. Der teilweise sehr undeutlich geregelte Gneis streicht quer zum Stollen (W–E Streichen) und steht ebenfalls steil. Stellenweise sind in diesem Gneis Schieferbänder, Aplit und Quarzgänge eingeschaltet. In der Nähe der Grenze zum Ahornkern traten dann vereinzelt migmatische Einschaltungen auf.

Die Lagerungsverhältnisse entsprachen auch in diesem Anlagenteil – Druckschacht – den typischen regionalen Verhältnissen. Abgesehen von einzelnen cm-dicken Mylonitzonen, vor allem im Übergangsbereich Schönachmulde – Ahornkern, zeichnete sich dieser Stollen durch Klufarmut aus. Erst ab Baustation 910 m konnte eine größere Klufthäufigkeit beobachtet werden. Ab Baustation 970 m traten dann Klüfte mit 10 cm dicken durchbewegten Gesteinszonen und Mylonitlagen auf. Schalenförmige Ablösungen (Spaltrisse), die sehr häufig in gefrästen Stollen auftreten, konnten in dem Stollen nicht festgestellt werden.

Als geologische Besonderheit, die eine Umprojektierung des oberen Teiles des Triebwasserweges und des Wasserschlosses notwendig machte, war durch das Anfahren einer Sackungsmasse beim Vortrieb des Druckschachtes gegeben. Die bei den ersten Planungsarbeiten im Prinzip schon früher erkannte und beschriebene Hangbewegung im Bereich des Wasserschlosses wurde beim Auffahren des Druckschachtes Häusling in unerwartet tiefer Hanglage angetroffen.

Wasserzutritte in Form von Wasserfäden traten erst im Bereich der Sackungsmasse auf. Sonst waren über den gesamten Stollen nur vereinzelte Tropfwasserstellen zu beobachten.

2.1. Meßergebnisse

2.1.1. Konvergenzmessungen

Im Druckschacht Häusling wurden nur Konvergenzmessungen im Bereich des Ahornkernes durchgeführt, und zwar bei den Baustationen 267,1 m, 606,7 m, 707,5 m, 1244 m und 1287 m. Die dabei gemessenen Konvergenzen lagen im allgemeinen zwischen 0 und 2 mm.

An einer Stelle wurden noch mittels 3-fach Extensometer (0,5, 1,5 und 5,0 m) jeweils im Bereich zwischen Ulm und Sohle rechts und links Messungen zur Überprüfung der Felsverformung durchgeführt. Die dabei ermittelten Konvergenzen bzw. Divergenzen lagen im Zehntelmillimeterbereich.

Die in diesem Stollenabschnitt ermittelten Felsverformungsmessungen zeigen, daß durch den schonenden Vortrieb und den damit verbundenen langsamen Spannungsumlagerungen auch in einem Zeitraum bis 2 Jahre nach Stollenausbruch kaum registrierbare Konvergenzen auftraten. Diese Aussage wurde noch durch eine Bohrlochseismik erhärtet, mit Hilfe dieser Methode konnte eine stellenweise Auflockerung der Stollenlaibung nur bis 0,5 m Tiefe nachgewiesen werden.

2.1.2. Stempeldruckversuche

Um für die Dimensionierung der Panzerung in der unteren Flachstrecke und der Schrägstrecke des Druckschachtes Häusling die notwendigen Kennwerte des Gebirges zu erhalten, wurden an drei Stellen in-situ Versuche mit einer Lastplattenpresse durchgeführt. Diese Ergebnisse sollten auch eine Eichung der mit der Fräse ermittelten Verformungsmessungen, die beim Rücktransport der Fräse aus dem Stollen gewonnen wurden, herangezogen werden. Von geologischer Seite wurden dabei drei Bereiche mit sehr guten, mittleren und schlechten Gebirgseigenschaften ausgewählt. Es war dies bei der Baustation 105 m, 193 m und 302 m. An jeder dieser Stationen wurde zusätzlich noch ein Dauerlastversuch durchgeführt. Die Verformungen wurden über 3-fach Extensometer bis 3 m Tiefe gemessen.

Die im gesunden Zentralgneis gemessenen Werte ergaben im günstigsten Fall, das ist bei Station 105 m einen Verformungsmodul $V = 29\ 000\ \text{N/mm}^2$ und einen Elastizitätsmodul $E = 32\ 000\ \text{N/mm}^2$.

Wie erwartet lagen die schlechtesten Werte bei dem Meßquerschnitt 302 m mit einem Verformungsmodul $V = 1800\ \text{N/mm}^2$ und einem Elastizitätsmodul $E = 3000\ \text{N/mm}^2$.

2.1.3. Felsoberflächenspannungsmessungen

Diese Messungen wurden zur Erfassung des lokalen Felsspannungszustandes durchgeführt und sollten noch zusätzliche Informationen auf die zu wählende Auskleidung des Druckschachtes geben.

Die Messungen erfolgten in der unteren Flachstrecke des Druckschachtes im Bereich der Station 290 m an beiden Ulmen und im Bereich des unteren und oberen Knickpunktes bei der Station 451 m am linken Ulm und bei der Station 1165 m am rechten Ulm und in der Firste (Angabe in Fließrichtung). Die angewendete Meßmethode war die gleiche wie sie schon in dem Aufsatz von K. LIEGLER für den Druckstollen beschrieben wurde. Die graphische Auswertung und Auftragung der ermittelten Spannungen ist in Abb. 1 dargestellt.

Mit Hilfe der so erhaltenen Meßwerte wurden dann die Normalspannungen vertikal und horizontal berechnet. Diese ermittelten Spannungen können dann mit den tatsächlichen gemessenen Werten der Gebirgsüberlagerung (P_V PRIMÄR) verglichen werden. Es zeigt sich im Vergleich von P_V PRIMÄR mit den gerechneten Werten von P_V , daß $\lambda = \frac{P_V^H}{P_V}$ annähernd gleich 1 ist. Es herrscht demnach allseitig gleicher Druck vor, und der Spannungszustand ist drehsymmetrisch. Dieser Wert erscheint aufgrund der geologischen Gegebenheiten, vor allem vom Gefüge her (migmatischer Schollengneis, massiger regellos körniger Schönachmuldengneis), als durchaus glaubwürdig. Es wurde schon während der Projektierungsarbeiten ein Augenmerk darauf verwendet, daß die Lage des Stollens zur Oberfläche einerseits nicht zu seicht (Mittragen des Gebirges zur Aufnahme des Innendruckes während des Betriebes ist erforderlich), andererseits aber nicht zu tief im Berg liegt, sodaß zusätzliche Spannungen durch eine hohe Überlagerung und dadurch Schwierigkeiten beim Vortrieb und bei der Sicherung bzw. Auskleidung des Stollens auftreten. Sowohl die Erfahrung (s. Konvergenzmessungen) als auch die rechnerische und messende Überprüfung zeigen, daß die gewählte Tiefenlage des Druckstollens den gewünschten Vorstellungen Rechnung trägt.

3. Geologische Beschreibung des Krafthauschachtes Häusling (s. Abb. 2 und 3)

Das Krafthaus Häusling liegt zur Gänze in Gesteinen der Schönachmulde. Im vorliegenden Fall handelt es sich um einen hellen, feinkörnigen, kaum biotitführenden und stellenweise gefeldspateten, sehr häufig granatführenden Paragneis. Meist ist das Gestein massig ausgebildet. In einigen kurzen Abschnitten waren deutlich geschieferte Gesteinsbereiche erkennbar, doch laufen diese kurzen Abschnitte entweder im Streichen oder im Fallen aus. Die Schichten streichen generell WSW–ENE und fallen steil um die Vertikale pendelnd entweder nach NNW oder nach SSE ein, und sind von folgenden Klüften durchzogen:

- Mittelsteil nach WSW bis W fallende Klüfte, die teilweise eine schluffig sandige Füllung aufweisen.
- Flach nach SW bis SSW oder SE fallende, ebenfalls mit Schluffsand bis Mittelsand verfüllte Klüfte.
- Mittelsteil bis steil nach SSE fallende Klüfte, die nicht verfüllt sind. Diese gehen oft in NE–SW und E–W streichende meist mittelsteil nach NW bis N einfallende Klüfte über. Dann sind sie verfüllt und angewittert.

Im wesentlichen sind diese Gesteinsverhältnisse und Klüfte schon in der Prognose erwartet worden.

Aus geologischer Sicht sei noch darauf hingewiesen, daß der gesamte talseitige (zum Ziller hin) Schachtbereich einen höheren Zerlegungsgrad sowie Auswirkungen eines deutlichen Oberflächeneinflusses (angewitterte Klüfte, Verfüllung derselben, blockige Zerlegung des Gebirges) – bedingt durch den unmittelbar daran anschließenden Steil-

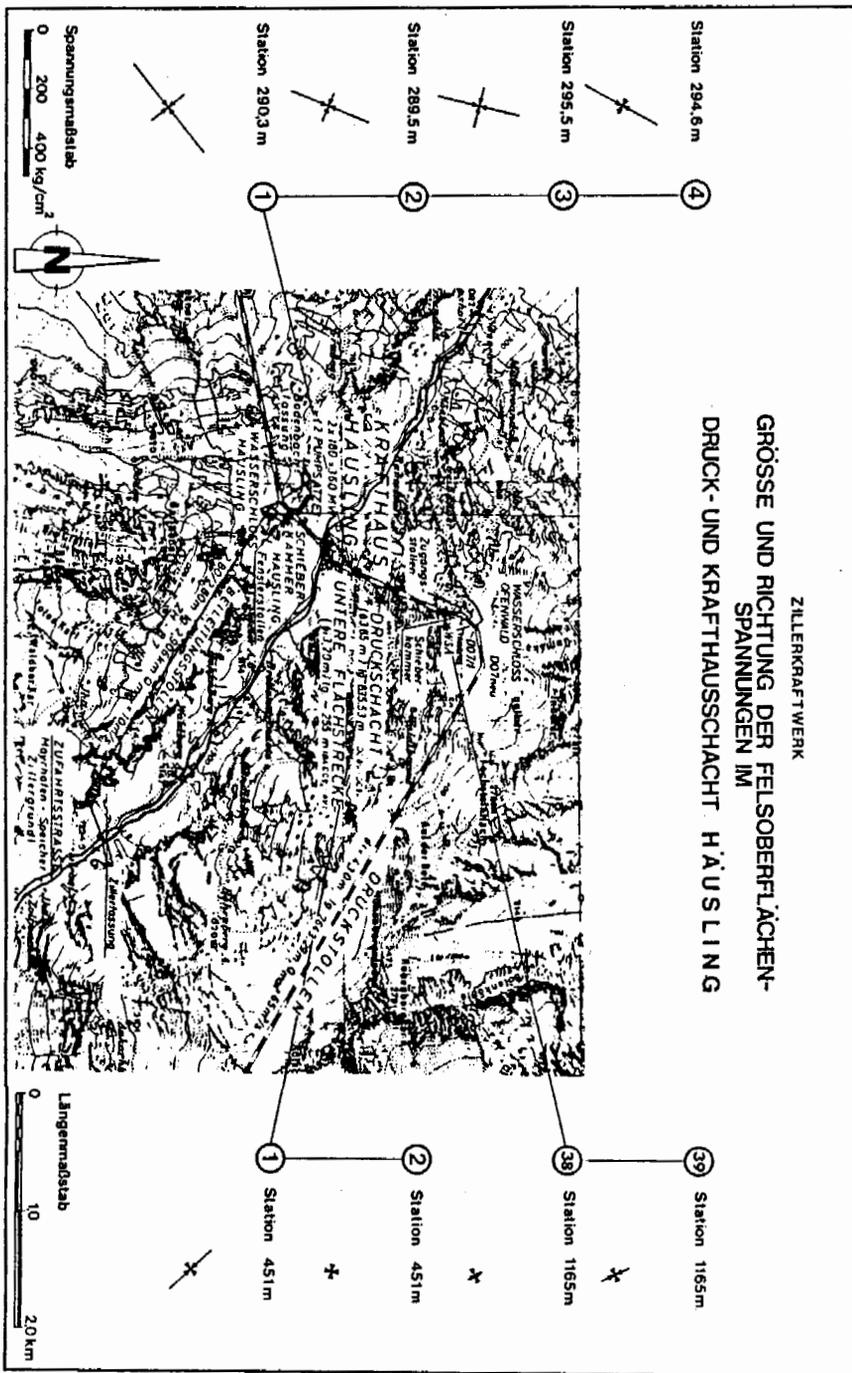


Abbildung 1

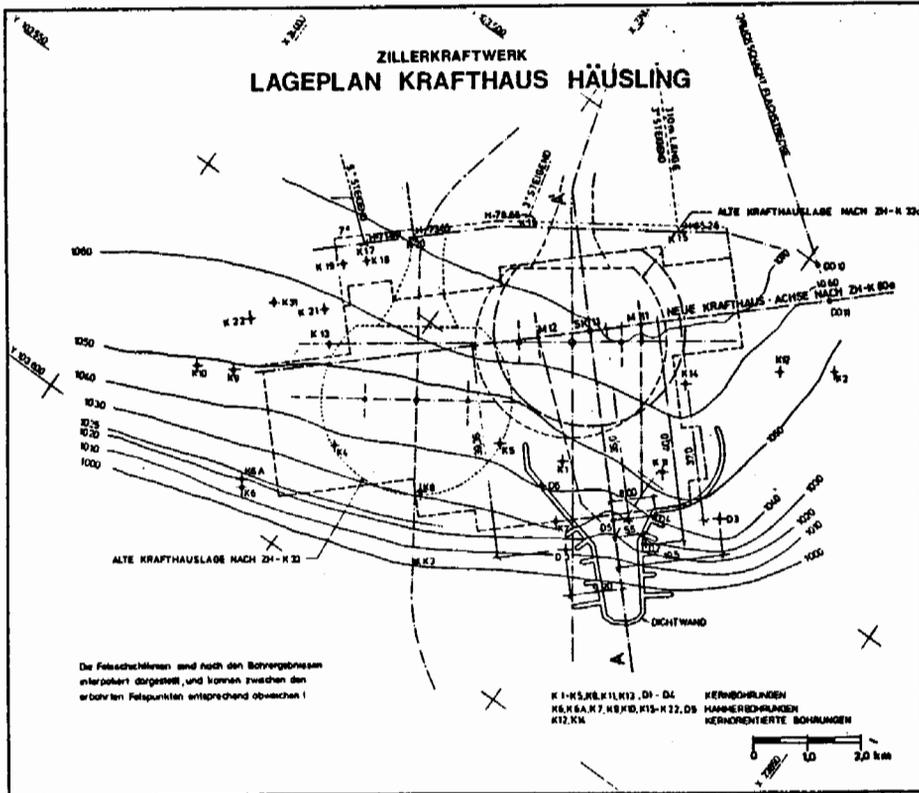


Abbildung 2

abfall zur Talmitte hin – ausweitet. In diesem Abschnitt waren und sind noch teilweise Wasserzutritte zu beobachten. Im Bereich des Krafthauschachtes waren hier, vor allem in dem zur Ziller nahe gelegenen Abschnitt, zahlreiche Wasserzutritte entlang von Klüften vorhanden. In Summe lagen diese Wassermengen während der Ausbruchsarbeiten knapp unter 10 l/s, wobei deutliche jahreszeitliche Schwankungen registriert werden konnten. Teilweise wurden die Wasserzutritte durch Zementinjektionen unterbunden. Um noch bessere Verhältnisse zu schaffen, wurden dann noch Hochdruckinjektionen aus einem Gemisch von modifiziertem Wasserglas und Kunstharz mit Bohrlochtiefen bis 2,5 m entlang der Schachtlauflinie, bei noch sichtbaren Wasserzutritten bzw. Tropfstellen ausgeführt.

Die vorangestellte geologische Beschreibung zeigt, daß aus baugelogischer und felsmechanischer Sicht durchaus befriedigende Verhältnisse für die Situierung des Krafthaus Häusling an der gewählten Stelle vorliegen.

Ergänzend zu der vorher beschriebenen und sehr kurz gehaltenen Darstellung der geologischen Verhältnisse im Krafthauschacht werden im folgenden zwei Beobachtungen etwas näher erläutert.

Die im untersten Teil des Krafthauschachtes auftretenden flach SW bis SSW oder SE fallenden Klüfte sind stellenweise bis 5 cm mit schluffigem Feinsand bis Mittel-

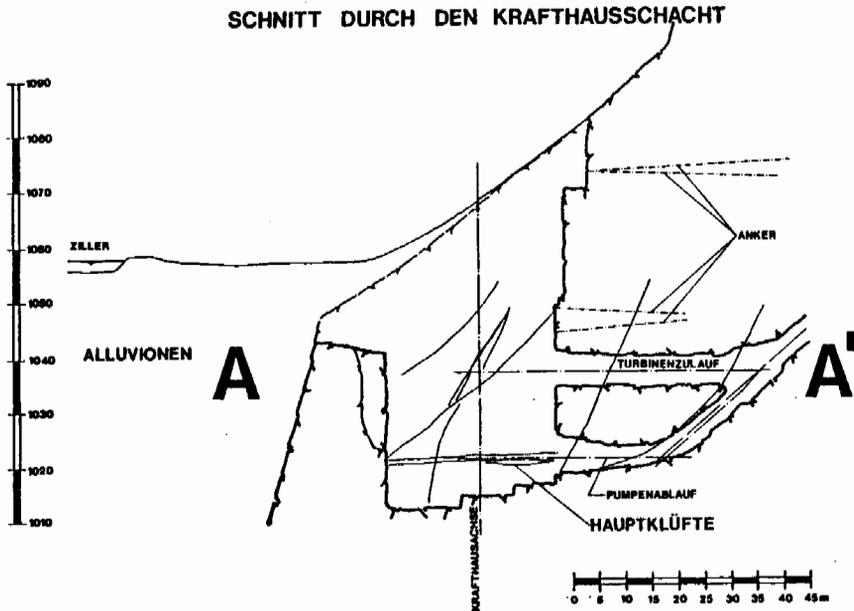


Abbildung 3

sand verfüllt und stark angewittert. Steilstehende, westfallende, kurze und glatte Klüfte zeigen an diesen flachen Großklüften eine Versetzung im Dezimeterbereich.

Besonders auffallend ist bei diesen flachen, den ganzen Schacht querenden Klüften, ihr regelmäßiges Fallen und Streichen sowie ihre glatte Ausbildung über längere Strecken, um dann auf kleinstem Raum eine starke Verbiegung mitzumachen. An einigen mehrere Meter langen Abschnitten konnten noch spitzwinkelig dazu stehende Kleinklüfte beobachtet werden. In Gemeinschaft dazu ist eine sehr starke tektonische Beanspruchung eines 20–50 cm breiten Gesteinspaketes, randlich der flachen Klüfte zu beobachten, wobei diese messerscharfen Großklüfte in Zerrüttungszonen, die auch Mylonite beinhalten, übergehen. Diese flachen Klüfte mit Zerrüttungstreifen wurden schon seinerzeit bei den Sondierbohrungen, jedoch in talmtittiger Lage und mit höchstens 1 cm starker Feinsandfüllung, beobachtet.

Von der Genese her handelt es sich bei diesen Klüften um Entspannungsklüfte (Rückzug des Gletschers und daher Wegfallen einer zusätzlichen Auflast), die möglicherweise bei einem neuerlichen Vorstoß des Eises geöffnet (der Kraftausschacht liegt inmitten einer zum Tal vorstoßenden Felsrippe, die eine Verengungsstelle bildet und daher Angriffspunkt für das vorstoßende Eis ist) und gleichzeitig mit schluffigen Feinsand bis Mittelsand verfüllt wurden.

Während der Ausbruchsarbeiten wurden Proben von dem Verfüllungsmaterial entnommen. Diese wurden an der Geologischen Bundesanstalt in Wien auf Pollen untersucht um eine altersmäßige Einstufung des Verfüllungsvorganges zu ermöglichen. Leider waren die entnommenen Proben steril. Trotzdem sollte der Zeitpunkt der Verfüllung, zumindest nach der dargelegten Hypothese, während der letzten Vereisung in diesem Gebiet liegen.

Zu Beginn der Ausbruchsarbeiten des Kraftausschachtes im Bereich des Randbal-

kens wurden schalenförmige Gesteins-Ablösungen an der Rückwand des Schachtes (ca. Kote 1049 m) beobachtet, die quer zur hier recht unausgeprägten und undeutlichen Schieferung im kluftlosen Fels verlaufen. Die Neigung dieser Bruchflächen lag bei 50 bis 60 Grad zum geschaffenen Hohlraum hin. Es handelt sich dabei um Entspannungs- und Umlagerungserscheinungen. Die darauf unmittelbar durchgeführten Spannungsmessungen in noch relativ ungestörten Bereichen ergaben relativ hohe Spannungswerte.

3.1. Meßergebnisse

Zur Überwachung der Krafthausrückwand und des Krafthausschachtes wurden zahlreiche Meßeinrichtungen installiert. Es wurden Reißspione, Extensometer, Distometer, Lotmeßstellen und Konvergenzmeßstrecken installiert. Die dabei gemessenen Konvergenzen lagen im allgemeinen zwischen 0,4 u. 5,7 mm. Die gemessenen Höchstverformungen bei den Extensometern lagen bei 7 mm. Die Lotmessungen im Zusammenhang mit den Extensometermessungen zeigten eine talwärtige Verschiebung des gesamten Schachtes oberhalb des horizontalen Kluftsystemes auf Kote 1021 m. Es dürfte sich dabei um maximale Werte bis 7 mm handeln. Diese talwärtige Verschiebung des gesamten Schachtes brachte eine erhebliche Verminderung der Belastung durch den Primärspannungszustand und macht die merkbare Entspannung am Schachttrand erklärbar. Abgesehen von jahreszeitlichen Schwankungen in der Größenordnung von 1 mm der Verformungen sind im Krafthausschacht zwei Jahre nach dem Ausbruch konstante Verhältnisse eingetreten.

3.1.1. Felsoberflächenspannungsmessungen

Diese Messungen wurden ebenfalls im Krafthausschacht, in den Turbinen- und Pumpenzuleitungsstollen zur Erfassung des lokalen Felsspannungszustandes durchgeführt und sollten zusätzlich zu den laufenden Messungen Auskunft über die zu wählenden Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen geben.

Die Messungen erfolgten einerseits unmittelbar nach den Ausbruchsarbeiten, andererseits nach Einbringung der Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen und nach den deutlich ausklingenden Deformationen des Gebirges in Schachtnähe. Die graphische Auswertung und Auftragung der ermittelten Spannungen ist in Abb. 4 dargestellt.

Eine Abschätzung des Primärspannungszustandes nach KOHLBECK-SCHIEDERGER-STURGUL ergab je nach Tiefenannahme des Anfanges der plastischen Zone, oberflächenparallele Spannungen in der Größe zwischen 18 und 24 N/mm².

Unter Berücksichtigung der Oberflächeneinflüsse (Verwitterung, Entspannungsklüfte u. a.), erscheint daher ein ungestörter Primärspannungszustand von max. 6 N/mm² in Höhe des Schachttrandes, als durchaus wahrscheinlich.

Im Turbinenzuleitungsstollen wurde eine mittelsteil talwärts einfallende verfüllte Kluft angetroffen. Auf Grund ihrer konstruktiv ermittelten und auch vorgefundenen Lage in der Schachtsohle sowie einer damit in Zusammenhang stehenden steilen Kluft, abgesetzten Bankungsfugen bzw. der Schieferung wurden die Spannungsmessungen im Niveau der Turbinenleitung und im Niveau der Pumpenzuleitung wiederholt. Auch hier konnten höhere Spannungen nachgewiesen werden, ohne jedoch

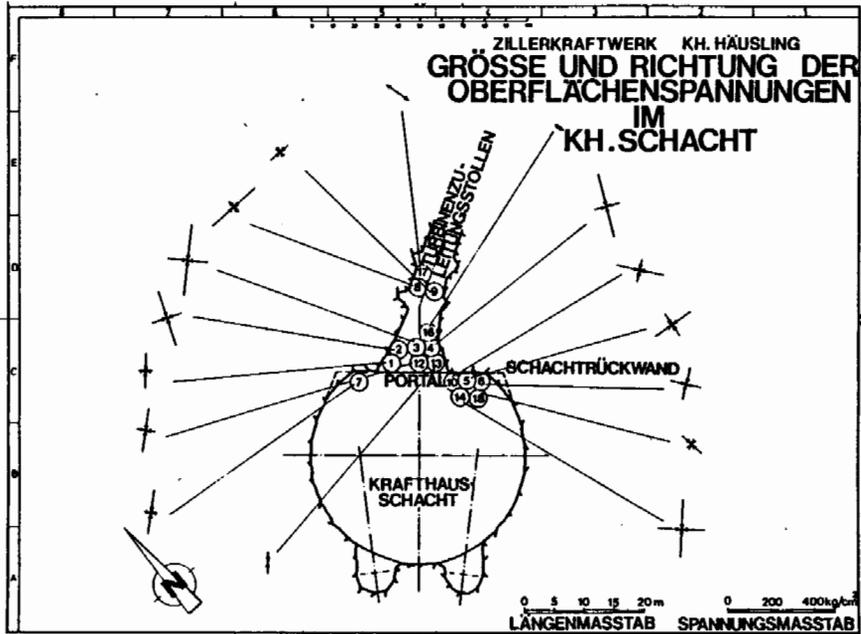


Abbildung 4

sichtbare Veränderungen an dem dort anstehenden Schönachgneis zu bemerken. Mit der Überbohrmethode wurden Spannungen zwischen $7,7$ und $10,9 \text{ N/mm}^2$ ermittelt.

Dieser mittels Seilanker gesicherte Felskeil wurde während der Aushubarbeiten in der talwärts fallenden Kluft in beiden Zuleitungsstollen sowie an der Krafthausrückwand mittels Extensometer, messend überwacht.

4. Schlußfolgerungen

Die in den Abb. 1 und 4 dargestellten Hauptnormalspannungen schwanken sowohl in ihrer Orientierung als auch in ihrer Größe. Während die auf Abb. 1 dargestellten Meßprofile 1–4 in das von K. LIEGLER nachgewiesene regionale Schema der Orientierung der größten Hauptnormalspannungen in NNE–SSW Ausrichtung als Indiz der aktiven tektonischen Einspannung gedeutet werden kann, trifft das bei den anderen Meßstellen nicht zu. Bei genauer Betrachtung und unter Berücksichtigung der verschiedenen Meßzeitpunkte und der verschiedenen topographischen Lage der einzelnen Meßstellen, sowie der Art des Vortriebes des geschaffenen Hohlraumes erscheint das als durchaus glaubwürdig.

- Meßstellen die relativ weit von der Oberfläche und von der Übertiefung des Tales entfernt sind im mechanischen Ausbruchquerschnitt liegen und kurz nach dem Ausbruch gemessen wurden, zeigen noch die regionale Spannungsorientierung und -größe (Abb. 1, Meßstelle 1–4, Stat. 290,3; Stat. 289,5; Stat. 295,5 und Stat. 294,6 m).

- Meßstellen die ebenfalls relativ weit von der Oberfläche und von der Übertiefung des Tales entfernt sind, an denen jedoch zu einem viel späteren Zeitpunkt in bezug auf den maschinellen Stollenvortrieb gemessen wurden, zeigen schon den Einfluß des geschaffenen Hohlraumes. Es ist ein Abklingen der Größe der Spannungen zu beobachten, ebenso ist die Orientierung der Hauptnormalspannung in Abhängigkeit zum Hohlraum ersichtlich (Abb. 1, Meßstelle 1–2; Station 451 m und Meßstelle 38–39).
- Meßstellen, die im Einflußbereich der unteren Abschnitte der steilen Talflanken liegen und unmittelbar nach dem konventionellen Ausbruch gemessen wurden, zeigen schon die Orientierung in Abhängigkeit zum geschaffenen Hohlraum, die gemessene Größe der Hauptnormalspannung ist jedoch annähernd gleich der ermittelten regionalen Spannungswerte (Abb. 4, Meßstelle 1, 3, 4).
- Meßstellen, die im Einflußbereich der unteren Abschnitte der steilen Talflanken liegen und lange nach dem konventionellen Ausbruch gemessen wurden, zeigen ebenfalls eine Orientierung nach dem geschaffenen Hohlraum, ein deutlicher Spannungsabbau (Umlagerung) ist zu registrieren (Abb. 4; Meßstelle 13, 16, 17, 18 . . .)

Die zum Zwecke der Abschätzung der Dimensionierung der Stollenauskleidung und der Injektionsdrucke gemachten Oberflächenspannungsmessungen zeigen, daß die Höhe und Richtung der im Gebirge angetroffenen Spannungen sowohl von dem regionalgeologischen Bauplan als auch von der örtlichen topographischen Lage der Meßstelle, dem Zeitpunkt der Messung und der Art des Stollenausbruches wesentlich abhängig sind, und daher bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen.

Literatur

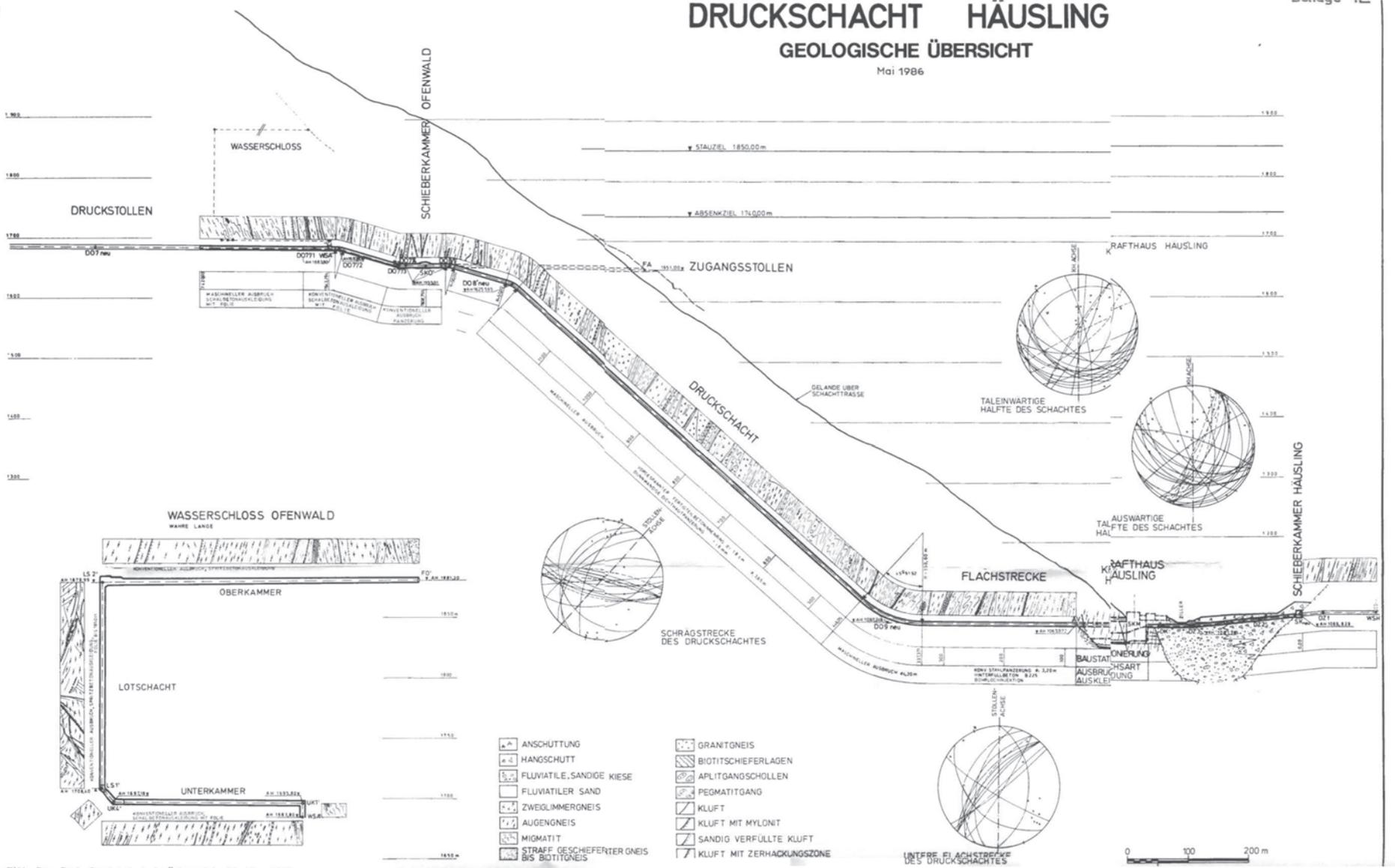
LIEGLER, K.: Siehe LIEGLER, in diesem Band
Diverse Aktenvermerke der Tauernkraftwerke AG von Dipl.-Ing. OBERLEITNER,
Dipl.-Ing. WALLISCH und H. HALBMAYER

Manuskript eingelangt am 21. Juli 1986
angenommen am 23. Juli 1986

DRUCKSCHACHT HÄUSLING

GEOLOGISCHE ÜBERSICHT

Mai 1986



Die Frässtollen Wölla-, Draßnitz- und Lamnitzbach

Betrachtungen zur Standzeit

von

H. LITSCHER

mit 8 Abbildungen

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. Litscher
Kärntner Elektrizitäts-AG
Arnulfplatz 2
A-9020 Klagenfurt

Inhalt

1. Kurzfassung, Abstract	146
2. Einleitung und Problemstellung	146
2.1. Technische Daten	148
2.2. Geologische Übersicht	148
3. Geologische Beobachtungen in den Stollen	148
3.1. Der Wöllastollen	148
3.2. Die Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung	152
4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	156
5. Literaturverzeichnis	157

1. Kurzfassung

In der vorgelegten Arbeit wird auf die Stollenbauten im Bereich der Kraftwerksgruppe Fragant der Kärntner Elektrizitäts-AG hingewiesen. Weiters erfolgt eine Auswertung der geologischen und geotechnischen Daten im Wöllastollen (Kreuzeckgruppe) und die Anwendung der Ergebnisse beim Vortrieb der Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung. Es wird versucht, die üblichen Gebirgsklassifizierungen vor Ort durch zusätzliche Sicherungsarbeiten im Vortriebsbereich zu erweitern, um meist später auftretende Nachbrüche aus der Stollenleibung zu vermindern oder zur Gänze zu verhindern.

Abstract

The work presented deals with acit structures in the area of the Kaerntner Elektrizitaets AG's Fragant power plants. Furthermore, an evaluation of geological and geotechnical data from the Wölla adit (Kreuzeckregion) and application of the results by the propulston of the Draßnitz-Lamnitz water ways are given. We try to extend the vonventional rock mass classifications by additional safety measures in situ while advancing in order to reduce or totally prevent retarded break-ups.

2. Einleitung und Problemstellung

Die erste Ausbautappe der Kraftwerksgruppe Fragant der Kärntner Elektrizitäts-AG begann im Jahre 1963 mit der Errichtung des Kraftwerkes Gössnitz an der Möll. In weiterer Folge wurden die Hauptstufe mit den Kraftwerken Innerfragant und Außerfragant sowie die Stufe Zirknitz errichtet. Die dazugehörenden Speicherräume mit dem Oscheniksee, Wurten-, Hochwurten-, Großsee und dem Speicher Zirmsee, die Verbindungsstollen und zwei kleinere Kraftwerkstufen im Fleiß- und Zirknitztal sind nunmehr fertiggestellt. Alle Bauwerke liegen im Bereich Obervellach-Heiligenblut, nördlich des Mölltales, im Gebiet der Sonnblickgruppe.

Da die für die Wasserkraftnutzung notwendige Erschließung dieses Arealis zum größten Teil abgeschlossen ist, hat die Kärntner Elektrizitäts-AG ihre Ausbautätigkeit auch auf die Südseite des Mölltales, in die Kreuzeckgruppe, verlegt (Abb. 1 – Lageplan).

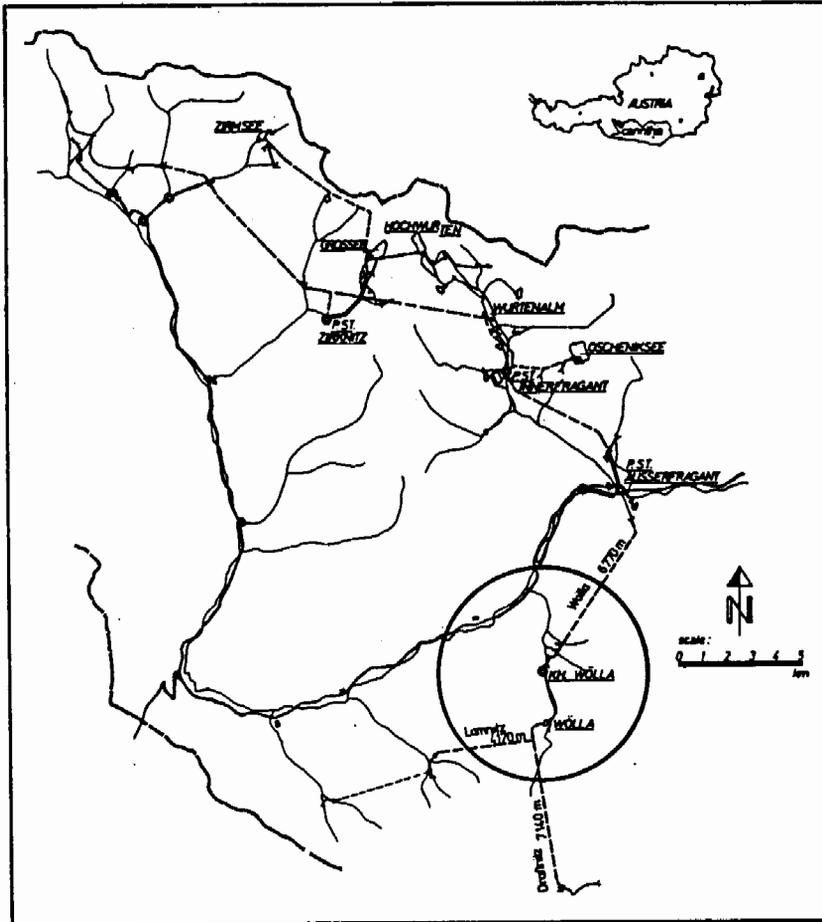


Abb. 1: Lageplan der Kraftwerksgruppe Fragant, der Kärntner Elektrizitäts-AG. Hervorgehoben ist die Kraftwerksstufe Wöllä.

Die östlichen und südlichen Bereiche der Kreuzeckgruppe, südlich des Teuchlgrabens im Raum Napplach–Kolbnitz–Greifenburg, werden schon von den Österreichischen Draukraftwerken durch die Kraftwerksstufe Kreuzeck genutzt. Die Seitentäler der Teuchl, das Wöllä-, Draßnitz- und das Lamnitztal, wurden nunmehr von der Kärntner Elektrizitäts-AG energiewirtschaftlich erschlossen. Die Überleitungsstollen in einer Gesamtlänge von über 18 km wurden mit einer Stollenfräse, Querschnitt ca. 10 m², in den Jahren 1981–1984 aufgeföhren. In diesem Zeitraum wurden auch die geologischen Stollendokumentationen durchgeführt und nachfolgend geologisch interessante Abschnitte häufig begangen, so daß nunmehr Beobachtungsdaten vorliegen, die im besonderen auf nachträgliche Verformungs- und Spannungsäußerungen in der Stollenleibung ausgerichtet war. Es konnte auch die Möglichkeit für eine sofortige Behebung auftretender Schäden ergriffen und damit deren Begrenzung erzielt werden.

2.1. Technische Daten

In den Jahren 1981/82 wurde der 6770 m lange Wöllastollen aufgefahren. Im Anschluß daran erfolgte bis 1984 der Vortrieb des 7140 m langen Draßnitzstollens mit dem 4170 m langen Lamnitzstollen, der bei Station 750 in den Draßnitzstollen einmündet. Durch die Beileitungsstollen wurde die energiewirtschaftliche Nutzung der Wässer aus dem 1200 m SH Horizont und 1550 m SH Horizont möglich. Im neu errichteten Krafthaus Wölla wird das Wasserdargebot des Draßnitz- und Lamnitzniveaus abgearbeitet; das Unterwasser fließt durch den Wöllastollen dem Kraftwerk Außerfragant direkt zu oder kann nach Innerfragant verlagert bzw. in den Oscheniksee gepumpt werden.

2.2. Geologische Übersicht

Für die geologische Stollengruppe standen Aufnahmen von H. BECK (1928–1939), Ch. EXNER (1956), eine fotogeologische Karte von H.F. HOLZER (1958) und strukturgeologische Kartierungen von E. R. OXBURGH (1966) zur Verfügung. Weiters lag eine generelle geologische Stollenprognose von G. RIEDMÜLLER (1977–1980) für die Wöllabachbeileitung und von H. LITSCHER (1982) für die Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung vor.

Der Gesteinsaufbau der Kreuzeckgruppe setzt sich hauptsächlich aus Glimmerschiefern (selten granat- oder hornblendeführend) zusammen. Auch Phyllite und quarzitische Gesteine sind weit verbreitet. Untergeordnet sind in diese monotonen Schiefererien Eklogit-Amphibolitbänder und schmale Marmorlinsen eingelagert. Granodiorite (Ch. EXNER, 1956) und Porphyritgänge sind ebenfalls im Bereich des Wöllatales und der Gipfelregion des Hochkreuz (2708 m) bekannt.

Der beschriebene Gesteinsverband bildet eine großräumige Antiklinale mit einer NW–SE gerichteten Faltenachse.

Die Tektonik wird beeinflußt durch die im Norden durchziehende Mölltalstörung und im Süden durch die Drautalstörung. Parallel zu diesen großen Bruchlinien liegen im Streichen der Kammrichtung (E–W) mehrere Störungsblätter, die als breite Mylonitzone oder stark phyllonitisierte Horizonte auftreten. Störungen in (ac) sind die Ursache zur Bildung der N–S gerichteten Talfurchen des Wölla-, Lamnitz- und Draßnitztales.

Die Morphologie des Gebietes ist durch eiszeitliche Formen geprägt. Charakteristisch ist auch die tiefgreifende Verwitterung, wobei aber der textuelle Habitus des Gesteins sehr oft erhalten geblieben ist (H. LITSCHER, 1979). Moränenbedeckte Flächen sind vorhanden.

3. Geologische Beobachtungen in den Stollen

3.1. Der Wöllastollen

Die wichtigste Ausschreibungsunterlage für den Wöllastollen war die geologische Aufnahme von G. RIEDMÜLLER (1980), in der bereits auf die zu erwartenden Verformungen in der aufgefahrenen Stollenröhre hingewiesen wird. Viele Details, die in

dieser Aufnahme beschrieben wurden, haben sich in späterer Folge im Vortrieb bestätigt.

Die vorgesehene Nutzung der Stollen als Speicher setzt eine Trassenführung in Gesteinen voraus, die eine möglichst geringe Klüftigkeit und dichte Lagerung aufweisen. Die Beanspruchung durch den Wasserdruck von 1,0 – 1,5 bar mußte gehalten werden. Üblicherweise werden derartige Stollen mit Beton ausgekleidet. Im Falle der Wölla- und Draßnitzbachbeileitung war aber diese Auskleidung nicht vorgesehen, daher war eine genaue geologische Stollendokumentation erforderlich, um jene Strecken abzugrenzen, die aufgrund ihrer gebirgsmechanischen Verhältnisse zu Nachbrüchen neigen oder Durchlässigkeiten erwarten lassen. Diese Zonen mußten abgedichtet werden. Der so nur teilweise erforderliche Stollenausbau stellt eine große finanzielle Ersparnis dar. Zusätzlich wurde auch die Anfälligkeit der Stollenleibung gegen Nachbrüche, deren Ursache im weiteren untersucht wird, vermindert.

Gebirgsveränderungen, die während und nach dem Vortrieb auftreten können, sind Schollenabplatzungen in den zähen, sehr schwer fräsbaren, kompakten Amphibolit- und Hornblendeschiefern. Diese Gesteinseinheiten sind im Profilschnitt (Stollenband) meist scharf abgegrenzt. Die Gebirgsentlastung erfolgt meist in Form von Bergschlägen, ein Hinweis auf die hohe Primärspannung im Gebirge (FETTWEIS, 1985) und für die Vortriebsarbeiten eine schwere Behinderung.

In den Glimmerschiefern und glimmerreichen Grob- und Feinkorngneisen ist aufgrund der hohen Teilbeweglichkeit innerhalb des Mineralverbandes der Spannungsabbau zum Ausbruchshohlraum langsamer abgelaufen. Meistens sind es kleine zusammenhängende Gesteinspakete, die durch feine Klüfte durchtrennt, aus der Stollenleibung herausgehoben werden.

Weiters werden Nachbrüche auch durch das Auftreten von Störungen beeinflusst. Dem passiven Gesteinsfall aus den Störungszonen und ihren aufgelockerten Randbereiche stehen tektonisch bedingte Spannungsumlagerungen gegenüber. Es können auch schmalere Gesteinspakete in rascher Wechselfolge beide Formen der Gebirgsspannung zeigen.

Im Falle des Wöllastollens sind die Nachbrüche (Bergschläge) vorwiegend in Verbindung mit tektonischen Spannungen im Einflußbereich der Mölltalstörung aufgetreten, aber auch die hohe Überlagerung (Primärspannung) und die Ausbildung von Restspannungen durch den Vortrieb sind Ursachen. Da es sich meistens um eine typische Erscheinungsform von Spaltbrüchen in den kompakten Gesteinspartien handelt und es leider aufgrund des raschen Vortriebs und der beengten räumlichen Verhältnisse keine Möglichkeit zur Installation von Meßeinrichtungen gab, erfolgte die Beurteilung des Gebirgszustandes aus der Erfahrung und der Sachkenntnis des Beurteilenden. In den plastisch verformbaren Partien, die in ihrer Endphase zur Ausbildung von Schubbrüchen neigen, ist die Beobachtung allein für die Interpretation zielführend (FEDER, 1985).

Es konnten folgende drei Grundtypen der Gebirgsspannung festgestellt werden:

1. Seichte oberflächennahe Abplatzungen in Amphiboliten und Hornblendegneisen, die auf den Beginn von Spaltbruchbildung aufgrund des hohen Überlagerungsdruckes (P_v) zurückzuführen sind (Abb. 2).
2. Starke Spaltbruchbildung in den Ulmen und im Kämpfer, mit großflächigen schalenförmigen Gesteinsablösungen in Amphiboliten, Hornblendegneisen und Quarzitischen Gneisen (Abb. 3). Die Ursache für diese Spannungsäußerung ist ebenfalls auf den hohen Überlagerungsdruck zurückzuführen. Die starke Gebirgszerlegung



Abb. 2:
Seichte Abplatzungen im Amphibolit. Wöllabachbeileitung – Station 1200 m.



Abb. 3:
Spaltbruchbildungen im Zusammenwirken von Scherbrüchen in Ulme und Kämpfer in Quarzitischen Gneisen des Wöllastollens. Die abgeworfenen Gesteinspakete erreichen oft eine Größenordnung von über 1 m^3 .

ist durch das Zusammenwirken von Spaltbruchbildungen und Scherbrüchen zu erklären.

3. In den „weicheren“ Gesteinstypen wie z. B. Phylliten und Glimmerschiefern machen sich der Primärdruck und die Spannungsumlagerungen vorerst als Verformungen in der Stollenleibung bemerkbar. Bei weiterem Fortschreiten kommt es zu kleineren Schubbrüchen aus Ulme und Firste (Abb. 4).

Da die aufgetretenen Schäden zu einer starken Behinderung des weiteren Vortriebes führten und nicht mehr durch die Gebirgsklassifikation vor Ort erfaßt wer-

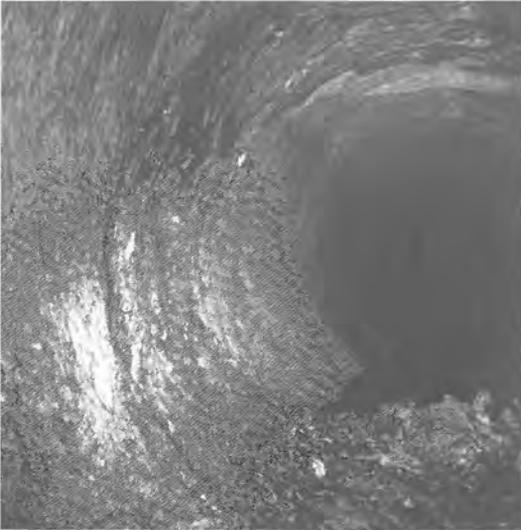


Abb. 4:
Ausbildung von kleineren Schubbrüchen in Glimmerschiefern und Phylliten im Wöllastollen.

den konnten (RIENÖSSL, 1979; PIRCHER, 1980), wurden Überlegungen angestellt, um dieses Problem in den Griff zu bekommen. Die geologischen Verhältnisse im Vortrieb und die Ausführbarkeit der entsprechenden Sicherungsarbeiten sollten die Basis dafür bilden.

Die geringste Vortriebsbehinderung wird durch das Setzen von Felsankern verursacht. Man hat sich daher zu dieser Maßnahme entschlossen und entsprechend den Erfahrungen bei Bergschlägen unverpreßte Felsanker gesetzt. In den harten und kompakten Gesteinen ist auch ein Erfolg rasch eingetreten. In den verformbaren Gebirgstypen hat sich das Einbringen einer Spritzbetonhaut in Verbindung mit einem weit gestreuten Ankernetz als zielführend herausgestellt.

Nach entsprechender Sicherung, die noch während des Vortriebes durchgeführt wurde, konnte der Stollen im Jahre 1982 in Betrieb genommen werden. Um die nachhaltigen Veränderungen in der Stollenleibung an einem Beispiel zu erläutern, werden nachfolgend einige Stollenstrecken die in der Gebirgsgüteklasse I aufgeföhren wurden und einer späteren Nachsicherung bedurften, beschrieben. Aus dem zeitlichen Ablauf dieser Nachsicherungen ist die Beruhigung des Gebirges abzulesen.

Begehungsdatum:

12.01.1982	21.10.1982	13.08.1983
Station	Station	Station (1. Revision)
680–685	675–683	–
Risse im Amphibolit	5 Anker	–
Spritzbeton 7–10 cm	rechter Ulm	–
1019 Gneis	1010–1021 Risse	–
Risse, mehrere Anker	4 Anker, 20 m ² Spritzbeton	–
1895–1920 Amphibolit	1890–1905 Risse	–
mehrere Anker, Spritzbeton	mit Sickamörtel verschlossen	–
2259 Amphibolit, 3 Anker	2250–2260, 4 Anker –	2230–2260
im rechten Ulm	rechter Ulm	Nachankerung

Die in Glimmerschiefern und Phylliten aufgefahrenen Strecken konnten durch rasch durchgeführte Nachsicherungen beruhigt werden.

Aus den vorerwähnten Beispielen ist zu entnehmen, daß die erwartete stete Abnahme der Spannungumlagerungen eingetreten ist.

Die Überprüfung des Wöllastollens im Zuge der Revision in den Jahren 1984/85 zeigte weiters auf, daß getroffene Maßnahmen richtig waren. In den nachträglich sanierten Streckenabschnitten wurden nur mehr vereinzelt kleinere Risse im aufgetragten Spritzbeton und seltener abgerissene Anker vorgefunden. Ob die Anker durch Überbelastung, hervorgerufen durch den Gebirgsdruck oder durch zu straffes Spannen zum Bruch gekommen sind, war zum Zeitpunkt der Revision nicht feststellbar, da auch keine größeren Gesteinsplatten aus der Stollenleibung mitausgebrochen sind. Es kann daher angenommen werden, daß ein weiterer Druckaufbau durch das Einbringen der Felsanker gestoppt werden konnte.

3.2. Die Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung



Abb. 5: Stollenanschlag der Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung im oberen Wöllatal.

Ausgehend von den im Vortrieb des Wöllastollens gemachten Erfahrungen, daß bestimmte Gesteinstypen unter bestimmten Gefügeverhältnissen erst nach längerer Öffnungszeit zu reagieren beginnen, setzte die geologische – tektonische Erkundung der Beileitungstrassen des Draßnitz- und Lamnitzbachstollens ein. In den Jahren 1982 und 1983 wurde eine geologische Kartierung im Maßstab 1:10.000 entlang der geplanten Stollentrasse durchgeführt und Gesteinsproben entnommen (Abb. 6).

Gesteinseinheiten und tektonische Verhältnisse (Störungs- und Kluftgefüge) wurden kartenmäßig dargestellt (Abb. 6). Einen wesentlichen Gesichtspunkt bildeten die im Stollen zu erwartenden Verformbarkeiten der verschiedenen Gebirgstypen. Aus



Abb. 6: Geologisch-tektonische Karte – Beileitung Draßnitzbach (Ausschnitt im Bereich der Stollenstationierung km 4 – km 5).

den Erfahrungen im Wöllastollen waren vorwiegend Spaltbrüche in den Amphiboliten, hornblendeführenden Quarzitischen Gneisen und Schubbrüche in den Phylliten und Glimmerschiefern zu erwarten.

Die Stollenterrassen der Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung liegen in unterschiedlich aufgebauten Gesteinskomplexen des Mittelostalpinen Altkristallins der Kreuzeckgruppe (A. TOLLMANN, 1977) und können so petrographisch mit der ebenfalls im Mittelostalpin liegenden Trasse des Wöllastollen verglichen werden, jedoch ist der An-

teil an Amphiboliten und quarzitischen Gesteinen im Wöllastollen etwas geringer. Grundsätzlich sind folgende Gesteinsarten zu unterscheiden:

1. Schiefergneise, Glimmerschiefer und Phyllite (Chloritphyllite)
2. Amphibolite, Eklogitamphibolite, Hornblendegneise
3. untergeordnet Kalksilikatschiefer und Marmore
4. untergeordnet Granodiorit, Porphyrit
5. in Störungen tektonische Breccien, Phyllonite, Mylonite.

Die Bewertung des Gebirges nach seinen gebirgstechologischen Parametern erfolgt ausschließlich im Hinblick auf den geplanten Fräsvortrieb und auf die Möglichkeit, unmittelbar hinter dem Vortrieb schon entsprechende Sicherungen zu setzen, um den unangenehmen Nachbrüchen, wie sie im Wöllastollen aufgetreten sind, zuvorzukommen. Da die Stollentrasse so gelegt wurde, daß man möglichst senkrecht auf die Streichrichtung des Gebirges vortreiben konnte, war eine klare Abgrenzung der Gesteinszüge in bezug auf die Stollentrasse möglich. Für den Fräsvortrieb schwierige petrologische Verhältnisse und s-Flächenlagen (horizontale Lagerung) und dem Einflußbereich tektonischer Linien konnte durch geschickte Trassenwahl in mehreren Fällen ausgewichen werden. Auch die s-Flächenausbildung (gewellt, ebenflächig etc.) im einzelnen sowie die Beschaffenheit des Gefügeverbandes lassen auf vorhandene Spannungen im Gebirge schließen (Abb. 7).

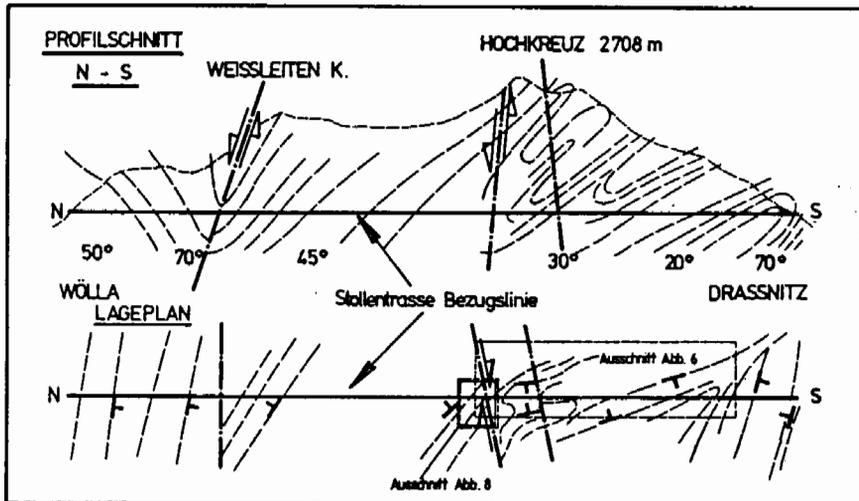


Abb. 7: Schematische Darstellung der s-Flächenlagen und tektonischen Hauptlinien im Verlauf der Stollentrasse. In den Bereichen mit härteren oder zäheren Gesteinen (Quarzite, Amphibolite) ist ein flächiges Gefüge festzustellen, in den weicheren Gesteinen (Phyllite, Glimmerschiefer etc.) ist deutlich die plastische Verformung des Gebirges zu erkennen.

Im Verlauf der Draßnitzbachbeileitung treten zwei dominierende Störungsbahnen nördlich und südlich des Hochkreuzes auf; die nördliche wird durch eine Querstörung um ca. 100 m nach Nordost versetzt.

Die tektonischen Verhältnisse in Verbindung mit dem Flächengefüge und Gesteinsaufbau gaben einen Hinweis auf die zu erwartenden Spannungsumlagerungen in der

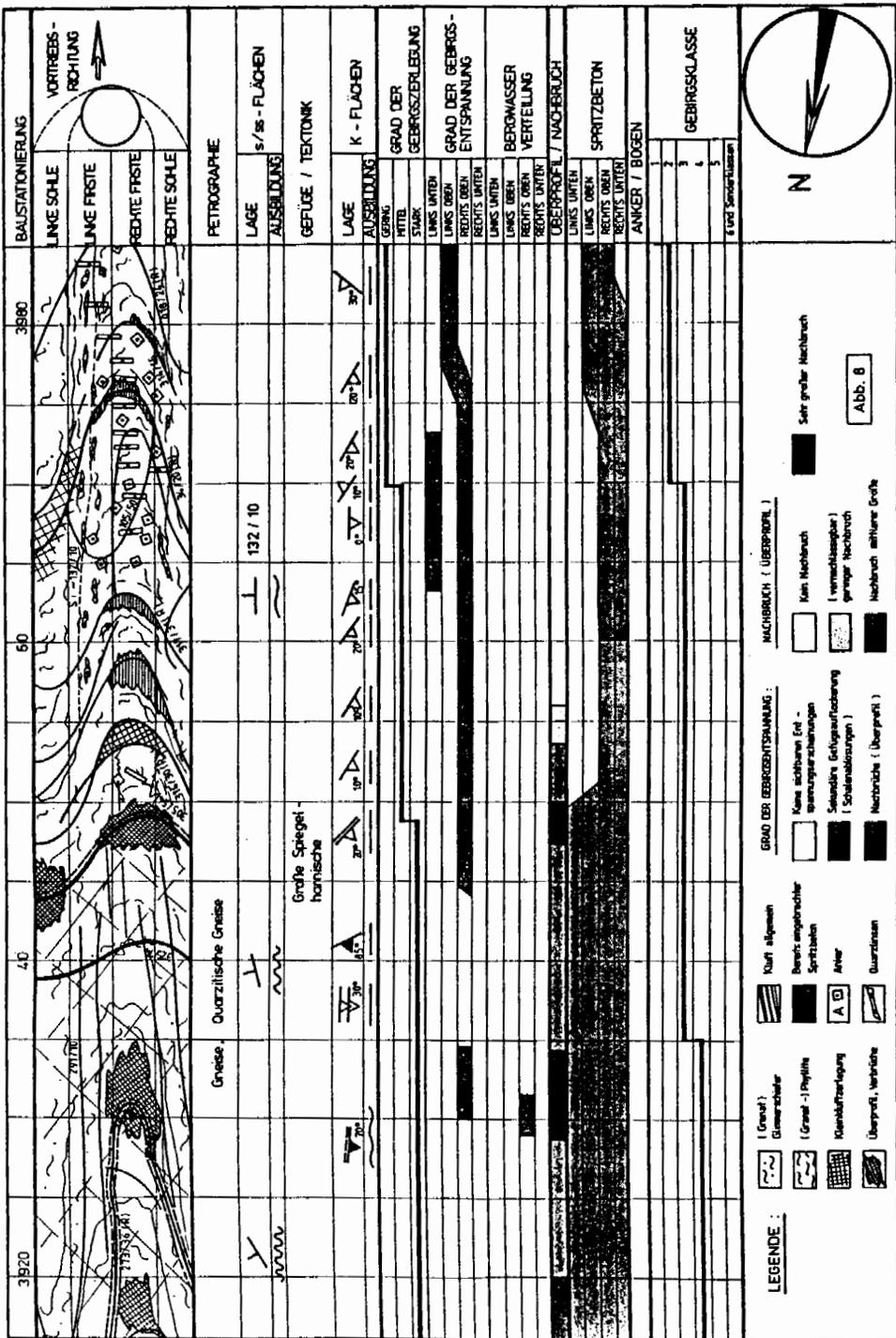


Abbildung 8: Draßnitzbachbeileitung - geologisches Stollenband (Ausschnitt). Aufgenommen von S. JACOBS 1984.

aufzufahrenden Stollenröhre. Den ebenflächigen Quarziten und Amphiboliten im Norden der Stollentrasse stehen die gefalteten Glimmerschiefer und Phyllite im Süden der Trasse gegenüber. Es war daher im Süden der Stollentrasse eher mit bruchloser, plastischer Verformung und der Ausbildung von Schubbrüchen in der Stollenleitung zu rechnen; im Nordabschnitt der Trasse waren jedoch Spaltbrüche zu erwarten. Da die gesamte Stollenstrecke eine Überlagerungshöhe zwischen 500–1000 m aufweist, ist hier ein Vergleich mit dem Wöllastollen möglich.

In der Ausschreibung für die Draßnitz- und Lamnitzbachbeileitung wurde daher bereits eine größere Leistungsposition für Ankerungen und Spritzbeton, zur Sicherung des Ausbruchshohlraumes hinter dem Vortrieb, in das Leistungsverzeichnis aufgenommen.

Im Vortrieb der Draßnitzbachbeileitung, die zuerst aufgefahren wurde, wurden jene Strecken, die in amphibolitischen und quarzitischen Gesteinen lagen, schon im Vortriebsbereich geankert oder mit einer dünnen Spritzbetonhaut ausgekleidet, obwohl die Gebirgsgüteklasse I (RIENÖSSL, 1980) nach der normalen Klassifikation vorlag. In den Glimmerschiefern und Gneispartien wurden diese Maßnahmen nicht gesetzt.

In Abbildung 8 ist der Übergangsbereich von ebenflächig ausgebildeten Gesteinspaketen (Amphibolite) des nördlichen Stollenabschnittes zu den verfalteten Phylliten des südlichen Stollenabschnittes im geologischen Stollenband dargestellt. Die senkrecht stehenden Mylonitzonen und Klufthasssen sind dem nördlichen Bruchsystem der Kreuzeck-Gipfelregion zuzuordnen.

Der Vortrieb in diesem Stollenabschnitt erfolgte in den bereits erwähnten Amphiboliten mit dem Übergang in Phyllite und wurde als Gebirgsgüteklasse I klassifiziert. Schon im Bereich der Stollenfräse (ca. 10 m hinter dem Fräskopf) ist es zur Ausbildung kleinerer Spaltbrüche gekommen, denen man vorerst wenig Beachtung schenkte. Ungefähr nach weiteren 50–100 m Vortrieb haben sich jedoch aus diesen kleineren Abplatzungen massive Bergschläge entwickelt. Man war daher mehrmals gezwungen, den Vortrieb zu stoppen, damit im räumlich sehr beengten Nachläuferbereich entsprechende Sicherungsmaßnahmen gesetzt werden konnten. Um nicht mehr in eine derartige Situation zu gelangen, wurden in weiterer Folge systematisch die Firse und Ulme geankert. Mit diesen Stützmaßnahmen konnte eine weitere Spaltbruchbildung verhindert werden. Die ca. 500 m lange Strecke, die noch aufzufahren war, konnte so rasch bewältigt werden. Anhand dieses Beispiels wurden die gewonnenen Erfahrungen beim Vortrieb des Wöllastollens wiederum bestätigt.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Gebirgsklassifizierung im Vortrieb ist begründet auf die unmittelbare Standfestigkeit des Gebirges vor Ort und enthält keinen Spielraum für eine Aussage vom Gebirgsverhalten in der offenstehenden Stollenröhre über einen längeren Zeitraum. Daher bringt die Klassifizierung vor Ort keine endgültige Bewertung für den Bestand des Bauwerkes. Die Erfahrungen beim Fräsvortrieb im Kristallin der Kreuzeckgruppe haben dies bestätigt.

Aus der Gegenüberstellung der Vortriebsarbeiten im Wöll- bzw. Draßnitz-, Lamnitzbachstollen wird versucht, eine Form der Gebirgsbewertung abzuleiten, die auch auf nachträglich zu erwartende Verformungen und Bruchbildungen eingeht. Die im

Vortrieb des Wöllastollens gewonnenen Erfahrungen, wurden in die geologische Stollenprognose der Draßnitz-, Lamnitzbachbeileitung eingebunden und in jenen Stollenabschnitt sofort Maßnahmen gesetzt, in denen Nachbrüche zu erwarten waren. Die Gebirgssicherungen erfolgten noch im Vortriebsbereich und haben so den Vortrieb durch nachträglich entstandene Verbrüche nicht behindert.

5. Literaturverzeichnis

- BECK, H.: Aufnahmsberichte. – Verh. Geol. B.-A., Wien 1928–1939.
- EXNER, Ch.: Sedimentkeile und Mylonite im Altkristallinen Glimmerschiefer der Kreuzeckgruppe (Kärnten). – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., Sdbd. 1956, 32–39, 1956.
- FEDER, G.: Das Bergschlagproblem Bleiberg aus der Sicht der Gebirgsmechanik. – Grundlagen der Rohstoffversorgung, H. 8, Wien 1985.
- FETTWEIS, G. B.: Gebirgsschläge als bergmännisches Problem. – Grundlagen der Rohstoffversorgung, H. 8, Wien 1985.
- HOLZER, H.: Zur photogeologischen Karte der Kreuzeckgruppe. – Jb. geol. B.-A., 101, 187–190, Wien 1958.
- JACOBS, S.: Geologische Stollendokumentation der Beileitungen des Draßnitz- und Lamnitzbaches. – Archiv der Kärntner Elektrizitäts A.G., Abt. TBa, 1984.
- LITSCHER, H.: Ein Beitrag zur Geologie der Kreuzeckgruppe. – Carinthia II, 169/89, 59–63, Klagenfurt 1979.
- Stollenprognose für den Draßnitz- und Lamnitzbach. – Archiv d. Kärntner Elektrizitäts A. G., Abt. TBa, 1982.
- OXBURGH, E. R.: Superimposed Fold Systems in the Altkristallin Rocks on the Southeast Margin of the Tauernfenster. – Verh. Geol. B.-A., 33–46, Wien 1966.
- PIRCHER, W.: Erfahrungen im Fräsvortrieb bei der Kraftwerksgruppe Sellrain–Silz. – Rock. Mech. Suppl., 10, 127–154, 1980.
- RIEDMÜLLER, G.: Beileitung Wölla, Geologische Stollenprognose. – Archiv d. Kärntn. Elektrizitäts A.G., Abt. TBa, 1977.
- RIENÖSSL, K.: Normierung in Bauverträgen für den maschinellen Tunnelvortrieb. – Rock Mech. Suppl., 10, 103–112, 1980.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. Bd. 1, 766 S. (Deuticke), Wien 1977.

Manuskript eingelangt am 31. Jänner 1986

angenommen am 8. April 1986

**Die Bedeutung der Strukturgeologie anhand einiger Beispiele
im Tunnel- und Kraftwerkebau**

von

W. NOWY

mit 23 Abbildungen

Anschrift des Verfassers:

Dr. Walter Nowy
Ingenieurkonsulent für technische Geologie
Max Kahregasse 25
A-3400 Klosterneuburg

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.

33

S. 159–185

Wien, 1986

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung, Summary	160
1. Einleitung – Definition und Ziel einer strukturgeologischen Untersuchung für geologisch-geomechanische Betrachtungen	161
2. Unterschiedliche Ausgangsbedingungen der Gebirgsverformungszustände und deren Berücksichtigung für das weitere Verhalten im Bereich bautechnischer Veränderungen	164
2.1. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand nicht entscheidend durch ein Trennflächengefüge geprägt wird	165
2.2. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand durch ein Trennflächengefüge geprägt wird	168
2.3. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand entscheidend von jungen Verformungen wie Entspannungen und daraus resultierenden Lockerungen gekennzeichnet sind	176
3. Literaturverzeichnis	183

Zusammenfassung

Die aufgezeigten Beispiele sollen veranschaulichen, daß eine genau durchgeführte Gefügeanalyse unumgänglich ist, um den Einfluß der Strukturen des jeweilig betrachteten Gebirgskörpers auf sein geomechanisches Verhalten hin zu beschreiben, zu beurteilen oder vorherzusagen. Aus der Summe aller Strukturdaten und -informationen soll letztlich ein Vorstellungsbild vermittelt werden, aus welchem bei technischen Eingriffen mit großer Wahrscheinlichkeit ein gewisses geomechanisches Felsverhalten sowie aller anderen daraus resultierenden Vorstellungen abgeleitet werden kann. Dabei sind die jeweilig in verschiedenen Dimensionen auftretenden und definierbaren Strukturelemente nicht nur in absoluter Größe, sondern vor allem in ihrem Größenverhältnis zwischen den einzelnen Elementen sowie ihres Größenverhältnisses zu den technischen Bauwerken zu sehen.

Summary

The examples pointed out have the task to illustrate that a petrofabric analysis exactly passed through is absolutely necessary. It's necessary for describing, judging or predicting the influence of the structures of the rock mass respectively inspected on to its geomechanical behaviour. The sum of all structure data and structure informations has to arrange an image out of which could be lead a certain geomechanical rock behaviour as well as all other conceptions resulting out of it. To realize these ideas technical operations are necessary which should lead to results by great possibility. The structural elements, which respectively are occuring and are define in various demension need not only to be seen in absolutely size. Mainly they have to be seen in their proportion between isolated elements as well as in their proportions to technical edifices.

1. Einleitung – Definition und Ziel einer strukturgeologischen Untersuchung für geologisch-geomechanische Betrachtungen

Der Ausdruck Strukturgeologie kommt vom Englischen "structural geology" und befaßt sich mit der Frage, wie Gesteinskörper bei Einwirken von äußeren Kräften reagieren und mit der Beschreibung der aus dieser Beanspruchung resultierenden Strukturen, die dem Gesteins- oder betrachteten Gebirgskörper aufgeprägt wurden.

Dabei liegt die geologische Aufgabe in der Erkundung und Erfassung der dem Gebirge aufgeprägten Struktur- oder Gefügemerkmale, um unter anderem die Grundlage für eine Aufbereitung geomechanischer Kriterien oder weitere geologisch-geomechanische Überlegungen zu liefern. Die Untersuchungen des geologischen Aufbaues konzentrieren sich sowohl auf den mikroskopischen Bereich, um die Form und Orientierung der Mineralkomponenten des Gesteins zu erfassen als auch auf die im Handstück- sowie Planmaßstab erkennbaren Strukturmerkmale. Das sind unter anderem die Trennflächen und Trennfugen als Schichtung oder als verschiedene Arten von Schieferung, die Zug- und Scherrisse oder Trennflächen unklarer Entstehung sowie deren Richtungsgruppen, die Linearen von Fließstrukturen oder Achsen von Faltenformen und schließlich der Wechsel der Orientierung sämtlicher solcher Raum- und Strukturdaten von Ort zu Ort.

Die Bedeutung liegt aber nicht nur in der möglichst lückenlosen Erfassung dieser grundsätzlichen geologischen Daten und Merkmale, sondern insbesondere auch darin, Informationen über die räumliche Verteilung der Strukturen sowie ihrer Beziehungen untereinander und zueinander zu erhalten. Dadurch können kinematische Zusammenhänge der verschiedenen geologischen Verformungsakte erfaßt, abgegrenzt und sogar zeitlich unterschieden werden und vor allem Richtungsbeziehungen, wie eine gefügebedingte Anisotropie, klar zum Ausdruck gebracht und veranschaulicht werden.

Der große Wert der Strukturgeologie für technisch-geologische Fragen liegt also darin, daß aus der Summe der erfaßten und gewonnenen Struktur- und Gefügedaten, Aussagen und vor allem Rückschlüsse auf das weitere Verhalten des verformten und beanspruchten Gebirgskomplexes bei künstlichen Eingriffen, erwartet werden können. Die Beantwortung gerade dieser Fragen, das zu erwartende Verformungsverhalten eines Gebirgskörpers oder Aussagen über seine Gebirgseigenschaften im allgemeinen, hängt ganz wesentlich von den Strukturdaten, wie z. B. der Trennflächen, Klüfte, Schieferungsflächen u. v. m. ab. Das geht schon allein aus dem Umstand hervor, daß die mechanische Charakteristik des jeweilig betrachteten Gebirgskörpers von der räumlichen Anordnung der Trennflächen zur freien Oberfläche, der Zahl dieser Trennflächen, u. v. m. weit mehr bestimmt wird als von der Gesteinsart. Diese Faktoren und Parameter bestimmen letztendlich das Verhalten des Gebirgskörpers bei künstlichen Eingriffen wie Unterschneidungen, Felsanschnitten oder bei Einleitung von Kräften und Bauwerksbelastungen in den Untergrund sowie im Zuge von Hohlraumausbrüchen.

Als Ausgangsbasis für weitere geomechanische und felsmechanische Betrachtungen ist es daher notwendig, die dem Gebirgskörper aufgeprägten Strukturen zu erfassen und zu den jeweiligen technisch-geologisch-geomechanischen Gesichtspunkten in Beziehung zu setzen. Dabei liegt die Schwierigkeit in der Erfassung jener wirksamen Gefügeeigenschaften, die das weitere Verhalten des jeweilig betrachteten Gebirgskörpers entscheidend beeinflussen können. Hier konnte die Arbeitsweise der Gefügekunde im Sinne von B. SANDER, mit ihrer von der geologisch-genetischen Vorstellung befreiten



Abb. 1:

Bedeutung der räumlichen Anordnung und der Zerlegungsintensität der Trennflächen gegenüber dem Einfluß der Gesteinsart auf das zu erwartende Verhalten des Gebirgskörpers.

Beschreibung der Gebirgskörperstrukturen, die wesentlichste Grundlage liefern und damit zu einem der Ausgangspunkte für die Entwicklung spezieller felsmechanischer Überlegungen werden.

Die Aufgabe bzw. das Ziel einer strukturgeologischen Analyse ist es aber auch zu versuchen, aus den Strukturmerkmalen und Strukturdaten auf die Faktoren zurückzuschließen, die diese Strukturen prägen.

Dabei liegt die Schwierigkeit zweifellos darin, daß die Ausbildung der meisten Strukturmerkmale von mehreren Faktoren abhängig ist, so daß wir an ihnen nicht erkennen können ob dieser oder jener Faktor für die Entstehung des erkannten Merkmales verantwortlich ist oder nicht. Als Beispiel dafür, wo wir sehen können, daß die meisten Strukturmerkmale nicht nur von einem Faktor abhängig sind, sei angeführt, daß z. B. ein Körper bei Änderung der Temperatur sich einmal rupturrell, ein anderes Mal plastisch bzw. fließend deformiert. Rupturelle oder fließende Deformationen können wir aber auch erhalten, wenn wir bei sonst konstanten Bedingungen den hydrostatischen Druck oder die Geschwindigkeit der Deformation variieren, oder den Körper einmal trocken, ein anderes mal mit Lösungen getränkt verformen (HOEPPENER, 1963). Wenn wir aus dem Gefüge auf die prägenden Faktoren zurückschließen wollen, bleibt für unsere Deutung in diesen Fällen ein erheblicher Spielraum. Wie Beispiele zeigen können, ist die Ableitung von der Wirkung äußerer Kräfte auf einen gedachten Körper und dessen Gefüge nicht eindeutig lösbar. Wir müssen im Gegenteil feststellen, daß bei Wirkung äußerer Kräfte aus den Gefügemerkmalen keine eindeutige Aussage über diese Kräfte möglich sind. So sehen wir, daß wohl Kraftansätze voneinander ab-

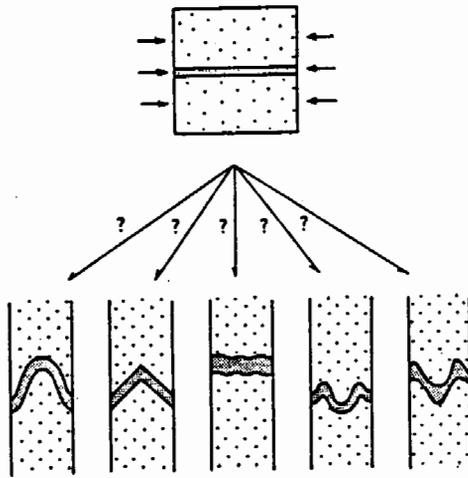


Abb. 2:

Problematik über die Entstehung von Falten, gezeigt am Beispiel einer eingebetteten dünnen Gesteinslage, die parallel zu ihrer Lagerung beansprucht wird. Welche Einflußfaktoren sind maßgeblich, daß überhaupt eine Faltung entsteht? Welche Einflußfaktoren sind dafür verantwortlich, daß einmal Rundfalten, Knickfalten, Knitterungsfalten und Falten verschiedenster geometrischer Formen entstehen? (aus HOBBS, B. E. et al., 1976).

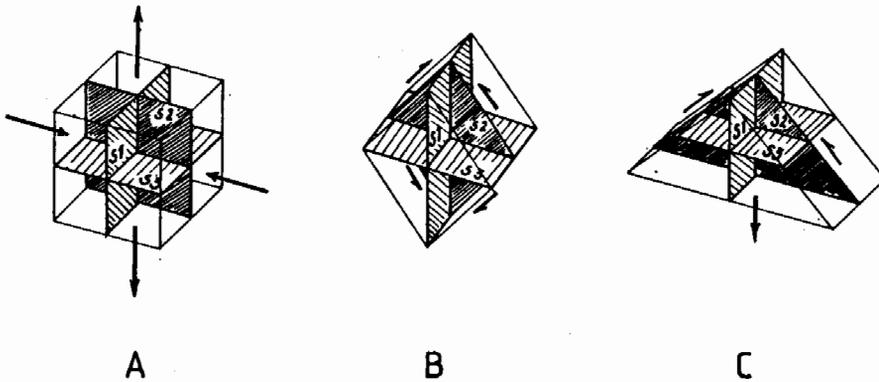


Abb. 3: Beziehung zwischen äußeren Kräften und der Symmetrie des Gefüges. Im Fall A greifen nur Normalkräfte an, im Fall B nur Tangentialkräfte und im Fall C Normal- und Tangentialkräfte. In allen drei Fällen weist das Gefüge drei gleich orientierte, senkrecht aufeinander stehende Symmetrieebenen auf (aus HOEPPENER, R., 1963).

weichen können, die Lage der Symmetrieelemente wie auch die Richtung der Größenkürzungen und -dehnungen bleiben jedoch konstant (s. Abb. 3).

Um zu einer Erklärung des Mechanismus und damit zu verwertbaren Grundlagen für eine weitere geomechanische Bearbeitung zu kommen, muß die Strukturgeologie versuchen, die jeweiligen strukturgeologischen Daten und Informationen als „Ganzes“ zu erfassen und sie quantitativ zu beschreiben, so daß das Verhalten des Gebirgskörpers unter geänderten Gleichgewichtsbedingungen, wenn nicht vorausgesagt, so doch „vorausgefühlt“ werden kann. Dabei sollte die mathematische Analyse helfen, die Vorgänge im Gebirge zu verstehen. Dies gelingt wiederum nur dann, wenn aus der geologischen Detailaufnahme gewisse geologisch-gefügekundliche Gesetzmäßigkeiten her-

ausgefunden werden können, die eine rechnerische Aufbereitung erlauben. Aus der Sicht der Geologie liegt aber gerade die Gefahr und die Problematik in der Vereinfachung und Schematisierung der einzelnen geologischen und felsmechanischen Parameter.

Neben dem Trend, die Vielfalt der geologisch-geomechanischen Parameter wie Kluffstellung, Durchtrennungsgrad, Kohäsion, innere Reibung, Kluffwasserschub u. v. m. zu einer Qualitätsziffer zusammenzuschmelzen, können nämlich dieselben Parameter durch An- oder Abwesenheit gewisser Faktoren in den Vordergrund treten, durch An- oder Abwesenheit anderer Faktoren wiederum ganz unwirksam gemacht werden (MÜLLER, L., 1982).

Es ist daher auch kein Zufall, daß trotz gewaltigem Fortschritt in der rechnerischen Umsetzung felsmechanischer Probleme (MALINA, 1967; FAIRHURST, 1976) Mißerfolge nicht auf eine ungenügende oder fehlerhafte Berechnung, sondern zumeist auf unzutreffende Eingangswerte oder auf Unverständnis der geologisch-strukturellen Gesamtsituation zurückzuführen sind.

2. Unterschiedliche Ausgangsbedingungen der Gebirgsverformungszustände und deren Berücksichtigung für das weitere Verhalten im Bereich bautechnischer Veränderungen

Da nahezu alle geologischen Vorgänge der Gesteinsbildung und Gesteinsverformung irgendwelche gerichtete Einflüsse beinhalten, stellen wirklich isotrope geologische Körper eine Ausnahme dar. Es liegen daher für unsere geologisch-geotechnischen Überlegungen fast ausnahmslos Gebirgskörper vor, die entweder unter der großen Belastung der überlagerten Gesteinsmassen plastisch verformt wurden oder durch ihre jetzige Nähe an der Oberfläche in einen Bereich gekommen sind, in dem sie aufgrund ihres spröden Verhaltens durch Trennflächen und Klüfte zerbrochen worden sind. Das heißt aber auch, daß das weitere Verhalten des jeweilig betrachteten Gebirgskörpers ganz wesentlich von seinem momentanen Verformungszustand abhängt. Als Ausgangsbasis für weitere Überlegungen muß daher vorher einmal dieser vorhandene Verformungszustand in all seinen Details erfaßt werden. Hierfür hilft eine Einteilung, die dem geologischen Bestreben nach einer zeitlichen Aufgliederung der Verformungen entspricht, aber auch gleichzeitig das weitere mechanische Verhalten der schon unterschiedlich verformten Gebirgskörper in den Bereichen bautechnischer Veränderungen kennzeichnen kann (CLAR, 1965).

- a. Verformungen, die unter wesentlich höheren Belastungen und Temperaturen vor sich gegangen sein müssen als sie heute für gefügetechnisch interessierende Bereiche herrschen. Diese Verformungsbilder entsprechen meistens den Vorgängen der Tiefentektonik. Hier liegt die Problematik weniger im künftigen technischen Verhalten, bezogen auf das Trennflächengefüge, sondern eher z. B. im Einfluß der im Zuge der Metamorphosevorgänge aufgeprägten Anisotropie im Bereich des mikroskopischen Korngefüges, wie die Form und die geometrische Abstufung sowie die räumliche Ausrichtung der einzelnen Mineralaggregate und ihre Anordnung zueinander oder der bestehenden Eigenspannungsverhältnisse.
- b. Verformungen, die den Großteil der heute wirksamen Kluff- und Trennflächensysteme erzeugt haben. Hierzu ist für unsere Betrachtungen die Zerklüftung der geologischen Körper zu zählen. Diese Verformungen treten im allgemeinen gegen En-

de der diagenetischen Verfestigung oder metamorphen Kristallisation auf.

- c. Verformungen des Gebirgsverbandes, die bereits einen zerbrochenen, diskontinuierlichen Kluftkörperverband vorgefunden haben. Das sind Verformungen, die zu den heutigen Geländeformen geführt haben, also komplexe Vorgänge, die als Resultat von Spannungsumlagerungsprozessen vorliegen (Entspannungsvorgänge, Lockerung des Gefügeverbandes, Fließ- und Kriechvorgänge u. v. m.).

Entsprechend dieser Einteilung sollen einige Beispiele die Bedeutung und den Einfluß der Strukturen veranschaulichen.

2.1. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand nicht entscheidend durch ein Trennflächengefüge geprägt wird

Zur ersten Gruppe, jenen Verformungen, die unter wesentlich erhöhten Belastungen und Temperaturen stattfanden, soll ein Gebirgstyp vorgestellt werden, der in diese Gruppeneinteilung nicht ganz paßt, aber aufgrund seines angenäherten „isotropen“ Gebirgszustandes am ehesten dieser Gruppe zuzuordnen ist. Es handelt sich um das alpine Haselgebirge, welches nach seinem sedimentären und strukturellen Habitus als Pseudokonglomerat anzusprechen ist. Dieses, vermutlich aus wiederholter Aufarbeitung und Resedimentation hervorgegangene Gestein, setzt sich aus den Hauptmineralen Chlorit, Glimmer, Quarz und Salz zusammen. In der Grundmasse sind deutlich gerundete und in ihrer Größe variierende Gesteinskomponenten und Schollen eingebettet, die aus Fremdgesteinen wie Siltstein, Quarzit und Tonschiefer sowie aus Gemengen von Dolomit und Anhydrit, Mergelton, Salzton und Anhydrit- bzw. Gipschollen bestehen können.

Es soll nun nicht näher auf die bekannten Auswirkungen des Gebirgsverhaltens bei Herstellung eines Hohlraumes im Haselgebirge, wie die des Quellens, der Fähigkeit sich unter Druck plastisch zu verformen, Spannungen zu konservieren u. ä. m. eingegangen werden, sondern auf eine strukturelle Unterscheidbarkeit dieses Haselgebirgstypes und dem daraus resultierenden unterschiedlichen Gebirgsverhalten.

Im Zuge der Ausbruchsarbeiten für den Bosruck–Autobahn-Erkundungsstollen wurden auf nahezu 1000 m Stollenlänge jener vorhin beschriebene Haselgebirgstyp angetroffen. Die konventionell aufgefahrene Haselgebirgsstrecke verhielt sich unmittelbar nach Ausbruch, ausgenommen einige wenige Zehnermeterabschnitte, entlang denen Einschüttungsbrekzien sowie aufgeweichte Tonschiefer angetroffen wurden, vorerst standfest.

Während die mineralogische Zusammensetzung des Haselgebirges entlang dieser Stollenstrecke keine wesentliche Änderung zeigte, konnte es jedoch in zwei grundsätzlich strukturell unterscheidbare Typen unterteilt werden. Einem „homogen-isotropen“ Haselgebirge, welches frei von Trennflächen und jeglicher Einregelung der Mineralaggregate sowie der eingebetteten Fremdgesteinskomponenten war, konnte ein deutlich „anisotropes-inhomogenes“ strukturiertes Haselgebirge gegenübergestellt werden. Dieses unterscheidet sich vor allem durch das Vorhandensein vereinzelter, fasergipsgefüllter Trennflächen sowie mit fließenden Übergängen, einer sehr deutlichen Einregelung der Mineralaggregate und der Fremdgesteinskomponenten (NOWY & LEIN, 1984).

Diese grundsätzliche strukturelle Verschiedenartigkeit fand ihren Niederschlag



Abb. 4: „Homogener-isotroper“ Haselgebirgstyp. Abb. 5: „Anisotroper-inhomogener“ Haselgebirgstyp.

auch in einem deutlich unterscheidbaren Verformungsverhalten des Gebirges unmittelbar nach dem Ausbruch. Aus den Konvergenzverformungsmessungen ließ sich ableiten, daß im sogenannten „isotropen“ Haselgebirge nur geringe Anfangsdeformationen gemessen wurden, während in den „anisotropen“ Haselgebirgsabschnitten deutlich größere Anfangsdeformationen stattfanden.

Diese Regel bestätigt sich fast unabhängig von der Überlagerungsmächtigkeit. Die unterschiedlichen Anfangsverformungen waren jedoch deutlich von der jeweiligen tektonischen Position der betrachteten Abschnitte abhängig. Das Verformungsverhalten über einen längeren Zeitabschnitt hinweg ließ dann bei den beiden unterschiedlichen Strukturtypen keinen wesentlichen Unterschied mehr erkennen. Es bestätigte sich jedoch das dem Haselgebirge zuordenbare Phänomen, daß auch nach einer längeren Beobachtungsdauer keine endgültige Stabilisierung des Gebirges eintrat. Die monatlichen Verformungsbeträge lagen auch nach einer Beobachtungszeit von mehr als neun Monaten zwischen 1 und 3 mm (s. Abb. 6).

Diese unterschiedliche Ausbildung der Haselgebirgsstrukturen muß auf ein bereichsweise unterschiedliches Wirken von Spannungen und damit Einfließen einer Anisotropie zurückzuführen sein. Dabei konnten Abschnitte, in denen diese Spannungen ungehindert ins Gebirge einfließen, von Abschnitten, in denen die Übertragung infolge z. B. eingebetteter Dolomitgroßschollen verhindert wurden („Spannungs-

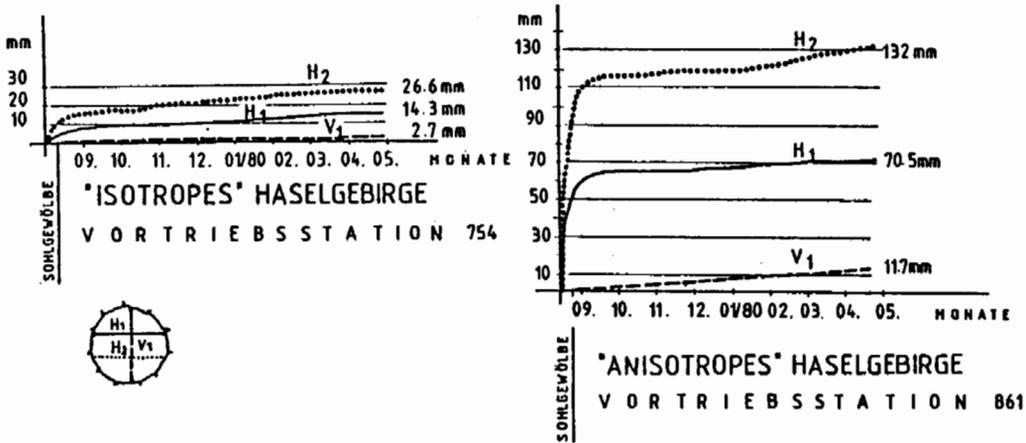


Abb. 6: Unterschiedliche Anfangskonvergenzmeßergebnisse zwischen dem „isotropen“ und dem „anisotropen“ Haselgebirge.

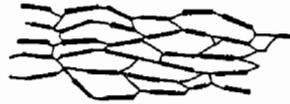
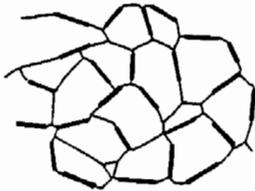


Abb. 7:
Bei gleichem Mineralbestand stark unterschiedlicher Grad der Verzahnung und der räumlichen Ausrichtung der einzelnen Mineralaggregate.

schatten“), unterschieden werden. Es ist anzunehmen, daß diese Spannungen, die nicht nur aus dem Überlagerungsdruck herkommen, sondern auch auf das langsame gravitative Einsinken der steifen, sich kompetent verhaltenden Bosruckkalkscholle in das weiche, sich inkompetent verhaltende und die Kalkscholle umfließendes Haselgebirge, zurückzuführen sind.

Diese im Zuge des Erkundungsstollenausbruches (Ausbruchsquerschnitt $\sim 36 \text{ m}^2$) gewonnenen Erkenntnisse, dienen letztlich als Grundlage für eine unterschiedliche Vorausdimensionierung der Stützmittel in den entsprechenden Haselgebirgsstrecken des nachfolgenden Ausbruches der Haupttunnelröhre (Ausbruchsquerschnitt $\sim 90 \text{ m}^2$)

Durch den vermehrten Einsatz mechanischer Tunnelbohrmaschinen kommt jenen Verformungen, die unter wesentlich höheren Belastungen und Temperaturen vor sich gegangen sind, insbesondere durch den Einfluß der im Zuge dieser Metamorphosevorgänge ausgeprägten Anisotropie, eine entscheidende Bedeutung zu. Gerade beim vollmechanischen Tunnelvortrieb können sich aus Einflußgrößen wie der Größe, Gestalt und Verband der Mineralaggregate sowie der räumlichen Ausrichtung und ihrer Anordnung zueinander (Textur – im Sinne von B. SANDER) sehr schnell Änderungen der erforderlichen Arbeitsleistung und damit Kostensteigerungen um hundert oder sogar um mehr als hundert Prozent ergeben.

Dies führt zu gesteigerten Ansprüchen an die Genauigkeit und Detailliertheit der geologisch-geotechnischen Prognose. Daher ist die Ermittlung und Angabe der einachsigen Druckfestigkeit aus verschiedenen Richtungen, der Scherfestigkeit, der Spalt-

zugfestigkeit, der Gesteinsabrasivität oder des Verformungsmoduls bereits fester Bestandteil eines geologisch-geotechnischen Untersuchungsprogrammes. Der Einfluß dieser geotechnischen Parameter auf die Fräsbarkeit ist der Tendenz nach bekannt und erwiesen, die Quantifizierbarkeit und Umlegung auf eine Angabe des Nettobohrfortschrittes ist aber schwierig und im Grund noch ungelöst (PIRCHER, 1980).

Noch komplexer werden jedoch die Verhältnisse um den Einfluß der richtungsabhängigen Anordnung der einzelnen Mineralaggregate in die Beurteilung der Fräsbarkeit miteinzubeziehen. Vor allem stengelige oder blättrige Minerale zeigen eine ausgeprägte gerichtete Textur. Diese kann den mechanischen Vortrieb zusätzlich enorm beeinflussen. Solche Erfahrungen wurden z. B. im Druckschacht Kühtai als auch beim mechanischen Vortrieb der Gletscherbahn Kaprun gemacht. Hier zeigte sich, daß die quer zur Schieferung orientierten Minerale (Hornblende, Epidot) eine deutliche Verminderung der Bohrgeschwindigkeit verbunden mit einem wesentlich höheren Energieverbrauch erbrachten (PIRCHER, 1980; RIENÖSSL, 1980). Aber ebenso unterschiedliche Bohrfortschrittsergebnisse sind, bei sonst gleichen petrologischen Ausgangsbedingungen, auf unterschiedliche Mikrostrukturverhältnisse wie veränderliche Richtung, ein unterschiedlicher Grad der Verzahnung und vor allem eine unterschiedliche Art der Anisotropie (Druckstollen Zillergründl) zurückzuführen. Diese sehr entscheidenden und beschreibbaren Einflußgrößen bleiben mangels ihrer Quantifizierbarkeit meist unberücksichtigt (s. Abb. 7).

2.2. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand entscheidend durch ein Trennflächengefüge geprägt wird.

Zur zweiten Gruppe von Verformungen, jenen, die den Großteil der heute wirksamen Kluft- und Trennflächensysteme erzeugt haben, gelten im Vergleich zur ersten Gruppe im allgemeinen als jünger.

Ihre Anlage ist teilweise noch verbunden mit bruchlosen Verformungen des Korngefüges bzw. diese Verformungen sind zeitlich unabhängige jüngere Deformationsakte. Hierzu sind sämtliche Trennflächen teils primärer Anlage oder als Ergebnis einer tektonischen Verformung zuzuordnen. Hier erscheint es auch grundlegend wichtig zu sein, zwischen Gestein und Gebirge zu unterscheiden, da hier die Gebirgseigenschaften nur gering von der Gesteinssubstanz aber ganz wesentlich vom Gefüge, den Trennflächen, ihrer Raumstellung, ihrer Zerlegungsintensität, ihrer Ausbildung u.v.m. abhängen.

Die statistische Erfassung der Trennflächen geringer Erstreckungslänge und die örtliche Erfassung der Trennflächen großer Ausdehnung spielt eine entscheidende Rolle. Es liegt zumeist ein Vielkörpersystem vor, welches das Ergebnis tektonischer Gebirgszerbrechung ist und dessen einzelne Individuen, die Kluftkörper, sich an den Diskontinuitätsflächen gegeneinander verschieben oder auch verdrehen können. Der vorliegende und zu beurteilende Gebirgskörper oder Kluftkörperverband weist eigentlich nur noch eine „Restfestigkeit“ auf (CLAR, 1965; MÜLLER, 1982) deren Größe durch den Verband der Kluftkörper bestimmt wird.

Die Bedeutung der hohen Anisotropie eines so zerlegten und zerbrochenen Gebirges in bezug auf seine mechanischen Eigenschaften soll an zwei Beispielen, die ebenfalls aus dem Tunnel- und Stollenbau herkommen, veranschaulicht werden. Beide

Beispiele sind aus geologisch-tektonisch hochbeanspruchten Gebirgsabschnitten – dem Grazer Paläozoikum und aus der Grauwackenzone.



Abb. 8: Dünnschiefrig ausgebildete Chloritphyllite mit zwischengeschalteten karbonatischen und serizitischen Lagen.

In Gesteinen des Grazer Paläozoikum – etwa 30 km nördlich von Graz – erfolgte im Zuge des Baues der Pyhrn-Autobahn die Untertunnelung des westlich von Deutschfeistritz gelegenen Höhenrückens. Dieser Höhenrücken liegt in einer Chloritschieferserie mit wechselnden Einschaltungen von gering mächtigen, karbonatischen und serizitischen Lagen. Durch die tektonischen Beanspruchungen ist es jedoch entlang schieferungsflächenparalleler Zonen zu Mineralumwandlungen gekommen. Es entstanden örtlich Lagen von Talk-Chloritschiefern, Serizitphylliten und Myloniten, in denen wasserempfindliche, quellfähige Tonminerale wie Montmorillonit nachgewiesen wurden. Zusätzlich ist die ganze Gesteinsserie von einer sehr engständigen, ausgeprägten Schieferung überprägt, die dem ehemaligen stofflichen Lagenbau folgt und deren Intensität bis zur Aufblätterung und damit bis zur totalen Entfestigung der Gesteine führte. Aus der Gefüge- und Strukturanalyse konnte erkennbar gemacht werden, daß das Trennflächengefüge nicht aus einer einzigen Verformung ableitbar war, sondern aus mehreren, in unterschiedlicher zeitlicher Folge, die sich mit veränderter Orientierung überprägten.

Ursprünglich war vorgesehen, dem Tunnelvollausbau einen Erkundungsstollen vorauslaufen zu lassen. Die sich aber bereits am Beginn der Ausbruchsarbeiten einstellenden geologischen Schwierigkeiten ließen es jedoch ratsam erscheinen, von diesem beabsichtigten Vorhaben Abstand zu nehmen und auf einen Kalottenausbruch umzustellen. Erst nach Fertigstellung des Kalottenausbruchs sollte der Vollausbau der Haupttunnelföhre mit 90 m² Profilquerschnitt folgen.

Im Zuge des konventionellen Kalottenausbruchs reagierte das tektonisch hochgradig und intensiv zerlegte Gebirge, während des Spannungsumlagerungsprozesses bereits sichtbar in Form kleinster Teilbewegungen oder Teilverschiebungen entlang der vorliegenden Trenn- und Kluffflächen. Die Summe dieser Bewegungen drückte sich in relativ großen Konvergenzen aus. Die Bereitschaft zu solchen Teilbewegungen im Kluffkörperverband, die sich in einer Art „Hereinfließen“ des Gebirges in den

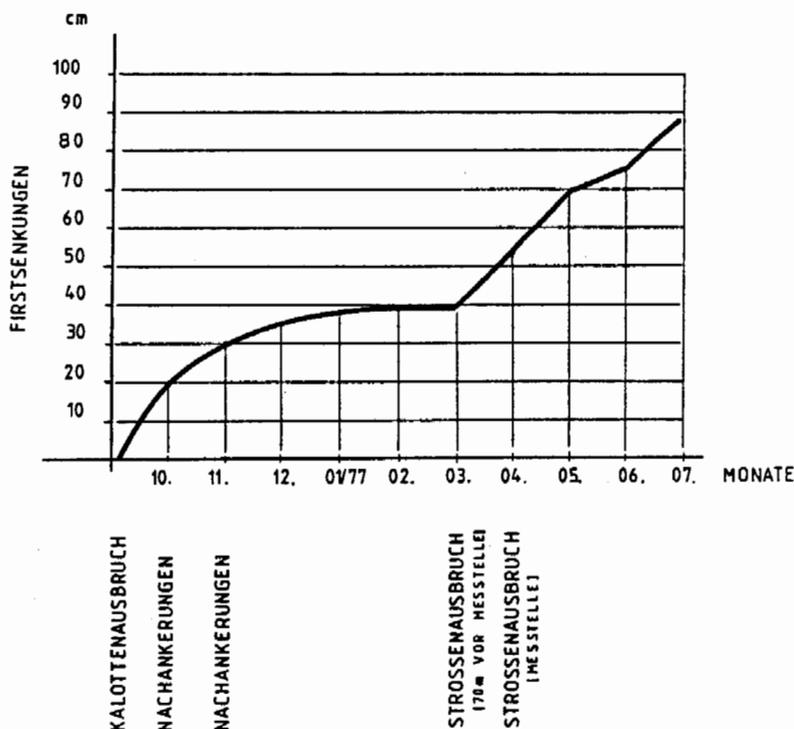


Abb. 9: Firstsetzungsdiagramm im Zuge des Kalottenausbruches sowie des nachfolgenden Vollausbruches.

Hohlraum äußerte, wurde noch zusätzlich durch den Zutritt von Bergwasser sowie insbesondere durch das Einpressen von Bohrspülwasser während des Abbohrens der Ortsbrust bzw. der zu versetzenden Anker gefördert. Das daraus resultierende druckhafte Gebirgsverhalten erzwang in solchen Abschnitten, trotz geringer Überlagerung, auch noch in der Kalotte einen Teilausbruch.

Es wurde deutlich sichtbar, daß die Teilbewegungen des Gefügeverbandes durch die eingebrachten Vortriebssicherungsmaßnahmen, die zumeist nur auf das Kurzzeitverhalten des Gebirges ausgelegt waren, nur bis zu einem gewissen Grad verhindert werden konnten. Sie reichten letztlich in Teilabschnitten nicht aus, um in der Kalotte eine Beruhigung des Gebirges herbeizuführen. Um ein Überfirsten zu vermeiden, wurde je nach Gebirgsgüteklasse im gesamten Tunnelbereich eine Überhöhung zwischen 30 und 60 cm in radialer Richtung angeordnet. In der geologischen Prognose für die zu erwartenden Firstsetzungen wurde angeführt, daß diese vorgegebenen Überhöhungen jedoch, bei Belassen des Kalottenausbruches und nicht sofortigem Sohl-schluß, nach fünf bis sieben Monaten, ohne Berücksichtigung der Setzungen infolge des Strossenaushubes, aufgebraucht sein würden.

Diese Befürchtungen bestätigten sich beim später nachfolgenden Vollausbruch. Die vorgesehenen Überhöhungen reichten in einzelnen Streckenabschnitten nicht aus, um eine Überfirstung zu vermeiden. Im Gegenteil mußte beobachtet werden, daß bereits 50 m bevor der Strossenabbau die kritisch einzustufenden Bereiche erreichte, in die-



Abb. 10:
Pölzung in Teilabschnitten der Kalotte zur Verhinderung einer weiteren Zunahme von Firstsenkungen und eines Verbruches.

sen Zonen die Firstsetzungen plötzlich stark zunahmen, so daß das Profil bis zu einem Meter und mehr in den Hohlraum hereinwuchs. Die Spritzbetonschale wurde fast gänzlich zertrümmert, die Bögen verdrückt, viele Anker abgerissen und andere wurden herausgezogen. Der Gebirgstragring verlor durch das Bruchfließen und Absinken des Gebirgsreibungswinkels seine Tragkraft, und ein Verbruch größeren Umfanges schien unvermeidlich. Die Ausbaustärke der Stützmittel war zu gering gewesen und das Bruchfließen wurde wahrscheinlich noch zusätzlich durch die höhere Gebirgsfeuchtigkeit infolge Schneeschmelze, Frühjahrsniederschläge und vor allem durch die Erschütterung des Strossenaushubes begünstigt. Wegen

der akuten Verbruchesgefahr wurde ein Bohren zum Versetzen von 9 m langen Ankern nicht gestattet, sondern sofort eine Pölzung eingebracht. Der Strossenaushub wurde eingestellt und die Mannschaft zur Sanierung dieser Strecke eingesetzt. Die Überfirstungsarbeiten erfolgten schlitzzweise an verschiedenen Ansatzpunkten. Die Mächtigkeit der Überfirstung betrug im Mittel 1 m, maximal bis zu 1.50 m.

Die bei der Überfirstung sichtbar gewordenen Gebirgsverformungsbilder, im unmittelbaren Nahbereich der Stollenlaibung, zeigten eindrucksvoll, die während des Spannungsumlagerungsprozesses im Kleinstbereich stattgefundenen, diskontinuierlichen Teilbewegungen und Verschiebungen entlang den einzelnen Trennflächen. Bei Betrachtung im Maßstab der Tunnelquerschnittsdimension ließ sich die Verformung, die aus den Teilbewegungen der einzelnen mm–cm großen Kluffkörper zusammengesetzt war, als ein „Bruchfließen“ im Sinne von MÜLLER interpretieren (MÜLLER, L., 1960).

Ein früherer Ringschluß hätte maßgeblich dazu beigetragen, die Gebirgsdeformation in engeren Grenzen zu halten (DEMME & NOWY, 1979).

Ein völlig anderes Gebirgs- und Verformungsverhalten zeigte sich in jenen Abschnitten, in denen keine feinstgeschieferte, dünnblättrige Ausbildung des Gebirges vorlag, sondern eine dünnplattige und z. T. grobplattige Ausbildung vorherrschte. In diesen Abschnitten wurde das Ausbruchverhalten des Gebirges durch die kluffkörperbestimmenden Trennflächen geprägt.

Im Gegensatz zum Erscheinungsbild des „pseudoplastischen“ Hereinwanderns des engständig zerklüfteten Gebirges, bestand in diesen Abschnitten die Gebirgsverformung primär im Verschieben und Verdrehen der einzelnen Kluffkörper entlang der jeweiligen vorgegebenen Kluffflächen. Die Größe der einzelnen Kluffkörper, definiert durch die Kluffabstände sowie deren Bezug zur Dimension des Tunnelhohlraumes, be-



Abb. 11:
Bruchfließerscheinungen des Felsverbandes am Ausbruchsrund des Kalottengewölbes.

stimmten in Summe einen Verformungsablauf, der im wesentlichen durch Unstetigkeiten im Verschiebungsfeld dieses Vielkörpersystems charakterisiert war. Durch Zutreten von Bergwasser in das aufgelockerte Gefüge mit Aufbau von Kluftwasserdruck bestand stets die Gefahr von großen Verbrüchen, die in der Folge auch nicht zu vermeiden waren.

Die in diesen beiden Beispielen beschriebenen und dargestellten unterschiedlichen Verformungsabläufe im Zuge des Ausbruches veranschaulichten deutlich, daß sie nicht durch die Unterschiede in ihrer tatsächlichen Bewegungsform gekennzeichnet waren, sondern nur durch solche des Maßstabes relativ zur Größe der Gefügeelemente und deren Dimension im Hohlraumquerschnitt.

In ähnlichen Gesteinen, in **phyllitischen Gesteinen der Grauwackenzone**, erfolgt derzeit der Ausbruch eines 5,5 km langen Druckstollens. Die angenähert Ost–West ausgerichtete Stollentrasse liegt nördlich der Tauernnordrandstörung, einem geologischen Längsbruch, an dem der nördlich dieses Bruches gelegene Krustenteil gegenüber dem südlichen abgesenkt wurde. Diese ausgeprägte Großstörung, zwischen Wagrain im Osten und Mittersill im Westen, entstand in der letzten Phase der alpidischen Gebirgsbildung (TOLLMANN, 1977). Sie ist durch bis zu 200 m dicke und steilstehende, tonig-mylonitisch aufgearbeitete Phyllite gekennzeichnet. Im Zuge der geologischen Voruntersuchung bestand das Problem darin, eine Stollentrasse zu finden, die

- eventuell vorhandenen, parallelen und mehreren Meter breiten Mylonitzonen der Tauernnordrandstörung ausweicht und
- festere, ausbruchsfreundlichere Gesteinseinschaltungen, wie eingelagerte Kalkphylite und Karbonatlagen, ausnützen sollte.



Abb. 12: Zerlegung des Gebirges durch Trennflächen in geometrisch wohldefinierte Teilkörper.

Nach Auffahren des Stollens mit einer mechanischen Tunnelbohrmaschine (Durchmesser: 3.10 m) vom westlichen Stollenportal (St. Johann) wurden nach zirka 700 m Vortriebslänge geologische Bedingungen vorgefunden, die nur mehr eine sehr geringe Vortriebsleistung ermöglichten. Die Ausbruchsleistung sank auf 0,7–0,9 m pro Tag. Ursache dieser verminderten Leistung war das Auftreten eines zirka 1 m mächtigen Graphitschieferbandes im Firstbereich des Stollens. Während diese Graphitschieferbandeinschaltung eine durchaus zu erwartende Gesteinszwischeneinschaltung war, bestand das Unerwartete darin, daß die räumliche Schichtlage dieser Einschaltung, flach bis horizontal ausgerichtet war.

Zur Abklärung dieser unerwarteten Strukturverhältnisse, insbesondere im Hinblick auf den weiteren mechanischen Vortrieb, sollte mittels einer obertägigen strukturgeologischen Aufnahme versucht werden, Aufklärung über das Vorhandensein dieser flachen Strukturen zu bekommen.

Das Resultat der strukturgeologischen Aufnahme erbrachte deutlich eine Unterscheidung von verschiedenen charakteristischen tektonischen Bauformen entlang der Stollentrasse. Im westlichen und mittleren Stollentrassenabschnitt dominieren flache

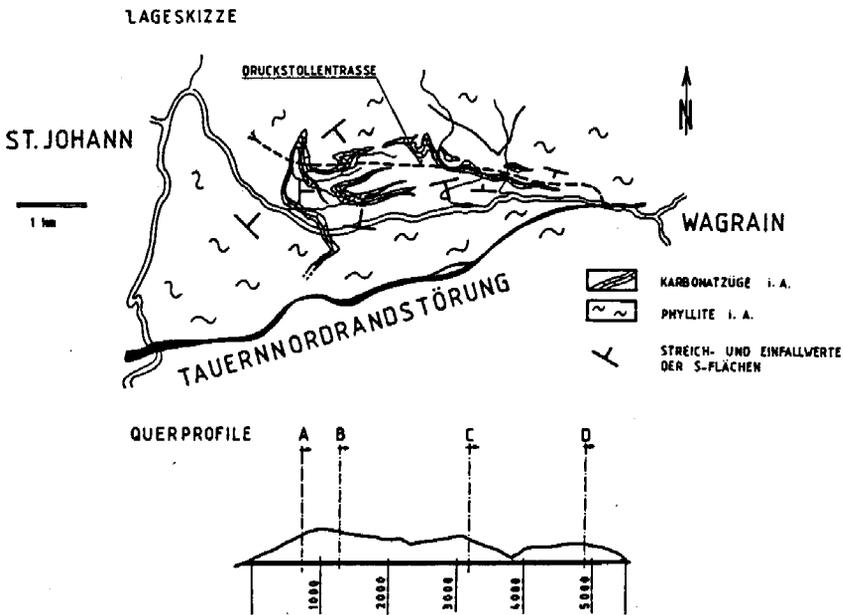


Abb. 13: Verlauf der Tauernnordrandstörung von Wagrain in Richtung St. Johann (aus MOSTLER, 1964) und räumliche Beziehungen der Strukturen zur Druckstollentrasse.

bis mittelsteile Strukturen, die aus einem liegenden bis nordeintauchenden Großfaltenbau ableitbar sind. Gänzlich unterschiedliche Verhältnisse, bezogen auf die Orientierung und Charakteristik des Gefüges, liegen hingegen im östlichen Stollentrassenabschnitt vor. Hier dominieren, bei gleichem Gesteinsbestand, tektonisch hochgradig zerlegte und mehrfach in unterschiedlicher zeitlicher Folge und Intensität überprägte Gesteine. Es überwiegt eine im Kleinstbereich intensivst verfältelte, steilstehende Verformung, die von flachen, jüngeren Strukturen überprägt wird. Diese deutlich räumlich in Ost-West-Richtung des Stollentrassenverlaufes unterscheidbaren, charakteristischen Bewegungsbilder waren und sind eindeutig in Abhängigkeit der Stollentrassensituierung zur Tauernnordrandstörung zu sehen.

Die Auflösung der unterschiedlich intensiv tektonisch verschuppten Teilabschnitte und deren Interpretation zu einem ganzheitlichen und widerspruchsfreien Bewegungsbild in den einzelnen Schnitten gelang vor allem durch den Bezug zu einem tektonischen Koordinatensystem (SANDER, 1948). Unter Zugrundelegung dieser Verformungsbilder lassen sich verformungshomogene Bereiche abgrenzen, die eine Übertragung der Gefügeverhältnisse bis auf Stollenniveau zulassen. Damit kann und konnte eine Wiedergabe der erfaßbaren Daten und deren unterschiedliche Auswertung nach ihren technischen oder mechanischen Werten, versucht werden.

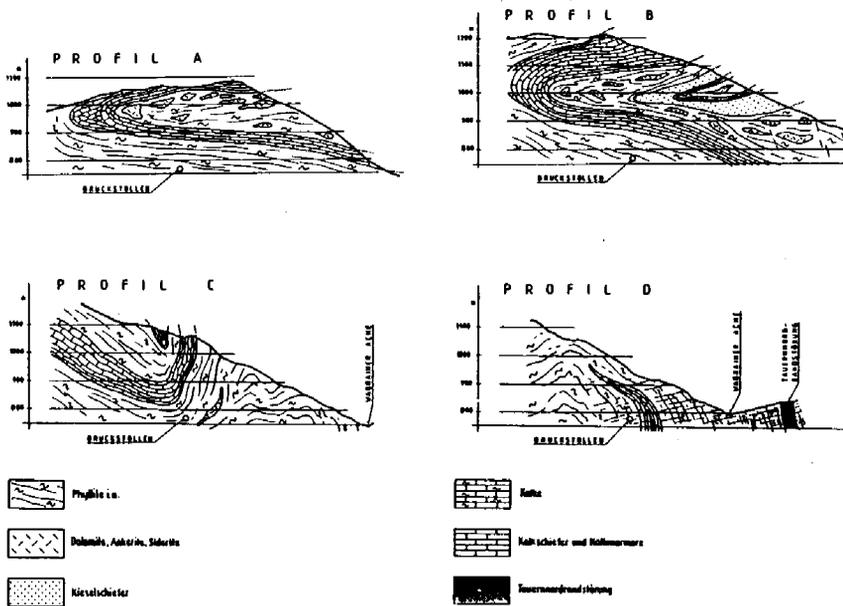


Abb. 14: Geologische Querprofile A, B, C und D zur Veranschaulichung des zunehmend veränderlichen Verformungsbildes in Abhängigkeit der Lage des Stollens zur Tauernnordrandstörung.
 PHYLLITE i. a. – (Schwarzphyllite, Tonschiefer, Alaunschiefer, Serizitphyllite, Serizitquarzite sowie Diabasrelikte); DOLOMITE, ANKERITE, SIDERITE; KIESELSCHIEFER – In plattiger, fester und sehr harter Ausbildung; KALKE – Dickbankige bis massige, meist quarzdurchzogene, dunkelgrau gefärbte Kalklagen (Crinoidenkalke) z. T. eisenhaltig und in Wechsellagerung mit Schiefen; KALKSCHIEFER UND KALKMARMORE – Gebankte, hell-mittelgraue, teilweise intensiv glimmerführende Karbonatgesteine, stets mit zwischengeschalteten m-dicken, stark schiefrigen Lagen.

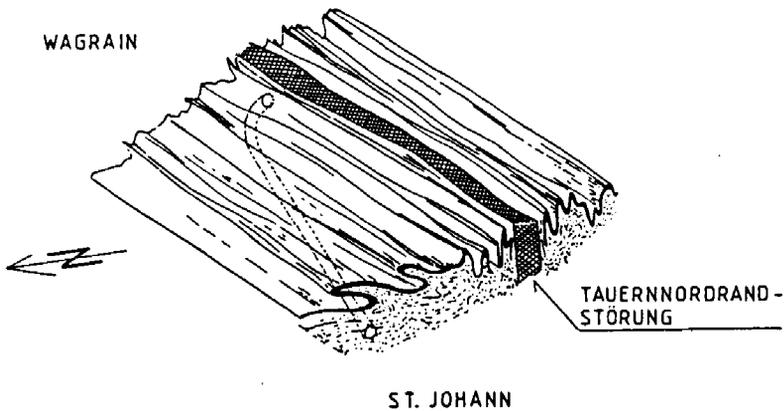


Abb. 15: Schematisiertes Blockdiagramm mit der Lage des Druckstollens in bezug zur Tauernnordrandstörung.

2.3. Beispiele von Gebirgskörpern, deren jetziger Verformungszustand entscheidend von jungen Verformungen wie Entspannungen und daraus resultierenden Lockerungen gekennzeichnet sind

Zur dritten Gruppe, zu den Verformungen, die zu den heutigen Geländeformen geführt haben, zählen im wesentlichen jene tiefgreifenden Verformungen des Felskörpers, die unter dem Begriff der „Hangtektonik“ zusammengefaßt werden.

Diese Verformungen fanden nach Anlegung und Zerbrechung des Felskörpers zu einem diskontinuierlichen Kluftkörperverband statt. Die Bedeutung dieser geologisch jüngsten Verformungen und deren Einfluß in technischer Hinsicht soll an zwei Beispielen aus dem Kraftwerkbau aufgezeigt werden.

Bei beiden Beispielen handelte es sich um tiefgehende Hanglockerungen und den daraus resultierenden, geologisch zu berücksichtigenden, Problemen für die Situierung von Absperrbauwerken – einer 133 m hohen, doppelt gekrümmten Bogenstaumauer beim Wasserkraftwerk in Jiroft/Persien und der 186 m hohen Bogenstaumauer Zillergründl in Tirol.

Bei der Sperre Jiroft: bestand der geologische Einsatz darin, mit Hilfe einer neuen geologischen Beschreibung und Beratung der Unternehmensgruppe eine bessere Anpassung an die unerwartet vorgefundenen geologisch-geotechnischen Gegebenheiten zu ermöglichen. Dies war deshalb notwendig geworden, da die während der Bauaufschließung und nach Beginn der ersten Sperrenaushubarbeiten auftretenden geologischen Verhältnisse im Vergleich mit den geologisch-technischen Grundlagen des Angebotes, deutlich abwichen. Die Sperrenstelle liegt in einer zirka 150–200 m Schluchtstrecke, die im wesentlichen aus Kalken aufgebaut wird. Diese enge Durchbruchstrecke konnte als ideale morphologische Voraussetzung für die Errichtung des Absperrbauwerkes angesehen werden.

Nach der geologischen Beschreibung des Projektanten – die Voruntersuchungen basierten auf zahlreichen Geländeaufnahmen, Bohrungen und Erkundungsstollen im Nahbereich der Sperrereinbindungsstelle – war zu erwarten, daß die gesamte Sperre in diesem mehr oder weniger einheitlich, massig ausgebildeten Riffkalk eingebunden werden kann. Im Hinblick auf das Großgefüge im Sperrereinbindungsbereich und seiner näheren Umgebung wurde auf eine Großkluft, eine spitzwinkelig zur Schlucht verlaufende, offene Steilkluft an der linken Flanke – aufmerksam gemacht. Diese 20–30 cm offene Kluft war mit Schluffsand und Gesteinsbrocken verfüllt und wurde für so bedeutend erachtet, daß ein auf sie abgestimmter Sanierungsvorschlag bereits im Projekt enthalten war.

Mit fortschreitender Erschließung der Baustelle und damit Aufschlußtätigkeit wurde jedoch immer mehr zur Gewißheit, daß die aus den geologisch-geotechnischen Voruntersuchungen gezogenen Schlüsse nur bedingt qualitativ richtig waren, jedoch große, quantitative Abweichungen erkennbar wurden. Dies betraf vor allem die sehr unterschiedliche qualitative Einschätzung der Kalk- und Mergelgesteine sowie der strukturellen Gefügegegebenheiten. So wird der massige Riffkalk von meterdicken, breziösen Mergelbänken durchsetzt, die entsprechend der örtlichen Schichtlagerung flach schluchtauswärts fallen. Durch die Kombination mit zahlreichen dezimeter- bis meterweit geöffneten oder sekundär verfüllten, schluchtparallelen Großklüften bestand eine 20 bis 30 m tiefgehende Gefügelockerung. Ein Umstand, der nicht nur bedeutende Auswirkungen in bezug auf die sichere Aufnahme der Kämpferkräfte hat, sondern auch für die Fragen der Aushubsicherung wesentlich erschien. Angesichts dieser Ge-



Abb. 16:
Sperrre Jiroft – Detailaufnahme einer schluchtparallelen, schluffig bis steinig verfüllten Großklüfte.

gebenheiten mußte man bald zur Überzeugung kommen, daß der tatsächliche Sperrrenaushub über den dem Projekt beigegebenen und vorgesehenen Plan beachtlich hinausgehen werde. Darüber hinaus war auch mit einem enormen Mehraufwand an Felsicherungsmaßnahmen zu rechnen.

Die geologische Beratung bestand nun darin, unter diesen schwierigen geologischen Gegebenheiten grundsätzlich eine technisch befriedigende Lösung zwischen projektmäßiger Aushubgestaltung und vorgefundener, strukturbedingter Bruchformen der Gesteine zu finden. So mußte laufend beurteilt werden, ob man bestimmte Ausbruchssituationen noch mit künstlichen Felsicherungsmaßnahmen

beherrschen könne oder die kritischen Felsbereiche abtragen müsse.

Insbesondere lufseitig der Sperrenaufstandsfläche waren unterschiedliche Strukturbereiche erkennbar. Abschnitte mit blockartiger Zerlegung nach schluchtparallelen, steilen Großklüften und flach auswärtsfallenden Schichtklüften wechselten mit Bereichen, die direkt in den Hauptstörungszonen lagen. In den äußeren Wandbereichen kam es zu derartigen Lockerungen nach Kluftritten, daß die übersteilen Felspakete bereits deutliche Zeichen des Zergleitens zeigten. In solchen Fällen blieb nichts anderes übrig als großräumig abzuräumen. Je tiefere Niveaus in den Sperrrenaushub einzu beziehen waren, umso häufiger trat man auf neue Steilklüfte, die spitzwinkelig oder angenähert parallel zur Schluchtachse verliefen. Um ein Hereingleiten der lockeren Großschollen auf schichtparallelen Mergelbändern hintanzuhalten, mußten schon tieferreichende Felsicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die geologisch bedingten Schwierigkeiten nahmen in der Folge allmählich ein Maß an, daß der Projektant sich gezwungen sah, die aus den geologisch-strukturellen Aufnahmen resultierenden Erkenntnisse und Empfehlungen aufzunehmen und zur Klärung der weiteren Vorgangsweise einen zusätzlichen Erkundungstollen herzustellen. Der Erkundungstollen bestätigte deutlich das weite Durchstreichen der offenen Großklüfte und damit die Notwendigkeit, diese auch in tieferen Lagen sowohl von der Sperrreinstatik als auch in bezug auf die Aushubsicherung voll berücksichtigen zu müssen. Damit zeichnete sich aber ab, daß der Aushub auf Bereiche ausgedehnt werden mußte, die mit dem Kabelkran nicht mehr erreichbar waren, sowie bestehende Baueinrichtungen wie Kübelpodest und Betonkai diesem Mehrausbruch zum Opfer fallen mußten (DEMNER, HÖRNINGER & NOWY, 1979).

Rückschauend mußte man zur Erkenntnis kommen, daß sich solche, aus den ungünstigen Gesteins- und Gefügestrukturen erwachsenen, gewaltigen Bauschwierigkei-



Abb. 17:
Sperrre Jiroft – Ansicht der linken, luft-
seitigen Sperrereinbindungsflanke.

Abb. 18:
Sperrre Jiroft – Ansicht der rechten,
luftseitigen Sperrereinbindungsflanke.



ten durch rechtzeitige Berücksichtigung bereits im Projektierungsstadium, zumindest hätten mildern lassen.

Das zweite Beispiel, wo aufgrund spezifischer Strukturbedingungen Verhältnisse angetroffen wurden, die den Sperrrentwurf ebenfalls entscheidend beeinflussten, ist die Sperrre Zillergründl in Tirol. Dieses hochalpine Speicherkraftwerk liegt im westlichen Teil des Zentralgneiskomplexes der Hohen Tauern, einer geologisch verhältnismäßig jungen Aufwölbung mit komplizierten Internstrukturen. Der Gesteinsinhalt

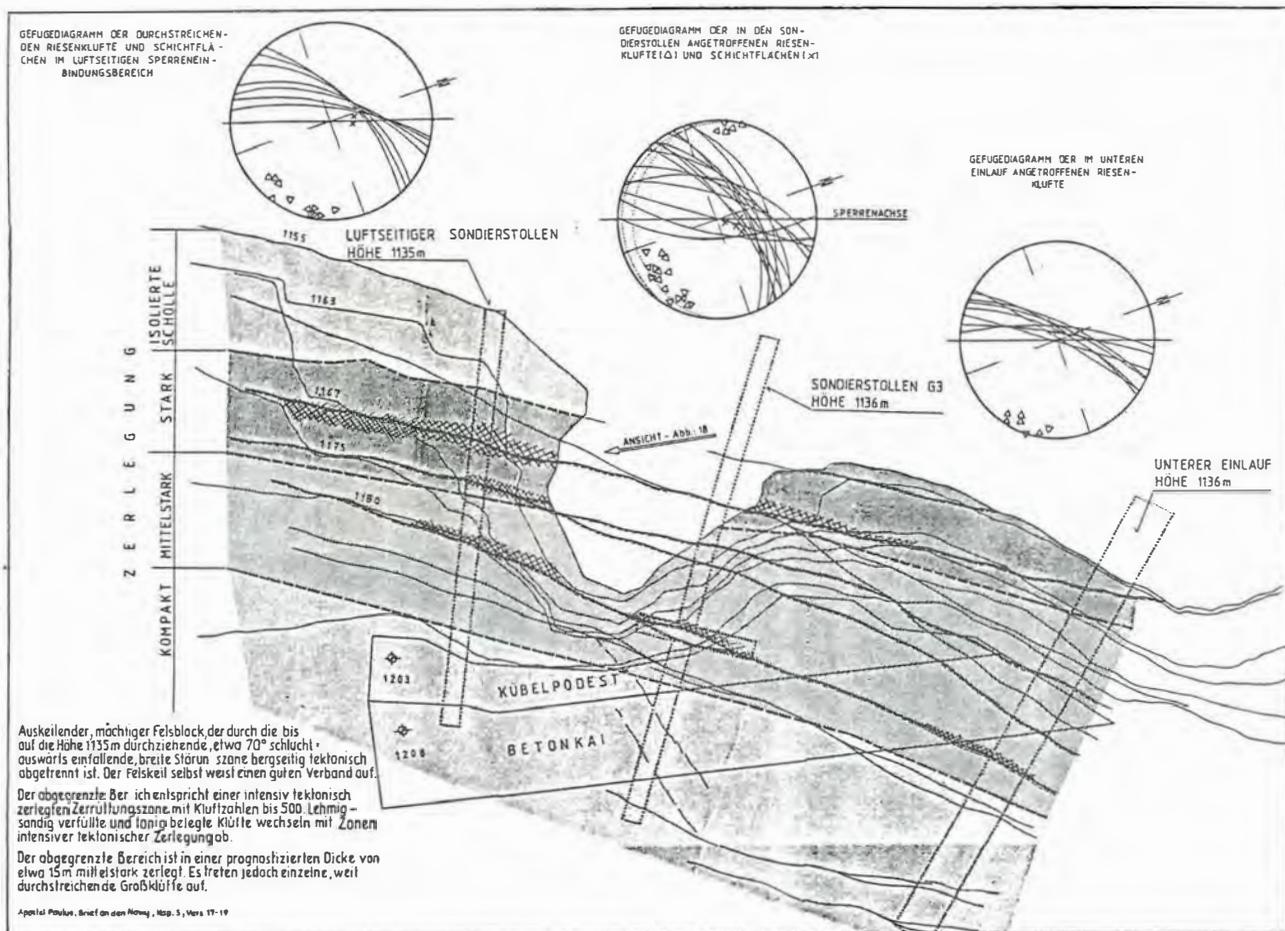


Abb. 19: Sperre Jiroft – Gefügesituation an der linken Einbindungsflanke.

des Zentralgneiskomplexes wird im wesentlichen von Graniten, Gneisen, Zweiglimmergneisen und zwischengeschalteten Biotitschieferlagen bestimmt.

Entgegen den bisherigen Gründungserfahrungen, der ebenfalls in diesem Zentralgneiskomplex liegenden Sperrn Schlegeis und Kölnbrein, wurden bei der Sperre Zillergründl Struktur- und Gefügeverhältnisse angetroffen, die für die Festlegung der Ausbuhrtiefe bestimmend waren. Eingehende Gefügestudien, insbesondere im Zuge der intensivierten geologischen Untersuchungen während der eigentlichen Projektierungsphase, konnten in den Sperrereinbindungsflanken eine tiefgehende Hanglockerung feststellen. Diese Gefügelockerung, die speziell die rechte Sperrnflanke betraf, wurde primär durch die ungünstige Raumstellung der tektonisch angelegten Diskontinuitätsflächen verursacht und führte schließlich zu einer deutlich über das übliche Ausmaß gehende Sperrereinbindetiefe.

Bereits nach Freilegung der Felsoberfläche im Bereich der vorgesehenen rechten Sperrereinbindungsflanke zeigte sich ein stark morphologisch, treppenförmig ausgebildetes Relief, welches auf die Kombination flacher, in Richtung Tal einfallender Großklüfte mit talparallelen, steilstehenden Trennflächen zurückzuführen war. Zusammen mit den Bohrergebnissen sowie Wasserabpreßversuchen, die einer Erkundung für die Injizierfähigkeit des Sperrnuntergrundes dienten, verstärkte sich der Verdacht, daß in der rechten Einbindungsflanke eine tiefreichende Auflockerung vorliegt. Im Zuge der genauen Strukturanalyse ergab sich eindeutig eine begünstigte Bewegungsmöglichkeit der Kluftkörper in Richtung der freien Oberfläche (NOWY, 1984).

Zur Absicherung, ob die laut Projekt vorgesehene Einbindetiefe der Sperre am rechten Hang tatsächlich zu gering sein könnte, wurden daher weitere geologische Erkundungen notwendig. Hierzu wurden in der rechten Einbindungsflanke in verschiedenen Höhenniveaus drei Sondierstollen aufgeföhren, um letztlich Auskunft über den

tatsächlichen Tiefgang der Lockerung zu bekommen. Die Gefügeanalyse ergab, daß im wesentlichen drei Hauptkluftgruppen vorlagen, und zwar



Abb. 20:

Sperre Zillergründl – Ansicht der rechten Sperrereinbindungsflanke nach Abräumung des Felsüberlagerungsmaterials. Stark morphologisch und treppenförmig ausgebildetes Felsrelief, welches auf Kombination der flach in Richtung Tal einfallenden Großklüfte mit den talparallelen Trennflächen zurückzuführen ist.

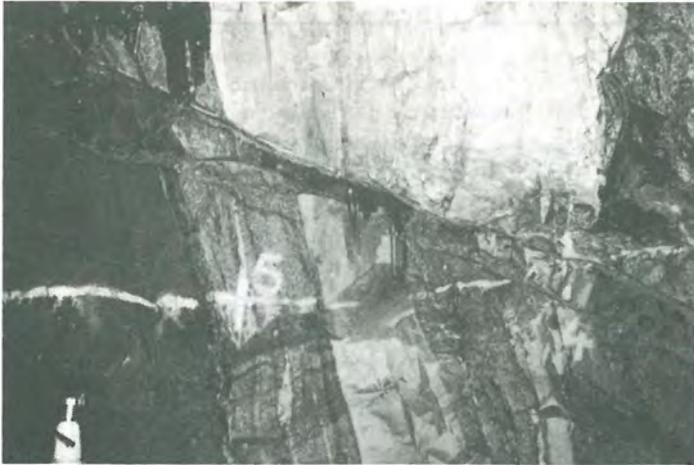


Abb. 21: Sperre Zillergündl – Flach talwärts in Richtung Luftseite ausfallende, sandig bis schluffig verfüllte Kluft am wasserseitigen Ulm auf Stollenstation 5 m des Sondierstollens.

- steilstehende, im wesentlichen schieferungsparallele Klüfte und Scherzonen, die den Gebirgsverband scheibenförmig zerlegen. Diese Trennflächen können sandig bis schluffig verfüllt sein und reichen bis in eine Tiefe von 40–50 m von der Oberfläche.
- flach gegen die Luftseite einfallende Großklüfte, welche im oberflächennahen Bereich Öffnungsweiten bis 5 cm und Schluffsandverfüllungen zeigten. In größerer Tiefe liegen diese Klüfte in geschlossener Form und nur mehr in kurzer Erstreckung vor. Aufgrund der Stollenaufschlüsse und zusätzlicher Erkundungsbohrungen konnte nachgewiesen werden, daß die offenen Trennfugen bis in eine Tiefe von zirka 35–40 m, horizontal gemessen, reichten.
- steilstehende, meist quarzverheilte Trennflächen, die angenähert in der Falllinie des Hanges streichen und die Kluftkörper in bezug zur Sperre von der Wasserseite trennen.

Die gefügeanalytischen Untersuchungen erbrachten eindeutig den Nachweis, daß die tiefgehende Hanglockerung durch die Kombination dieser drei Kluftgruppen verursacht wurde. Da die parallel zu den geologischen Erkundungsarbeiten laufenden statischen Untersuchungen von der Voraussetzung ausgingen, daß die von der Sperre in den Untergrund eingeleiteten Kräfte primär über die flachen, in Richtung Luftseite einfallenden Trennflächen abgeleitet werden, kam diesen Klüften die größte Bedeutung für die sichere Einbindung der Sperre in den Untergrund zu. Aufgrund der ermittelten felsmechanischen Kennwerte an diesen maßgebenden Trennflächen (Direkt-scherversuche, in-situ-Scherversuch) und ihren Beziehungen zu den von der Sperre in den Untergrund einleitenden Kräften ergab sich daher die Forderung, daß die Gründungssohle zumindest in eine Tiefe verlegt werden mußte, die unterhalb der flach, in Richtung Luftseite einfallenden, verfüllten Trennflächen lag. Erst damit konnte die Standsicherheit des rechten Sperrwiderlagers gewährleistet werden (WIDMANN, 1983; NOWY, 1984).

Als auslösendes Moment für diese tiefgreifende, asymmetrische Gefügelockerung muß der beim Rückzug der Eismassen aufgetretene Entspannungsvorgang angesehen werden. Die dadurch ausgelöste Verlagerung der einzelnen Kluftkörper zur freien Oberfläche hin, konnte am orographisch linken Hang durch die günstigere Raumlage

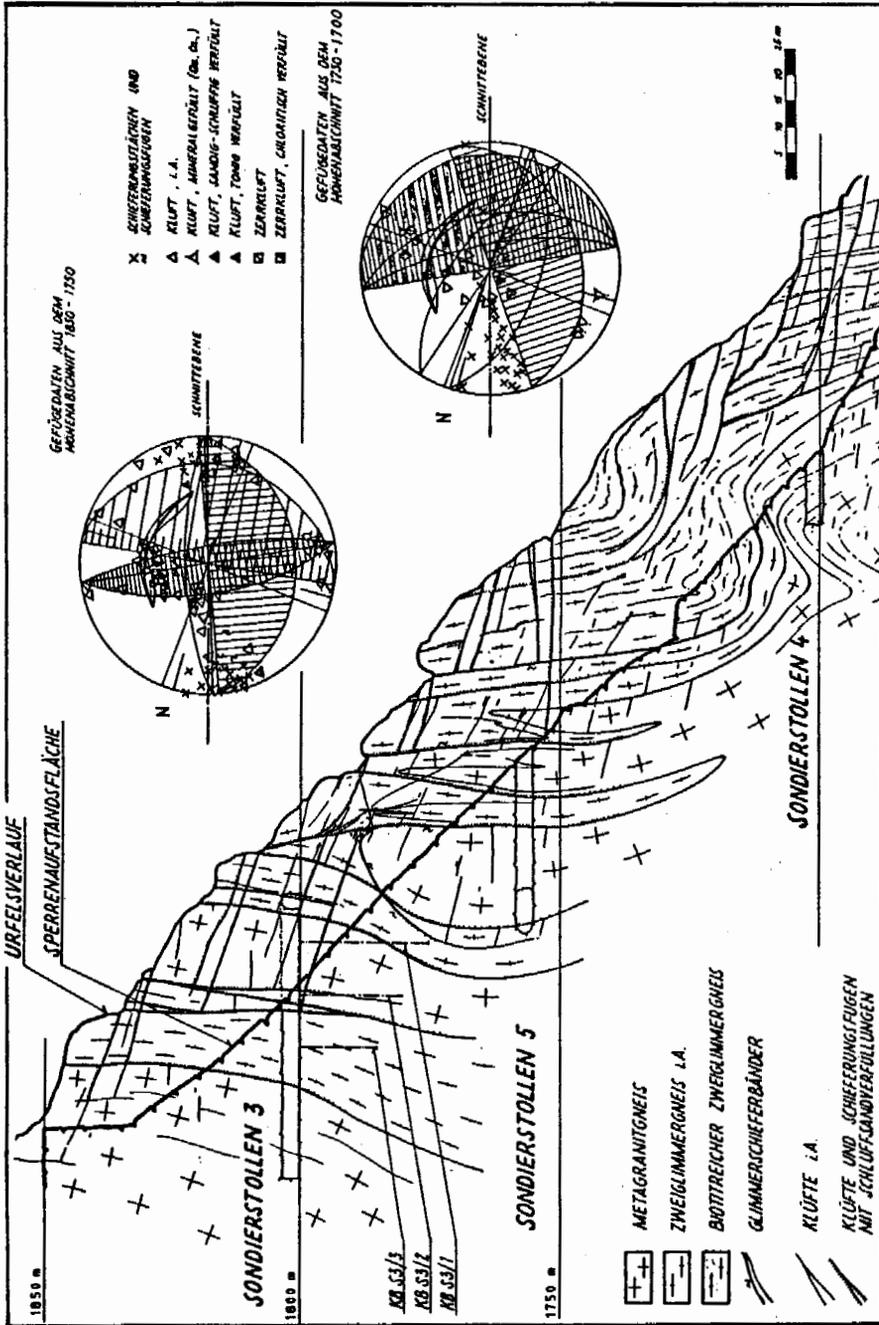


Abb. 22: Sperre Zillergründl – Detaillängenschnitt im luftseitigen Abschnitt der rechten Sperrenflanke Höhe 1850 m bis 1700 m aus: NOWY, 1984).

des Gefüges in bezug zur Talflanke weitgehend hintangehalten werden. Dagegen lagen am orographisch rechten Hang ideale Ausgangsbedingungen für die Lockerung vor. Die räumliche Orientierung und örtliche Lage der maßgeblichen Diskontinuitätsflächen war für die Reaktion einer ungehinderten Entspannung entscheidend und ließ damit eine Bewegungsmöglichkeit entlang der einzelnen vorgegebenen Kluftbahnen in den „freien Raum“ zu.



Abb. 23: Sperre Zillergründl – Tiefgehende Sperreneinbindung an der rechten Flanke.

3. Literaturverzeichnis sowie weitere empfehlenswerte Arbeiten

- CLAR, E.: Gebirgsbau und Geomechanik. – Geol. u. Bauwesen, 25(2–3), 186–190, Wien 1960.
- Gefüge und Verhalten von Felskörpern in geologischer Sicht. – Geol. u. Bauwesen, 28/1, 4–15, Wien 1963.
- Über den Gegensatz von Gestein und Fels. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmechanik TH Wien, H. 6, 41–53, Wien 1965.
- DEMME, W., HORNINGER, G. & NOWY, W.: Baugeologie beim Sperrenaushub –

- Ergänzende Erkenntnisse. – PORR-Nachrichten Nr. 79/80, 53–61, Wien 1979.
- NOWY, W.: Schartnerkogeltunnel – Baugeologie. – PORR-Nachrichten Nr. 77/78, 31–37, Wien 1979.
- EISENMENGER, O.: Schartnerkogeltunnel – Baudurchführung. – PORR-Nachrichten Nr. 77/78, 37–41, Wien 1979.
- FAIRHURST, C.: The Application of Mechanics to Rock Engineering. – Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering, 1–22, Johannesburg, 1976.
- HOBBS, B. E., MEANS, W. D. & WILLIAMS, P. F.: An Outline of Structural Geology. – 571 pp., New York (John Wiley & Sons) 1976.
- HOEPPENER, R.: Vorläufige Mitteilungen über ein genetisches System tektonischer Gefügetypen. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 353–367, Stuttgart 1959.
- Probleme der physikalischen Tektonik. – Z. dt. geol. Ges., 114/I. Teil, 206–227, Hannover 1963.
- Probleme der mechanischen Deutung tektonischer Gefüge. – Rock Mechanics, Suppl. 4, 11–20, Wien – New York 1975.
- LAUFFER, H.: Bogenstaumauer Jiroft. – PORR-Nachrichten Nr. 79/80, 50–53, Wien 1979.
- MALINA, H.: Berechnung von Spannungsumlagerung in Fels und Boden mit Hilfe der Elementenmethode. – Veröff. Inst. f. Boden- u. Felsmech., Univ. Karlsruhe, H. 40, Karlsruhe 1969.
- MOSTLER, H.: Einige Bemerkungen zur Salzach-Längstalstörung und der sie begleitenden Gesteine. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 14, 185–196, Wien 1964.
- MÜLLER, L.: Brechen und Fließen in der geologischen und geomechanischen Terminologie. – Geol. u. Bauwesen, 25, Wien 1960.
- Kriterien zur Erkennung der Bruchgefahr geklüfteter Medien. – Ein Versuch. – Rock Mechanics, Suppl. 2, 71–92, Wien – New York 1973.
- Aktuelle Fragen auf dem Grenzbereich zwischen Ingenieurgeologie und Felsmechanik. – Rock Mechanics, Suppl. 10, 1–8, Wien – New York 1980.
- Geomechanik-Felsbaumechanik-Felsbau. – Rock Mechanics, Suppl. 12, 1–18, Wien – New York 1982.
- NOWY, W. & LEIN, R.: Zur Geologie des Bosruck-Autobahntunnels (Pyhrnautobahn, Österreich). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 30/31, 45–94, Wien 1984.
- Sperre Zillergündl – Beeinflussung des Sperrenaushubes durch tiefgehende Hangauflockerung. – Felsbau 2/4, 200–207, Essen 1984.
- PIRCHER, W.: Erfahrungen im Fräsvortrieb bei der Kraftwerksgruppe Sellrain–Silz. – Rock Mechanics, Suppl. 10, 127–154, Wien – New York 1980.
- RIENÖSSL, K.: Normierungen in Bauverträgen für den maschinellen Tunnelvortrieb. – Rock Mechanics, Suppl. 10, 103–112, Wien – New York 1980.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. I. Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. – 215 S. (Springer), Wien 1948.
- Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. II. Die Korngefüge. – 409 S. (Springer), Wien 1950.
- SCHMIDT, W.: Tektonik und Verformungslehre. – 206 S. (Borntraeger), Berlin 1932.

- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. – Bd. I, 766 S. (Deuticke) Wien 1977.
- TURNER, F. J. & WEISS, L. E.: Structural analysis of metamorphic tectonites. – 454 pp. (McGraw Hill), New York 1963.
- WEISS, L. E.: The Minor Structures of Deformed Rocks. A Photographic Atlas. – 431 S. (Springer), Berlin 1972.
- WIDMANN, R.: Die Gründungsprobleme bei der Bogenstaumauer Zillergründl. – Felsbau, 1(3–4), 99–106, Essen 1983.

Manuskript eingelangt am 5. Mai 1986
angenommen am 14. Juni 1986

Versuch einer dynamischen Flutwellenberechnung am Beispiel des Staudammes Bolgenach

(A case study of calculating the flood-hydrograph resulting from a break
of the earth-dam of the Bolgenach reservoir)

von

Siegfried RADLER

mit 2 Abbildungen

Anschrift des Verfassers:

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Techn. Siegfried RADLER
Institut für Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur
Gregor Mengel-Straße 33
A-1180 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 187–197	Wien 1986
---------------------------------------	----	------------	-----------

Inhalt

Zusammenfassung, Abstract	188
1. Einleitung	188
2. Berechnungsannahmen	189
3. Berechnung der Förderfähigkeit	189
3.1. Breschenform	189
3.2. Hydraulische Annahmen	191
3.3. Hydrologische Annahmen	191
4. Geschieberegung	192
4.1. Berechnung nach DU BOYS	192
4.2. Berechnung nach MEYER-PETER und MÜLLER	192
4.3. Berechnung nach EINSTEIN	193
5. Diskussion der Ergebnisse	193
5.1. Variation der Anfangsbresche	193
5.2. Abbaufunktion nach SCHÖBER	194
5.3. Abbau nach geschiebetheoretischen Überlegungen	194
6. Schlußfolgerung	196

Zusammenfassung

Im Zuge der Erfassung der möglichen Auswirkungen eines Staudammbruchs wurde für den Speicher Bolgenach der Vorarlberger Kraftwerke AG (VKW) eine dynamische Ablaufberechnung durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchung war die Ermittlung einer Abflußganglinie, welche sich nach Bildung einer genügend großen Anfangsbresche einstellt. Die Abflußganglinie wurde sowohl nach einer vorgegebenen Abbaufunktion als auch nach verschiedenen geschiebetheoretischen Überlegungen ermittelt. Unter ungünstigsten Annahmen ist ein etwa säkulares Hochwasserereignis zu erwarten.

Abstract

A model is present for the break-flood of the earth-dam of the Bolgenach reservoir (Vorarlberger Kraftwerke AG. (VKW)) to determine the possible effects of a dam-break. The calculation yields a dynamic flood-hydrograph that results from an initial breach of known size. Inputs of the calculation are a predetermined degradation function and varying bedloads. Even under most unfavourable conditions, according to the model, a dam-break would not surpass the event of a once in a century occurring natural flood.

1. Einleitung

Bei der Errichtung von Speichern ist der Behörde (in Österreich: der Staubeckenkommission des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) prinzipiell eine sogenannte „Flutwellenberechnung“ vorzulegen. Für diese Berechnung sind je nach Art und Form der Talsperre verschiedene Annahmen zu treffen. Bei sehr schlanken

Mauern wird mitunter angenommen, daß plötzlich der gesamte Talquerschnitt durch eine Katastrophe freigesetzt wird (dies entsprach auch etwa der Katastrophe von Malpasset, Frankreich, im Jahre 1959), bei stärkeren Mauerquerschnitten wird eine Bresche im oberen Mauerteil angenommen. Bei derartigen Fällen handelt es sich um die Ermittlung des statischen Ablaufgeschehens, welche die Entleerung durch eine vorgegebene, zeitunabhängige Bresche beschreibt. Bei geschütteten Dämmen wird eine Anfangsbresche angenommen und die durch den Materialabtrag bedingte Vergrößerung der Bresche in zeitlicher Abhängigkeit festgelegt, so daß ein dynamisches Ablaufgeschehen simuliert wird.

Der vorliegende Bericht ist die Zusammenfassung der Ergebnisse einer diesbezüglichen Untersuchung am Institut für Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur für den Speicher Bolgenach der Vorarlberger Kraftwerke AG. Es wurde dabei der Versuch unternommen, den dynamischen Vorgang streng den hydraulischen und hydrologischen Gegebenheiten anzupassen. Neben dem hydraulischen Abflußvorgang des freien Überfalles spielte somit der Aufbau des Zonendamms mit den verschiedenen Kornzusammensetzungen am oberwasser- und unterwasserseitigen Stützkörper und dem Dichtungskern bei Anwendung verschiedener Geschiebetheorien eine ausschlaggebende Rolle. Der Vorarlberger Kraftwerke AG. sei an dieser Stelle für die Genehmigung dieser Publikation bestens gedankt.

2. Berechnungsannahmen

Für die Flutwellenberechnung des Staudammes Bolgenach wurde aufgrund der topographischen, geologischen, hydrologischen und bautechnischen Gegebenheiten angenommen, daß im Falle einer Talsperrenkatastrophe die Ausbildung einer trapezförmigen Vollbresche, ähnlich der des Teton-Dammes (Idaho, 1976), das Vorhandensein einer Anfangsbresche vorausgesetzt und für den Abbau eine Zeit von mehreren Stunden benötigt wird.

Der erste Teil der Ausarbeitungen befaßte sich mit der Erstellung der Abflußganglinie unter Berücksichtigung einer 2-stündigen Abbauphase des Damms, wobei eine von SCHÖBER (1977) vorgeschlagene Breschenform und Abbaufunktion des Damms zugrundegelegt wurde (Abb. 1). Da hier die Abbaufunktion in ihrem zeitlichen Verlauf bekannt war, galt es lediglich, den Durchfluß ohne Berücksichtigung auf die Schleppspannungsverhältnisse zu ermitteln. Der Breschendurchfluß hängt hier lediglich von der Energielinienhöhe über der Breschenkronen und einem in engen Grenzen schwankendem Abflußkoeffizienten ab.

Im zweiten Teil wurden nach Annahme einer Anfangsbresche mit Hilfe verschiedener Geschiebetheorien die tatsächlichen Erosionen errechnet.

3. Berechnung der Förderfähigkeit

3.1. Breschenform

Der in Abb. 1 dargestellte Querschnitt der Bresche wurde jeweils auf den Sperrhauptschnitt bezogen, bei der Annahme verschiedener Neigungen der Breschensohle mußten somit verschiedene Förderfähigkeiten resultieren. Die Wahl der Sohlneigung

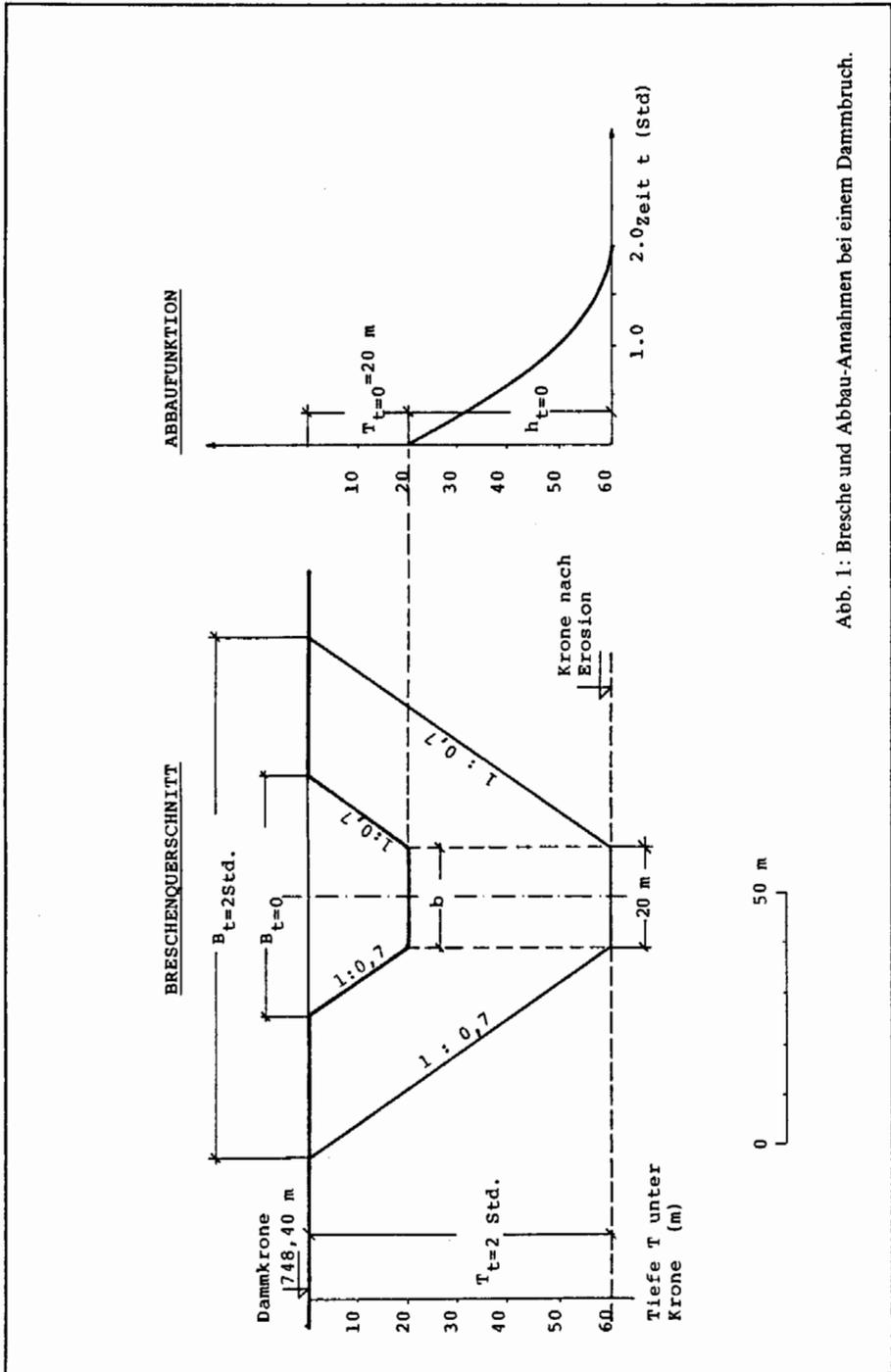


Abb. 1: Bresche und Abbau-Annahmen bei einem Dambruch.

der Bresche in Fließrichtung erfolgt unter Berücksichtigung der Energielinie, wobei der Maximalabfluß bei minimaler Energiehöhe dann gegeben ist, wenn unmittelbar über der oberwasserseitigen Breschenkante der Fließwechsel von Strömen auf Schießen stattfindet und allein der Reibungsverlust ausschlaggebend für die Sohlneigung ist. Als Rauigkeitsmaß wurde der Mittelwert d_m der Körnung der benetzten Breschenfläche herangezogen. Es zeigte sich, daß auch bei verschiedenen Sohlagen nahezu gleichbleibende Anteile von Stützkörper, Moränenkern und Steinschüttung resultierten, so daß mit einem einheitlichen $d_m = 0,12$ m gerechnet werden konnte.

3.2. Hydraulische Annahmen

Als Ausgangswasserspiegel wurde das Stauziel 744,2 m ü. A. angenommen und der ständige Zufluß eines einjährigen Hochwassers $HQ_1 = 92 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt.

Der Durchfluß wird mit der Formel für Trapezquerschnitt berechnet:

$$Q = C \cdot H^{1.5} \cdot (b_0 + 4/5 n \cdot H)$$

es bedeuten: C . . . Abflußbeiwert nach FRANK (1951)

H . . . Energiehöhe über Breschenkrone

b_0 . . . Sohlbreite der Bresche

n . . . Böschungsneigung der Bresche

Der Abflußbeiwert C ist vom Verhältnis der Stauraumbreite zur mittleren Breschenbreite abhängig.

Er nimmt generell mit zunehmender Speicherentleerung ab und kann mit genügender Genauigkeit von anfangs

$$C_0 = 1,49 \text{ (bei Stauziel)}$$

bis schließlich

$$C_e = 1,27 \text{ (bei Entleerung)}$$

linear über die Zeit abnehmend angesetzt werden.

Nicht berücksichtigt wurde hingegen die Trägheit des Wassers, die sich als flußauflaufender Sunk auswirkt und den Nachschub der Wassermassen für den rechnerisch ausgewiesenen Überfall verringert.

3.3. Hydrologische Annahmen

Ein Teil der Strömungsenergie des Wassers wird zum Geschiebetransport verwendet. Zur Vereinfachung wird vorausgesetzt, daß der Abtrag gleichmäßig über die gesamte Bresche erfolgt, wobei die Sohlerosion stark ausgeprägt ist. Hier bieten sich verschiedene Formen der Breschenausbildung an.

Anhand von bekannten Laborversuchen, sowie beobachteten Damnbrüchen (JOHNSON & ILLES, 1978) wurden verschiedene Böschungsneigungen und Sohlverbreiterungen untersucht.

Böschungsneigungen 1:0,4 und 1:0,7

Sohltiefung 2:3

Verbreiterung 1:3

Im Zuge des 2. Untersuchungsabschnittes wurde lediglich die

Böschungsneigung 1:0,7

jedoch keine Verbreiterung der Böschungssohle angenommen.

Bei der Berechnung der Geschiebebewegung wurde angenommen, daß sich das Material lose auf der Gerinnesohle befindet. Es wurde also weder die Verdichtung des Schüttmaterials noch die Verzahnung berücksichtigt. Die Steinschüttung an der Wasserseite wurde ebenfalls nicht gesondert berücksichtigt, sie ging nur über die Mittelwertbildung in die Berechnung mit ein. Weiterhin unberücksichtigt blieb die Tatsache, daß diese Steinschüttung innerhalb der Bresche eine Barriere bildet, die einen Sekundärabsturz mit anschließender Auskolkung verursachen wird. Die damit verbundene Seitenerosion wurde nur insofern berücksichtigt, als die Transportenergie für diese seitlich abgleitenden Massen aufgebracht werden mußte.

4. Geschieberegung

Die Abtragsberechnungen wurden nach folgenden Geschiebetheorien durchgeführt: DU BOYS – EINSTEIN – MEYER-PETER.

Für die Handhabung all dieser Formeln ist die Definition des das Korngemisch charakterisierenden Korndurchmessers notwendig. Aufgrund der Siebkurven wurde, übereinstimmend mit 3.1, der mittlere Korndurchmesser für jedes der drei verschiedenen Einbaumaterialien bestimmt.

4.1. Berechnung nach DU BOYS

Bei DU BOYS wandert das Geschiebe in Schichten, die Bewegung wird durch die Schleppspannung

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad \text{in (N/m}^2\text{)}$$

hervorgerufen. Das Geschiebekorn mit dem Durchmesser d wandert erst, wenn τ eine bestimmte kritische Größe erreicht hat, d. h. wenn das Energieliniengefälle I groß genug wird. Für diese kritische Größe τ_0 liegt eine graphische Auswertung vor (ZELLER, 1963). Die Tatsache, daß es sich im gegebenen Falle mit einer Strömung über vier Zonen verschiedener mittlerer Korndurchmesser handelte und überdies die graphischen Auswertungen über Gebühr extrapoliert werden mußten, hatte unverhältnismäßig hohe Transportwerte zur Folge, so daß auf die Wiedergabe dieser Ergebnisse verzichtet wird.

4.2. Berechnung nach MEYER-PETER & MÜLLER (1949)

Die Geschiebeformel nach MEYER-PETER wurde experimentell in einem Kanal von 50 m Länge und einem Querschnitt von 2,0 m x 2,0 m gefunden. Beim Geschiebe handelte es sich um Material mit Korndurchmesser von 5 bis 30 mm und einer spezifischen Dichte von $2,68 \text{ t/m}^3$. Die Formel berücksichtigt die spezifische Dichte des Geschiebes, den Abfluß pro Breitereinheit, das Energieliniengefälle und den einheitlichen Korndurchmesser.

Um die Formel für praktische Aufgaben anwendbar zu machen, müssen statt den einheitlichen Korngrößen Geschiebegemische verwendet werden. Das vorhandene Energiegefälle wird in 2 Komponenten zerlegt, und zwar in einen reinen Reibungsanteil I_r und einen von der Sohlkonfiguration abhängigen Anteil I_w , welcher durch Wir-

belbildung hervorgerufen wird. Über die Beziehung zwischen Schubspannungsintensitätsparameter und REYNOLDS'scher Zahl Re (ZIPPE, 1973 und EINSTEIN, 1950) läßt sich feststellen, um welche Bettform es sich handelt und, sofern Flachbettaußbildung vorliegt, kann $I_r \approx I$ gesetzt werden.

4.3. Berechnung nach EINSTEIN (1950)

Die Untersuchungen von EINSTEIN beruhen auf der Theorie, daß die Geschiebebewegung durch „Gleiten“, „Rollen“ und „Hüpfen“ der Einzelkörner charakterisiert werden kann. Aufgrund vieler Versuche stellte EINSTEIN fest, daß sich ein Korn gegebenen Durchmessers in einer Reihe von Einzelbewegungen konstanter mittlerer Länge fortbewegt. Die Kornzahl, die aus einem Flächenelement pro Zeiteinheit abtransportiert wird, ist eine Funktion der Körner eines bestimmten Durchmessers und der Wahrscheinlichkeit ihres Wegtransportes. Mit Hilfe der Turbulenztheorien wurde diese Wahrscheinlichkeit formelmäßig erfaßt und ist unter dem Namen „EINSTEIN'sche Geschiebefunktion“ bekannt.

Unter diesen Annahmen werden Anlandung und Abtragung gegenübergestellt, wobei

$$\Phi = f(\Psi) \text{ ist.}$$

Es bedeuten: Φ . . . die Transportintensität; Ψ . . . die Fließintensität.

Diese beiden „Intensitäten“ sind dimensionslose Größen und berücksichtigen Dichte, Korndurchmesser und spezifische Dichte des Transportmediums und die hydraulischen Kennwerte des Gerinnes (R, I).

Bei uneinheitlichen Korndurchmessern wird der von EINSTEIN repräsentative Korndurchmesser d_{35} verwendet.

Diese Gleichung ist universell anwendbar und lieferte auch in unserem Fall die glaubwürdigsten Ergebnisse.

5. Diskussion der Ergebnisse

Zur Berechnung der Abflußganglinie und der diversen anderen Zeitfunktionen wurde ein FORTRAN-Programm für die CYBER 74 geschrieben.

Es zeigte sich, daß mit der vereinfachten Speichergleichung bei einem Intervall von 10 bis 20 sec. der Vorgang ausreichend genau beschrieben werden kann.

5.1. Variation der Anfangsbresche

Folgende Faktoren wurden untersucht:

- Auswirkung des Gefälles
- Auswirkung der Anfangstiefe
- Auswirkung der Anfangsbreite
- Auswirkung der Seitenerosion

Bei Anwendung der Formel von EINSTEIN und Berücksichtigung der Seitenerosion mußte, um innerhalb einer Zeit von etwa 2 Stunden die Erosionsbasis erreichen zu können, ein Minimalgefälle von 6% angesetzt werden, nahezu unabhängig davon, wel-

che Anfangsbresche gewählt wurde.

Wenn auch die Abmessungen der Anfangsbresche nicht sonderlich auf die Ausbildung der Endsohle einwirken, so waren sie für das Abflußmaximum ausschlaggebend. Es zeigte sich, daß sowohl nach EINSTEIN als auch nach MEYER-PETER die Anfangsbreite für den nachfolgenden Erosionsvorgang einen wesentlich größeren Einfluß hatte als die Anfangshöhe.

Auf diese Weise wurden 10.000 Sekunden nach Dambruch bei einer Breiten- und Tiefenvariation der trapezförmigen Anfangsbresche zwischen 20 m und 10 m bzw. 20 m und 5 m Erosionssohlen zwischen Kote 693,4 m ü.A. und 690,6 m ü.A. und Maximalabflüsse zwischen $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ und $3.700 \text{ m}^3/\text{s}$ errechnet.

Die offensichtliche Diskrepanz, daß Ereignisse mit kleinerer Anfangsbresche größere Spitzenabflüsse, nach 10.000 sec. jedoch noch eine höhere Erosionsbasis aufwiesen, hat mehrere Ursachen:

- Zunächst erfolgt durch eine kleinere Bresche (insbesondere durch Verringerung der Breschenhöhe) eine Verlagerung des Erosionsvorganges. Dadurch kommt es durch die Annahme des ständigen Zuflusses von HQ_1 zu einer geringfügigen Spiegelerhöhung. Der Erosionsvorgang beginnt tangentiell von Null.
- Durch die willkürliche Annahme der Seitenerosion ($\Delta B/\Delta H = 1/3$) wirkt sich die Zunahme der Breschenbreite trotz des linearen Auftretens im Abflußgeschehen wesentlich stärker aus als die Höhenzunahme, die zur 1,5-ten Potenz wirkt.
- Der Vergleich von Geschiebefluß und Abfluß zeigt, daß hier in erster Linie der spezifische Abfluß ausschlaggebend ist (Abb. 2).

5.2. Abbaufunktion nach SCHOBER

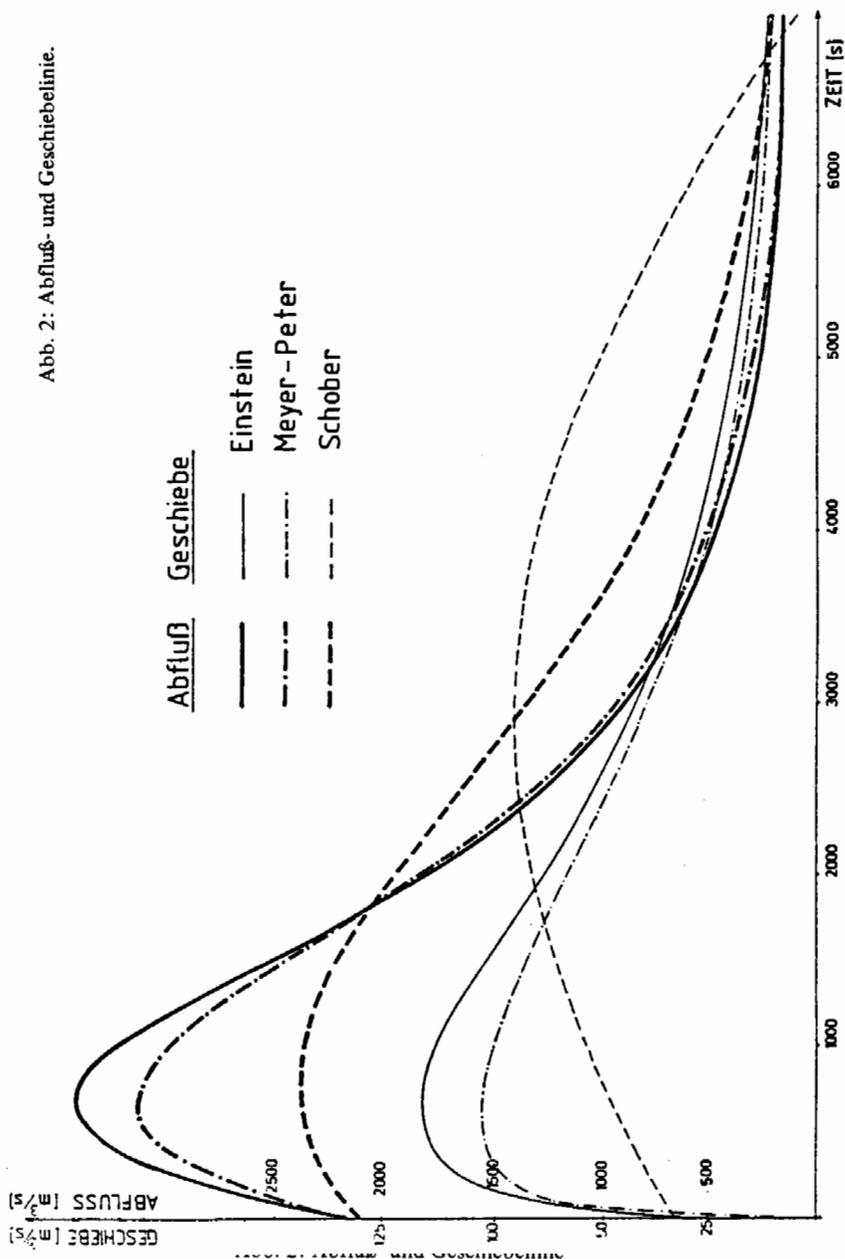
Da die Abbaufunktion in ihrem zeitlichen Verlauf bekannt ist, kann die Abflußganglinie aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten errechnet werden; Die Neigung der Breschensohle wurde variiert und aus Vergleichszwecken mit 6 % dargestellt (Abb. 2). Der maximale Geschiebefluß beträgt gleichbleibend für alle Neigungen $70,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.3. Abbau der geschiebethoretischen Überlegungen

Der Vergleich der unter 5.2 gewonnenen Ergebnisse mit dem unter Verwendung der Formeln von EINSTEIN und MEYER-PETER resultierenden Abflußgeschehen läßt interessante Schlüsse zu: wiederum unter Variation des Sohlgefälles resultierten nach EINSTEIN folgende Maximalabflüsse und dabei gleichzeitig auftretende maximale Geschiebeabflüsse:

I_S	Q_{\max} (m^3/s)	nach sec.	G_{\max} (m^3/s)
4 %	2.878	550	56,5
5 %	3.146	680	74,5
6 %	3.407	710	91,3
7 %	3.690	750	116,8

Das Abflußgeschehen bei $I = 6\%$ ist wiederum vergleichsweise in Abb. 2 dargestellt.



Einen ähnlichen Verlauf zeigt auch die Berechnung nach MEYER-PETER, wobei das Ergebnis von EINSTEIN jeweils bei einem etwa 1 % größeren Gefälle erreicht wird:

I_S	Q_{\max} (m^3/s)	nach sec.	G_{\max} (m^3/s)
4 %	2.477	500	38,2
5 %	2.788	600	56,2
6 %	3.142	700	77,6
7 %	3.501	750	101,8

Im Hinblick auf die diversen Randbedingungen und Berechnungsvereinfachungen (keine Verdichtung, gleichmäßige Körnung, gleichmäßiges Gefälle usf.) sind die nach der Geschieberegung ermittelten Werte sicherlich als oberste Grenzwerte zu betrachten. Die nach der Abbaufunktion von SCHÖBER ermittelte Abflußganglinie hat trotz der physikalischen Unstimmigkeit zwischen Maximalabfluß und maximalem Geschiebefluß, vor allem aber wegen der rechnerisch nicht erfaßbaren Abbauvorgänge gerechtfertigten Anspruch auf Anerkennung.

6. Schlußfolgerung

Trotz der Notwendigkeit, eine Reihe von hydraulischen, hydrologischen und bodenmechanischen Berechnungsvereinfachungen anzunehmen, ist es im Zuge dieser Untersuchung gelungen, eine mehrfach verknüpfte Haushaltsbeziehung zwischen Speicherinhalt, Abtragskubatur, Schleppspannung und Abflußganglinie herzustellen.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß nicht nur die Dimensionen der Anfangsbresche und das Sohlgefälle, sondern vor allem die Annahme der Entwicklung der Bresche eine sehr große Rolle spielen.

Die Geschiebetheorien nach EINSTEIN und MEYER-PETER zeigen gute Übereinstimmung, wobei der Ansatz nach SCHÖBER aufgrund der zahlreichen Vereinfachungen realistischer erscheint.

Flußab der Sperrenstelle verläuft die Bolgenach bis zur Mündung in die Weißach und diese schließlich in die Bregenzerach bis Kennelbach, 7 km flußauf Bregenz, in einem engen, nahezu unbesiedelten Tal.

Das Abfuhrvermögen der Bregenzerach von Kennelbach bis zum Bodensee ist für ein $HQ_{100} = 1200 m^3/s$ durch eine Regulierung gewährleistet (Freibord 1,6 m). Ohne Freiburg beträgt die Schluckfähigkeit zwischen $2.250 m^3/s$ und $2.670 m^3/s$.

Unter Berücksichtigung der relativ kurz andauernden Abflußspitze bei der Sperrenstelle, der geringen Fracht der Flutwelle und der langen Fließstrecke im unbesiedelten Gebiet (ca. 25 km) kann angenommen werden, daß der Spitzenwert vom Speicher bis Kennelbach mindestens auf die Hälfte abgebaut wird. Nach Erfahrungswerten bei Flutwellenberechnungen nimmt die Maximalintensität von der Sperrenbruchstelle rasch mit der Entfernung von dieser ab, wobei die Faustformel gilt: in der Entfernung $L = 1000 H$ (Sperrenhöhe) beträgt der Abfluß nur mehr 1/4 bis 1/8 des Initialflusses.

In Anbetracht der extrem ungünstigen Annahmen sind somit die Auswirkungen eines Dammbrechens mit einem saekularen Hochwasserereignis vergleichbar.

Schrifttum

- EINSTEIN, H. A.: The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. – United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bull., Nr. 1026, 1950.
- FRANK, J.: Betrachtungen über den Ausfluß beim Bruch von Stauwänden. – SBZ, 69, Nr. 29, 1951.
- GRAF, W.H.: Sedimenttransport in Gerinnen und Röhren. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, Wien. – Fachveranstaltungen Bd. V, Teil 1, 1973.
- JOHNSON, F. A. & ILLES, P.: A classification of dam failures. – Water Power, 28, Nr. 12, 1976.
- MEYER-PETER, E. & MÜLLER, R.: Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebes. – SBZ, 67, Nr. 3, 1949.
- SCHOBER, W.: Gutachtliche Stellungnahme – Staudamm Bolgenach, dammbautechnische Gesichtspunkte für die Flutwellenberechnung. – 1977 (nicht veröffentlicht).
- ZELLER, J.: Einführung in den Sedimenttransport offener Gerinne. – SBZ, 81, Nr. 34, 1963.
- ZIPPE, H. J.: Praktische Anwendung einiger Geschiebegleichungen und Vergleich deren Resultate. – Wiener Mitt., H. 14, Hydrologie-Fortbildungskurs 1973.

Manuskript eingelangt am 10. April 1986
angenommen am 17. Juni 1986

**Baugeologische Untersuchungen einer Felsgleitung
an der Südbahn A 2**

von

G. RIEDMÜLLER und B. SCHWAIGHOFER

mit 2 Abb., 1 Tab. und 1 Beil.

Anschriften der Verfasser:

Univ. Prof. Dr. G. Riedmüller
Technische Universität Graz
Institut für Technische Geologie,
Petrographie und Mineralogie
Rechbauerstraße 12
A-8010 Graz

Univ. Prof. Dr. B. Schwaighofer
Universität für Bodenkultur
Institut für Bodenforschung und Baugeologie
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien

Inhalt

Kurzfassung, Abstract	200
1. Einleitung	200
2. Geologische Untersuchungen der Böschungsverformungen	202
3. Ergebnisse der Laboruntersuchungen	202
4. Schlußfolgerungen	203
5. Literatur	205

Kurzfassung

Im Zuge der Bauausführung einer Einschnittsböschung an der Südautobahn A 2 traten Felsbewegungen nach vorgegebenen Trennflächen auf. Bewegungsmechanismus und Bewegungsrichtung konnten aufgrund von Geländeuntersuchungen erfaßt werden.

Als Hauptgleitflächen fanden sich flach lagernde, talwärts einfallende Schieferungsflächen mit tonigen Myloniten.

Laboranalysen der tonigen Zwischenmittel ergaben niedrige Restscherwinkel, die auf einen höheren Gehalt von Montmorillonit zurückgeführt werden konnten.

Es zeigte sich, daß die Standsicherheit von Felsböschungen durch das Auftreten von quellfähigen Tonmineralen in Belägen und Zwischenmitteln potentieller Gleitflächen beeinflußt wird und daß auch bei nur gering talwärts einfallenden Gleitflächen bedeutende Felskörperbewegungen auftreten können.

Abstract

During the construction of a cut along the route of the A 2 motorway movements of a rock slope on planes of discontinuities were observed. Mechanism and direction of movements were determined by geological field investigations and measurements.

Sliding took place mainly on gouge-field cleavage planes exhibiting a flat dip into the valley. Laboratory tests on the clayey fillings showed low residual strength, apparently due to the high percentage of montmorillonite.

It can be concluded that the stability of rock slopes is influenced by the content of swelling clay minerals in the slide plane fillings, which causes rock movement even where the angle of dip of the slide planes is very small.

1. Einleitung

Eine wesentliche Aufgabe bei der Projektierung und Ausführung von Verkehrswegebauten ist die Beurteilung der Standsicherheit von Einschnittsböschungen. Die Böschungsstabilität wird durch eine Reihe geologischer Parameter bestimmt. Für Felsböschungen ist vor allem der Einfluß des Trennflächengefüges (Raumlage, Trennflächencharakteristik, Zerlegungs- und Durchtrennungsgrad etc.) von Bedeutung.

Die wichtigsten geologischen Einflußfaktoren können vom Baueologen und Geotechniker schon während der Voruntersuchung durch Geländekartierungen und mit-



Abb. 1: Oberer Böschungsrand am 18. 4. 1980; Blick gegen Süden.

tels künstlicher Aufschlüsse erfaßt werden. Vielfach ist jedoch eine Stabilitätsbeurteilung erst beim Großaufschluß während der Baudurchführung möglich.

Im folgenden wird dazu ein Beispiel von der Planung und Bauausführung der Südautobahn im Abschnitt Pittental gebracht. Es wird dabei gezeigt, daß auch Einschnitte in standfest prognostizierten, flach lagernden Kristallinkomplexen durch das vereinzelte Auftreten nur geringmächtiger toniger Mylonite zu unerwarteten Stabilitätsproblemen führen können.

Bei den geologischen Voruntersuchungen im Baulos Gleissenfeld–Warth konnte aufgrund der Geländebefunde für den ca. 20 m tiefen Einschnitt zwischen km 57.10 und km 57.67 das Auftreten flach lagernder Phyllite vorhergesagt werden (RIEDMÜLLER 1967, 1971). Sie standen im Trassenbereich an und bildeten ca. 200 m östlich der Trasse an der Bundesstraße eine nahezu senkrechte, etwa 20 m hohe Wandstufe. Der gesamte Kristallinkomplex ist horstartig durch steilstehende junge Störungen gegen lehmige, tertiäre Sedimente abgegrenzt.

Schon aufgrund der Geländekartierungen schienen die geologischen Verhältnisse soweit geklärt, daß durch Aufschließungen lediglich der Grenzbereich Kristallin/Tertiär und die Mächtigkeit der Überlagerung erkundet werden sollte. Auf eine Untersuchung des Felszustandes mittels Kernbohrungen bis auf das Niveau des Planums wurde verzichtet. Aufgrund der geologischen Beurteilung des Kristallineinschnittes wurde die Herstellung einer unverkleideten Böschung mit einer Neigung von 1 : 1 empfohlen.

Die Bauausführung erfolgte im Frühjahr 1980. Unmittelbar nach Fertigstellung des Einschnittes kam es bereits zu Böschungsdeformationen in Form von Auflockerungen und kleinen lokalen Kriechbewegungen. Die Böschung wurde daraufhin auf 1 : 2 verflacht.

Ca. zwei Wochen später traten im Zusammenhang mit starken Niederschlägen erneut Bewegungen auf, diesmal in einem wesentlich stärkeren Ausmaß: die äußersten Anrisse reichten bis über die Böschungskante hinaus (Abb. 1). Außerdem zeigten sich bereits Hebungen und Risse im Planum. Daraufhin wurden zur genaueren Abgrenzung der Böschungsbewegungen und zur Erfassung des Bewegungsvorganges bzw. der Ursachen geologische Untersuchungen eingeleitet (RIEDMÜLLER & SCHWAIGHOFER 1980).

2. Geologische Untersuchungen der Böschungsverformungen

Der Einschnitt zwischen km 57.300 bis km 57.600 befindet sich in einer Kristallinserie aus quarzreichen Chloritphylliten und phyllitischen Glimmerschiefern. Vereinzelt fanden sich geringmächtige Lagen von Graphitphyllit. In den Randbereichen des Einschnittes war eine tiefgründige, braunlehmartige Verwitterung festzustellen.

Die Schieferungsflächen der Phyllitfolge zeigten eine flache Lagerung mit vorherrschendem Einfallen gegen NE. Als Haupttrennflächen fanden sich steilstehende, annähernd böschungsparell NNW–SSE verlaufende Klüfte sowie NE–SW streichende Kluft- und Harnischflächen.¹⁾

Im unteren Drittel der Einschnittsböschung traten mehrere schieferungsparallele, tonige Mylonithorizonte mit Mächtigkeiten im Zentimeter- bis Dezimeterbereich auf. Sie wirkten als Wasserstauer und führten zu Vernässungen. Stärkere Wasseraustritte wurden am Böschungsfuß der Profile 549 und 554 registriert (Beil. 13).

In den Profilen 551, 552 und 554 wurde der untere Bereich der Böschung durch bis zu 4 m tiefe Künetten, die unter das Planum reichten, aufgeschlossen. Dabei wurde beobachtet, daß sich die Mylonithorizonte unterhalb des Planums fortsetzten und als Bewegungsflächen wirksam waren. Als Hauptbewegungsbahnen kamen zwei, aus Graphitphyllithorizonten hervorgegangene, bis ca. 50 cm mächtige, schieferungsparallele, tonige Mylonitzonen in Betracht. Sie fielen flach nach NE zum Planum hin ein und waren bereichsweise stark durchnäßt und breiig aufgeweicht (Abb. 2).

Entlang dieser bereits vorgegebenen Diskontinuitäten entwickelte sich eine Felsgleitung. Das Ausmaß der Bewegung ließ sich an den progressiv fortschreitenden, sich zunehmend öffnenden Geländeanrissen sowie an Relativbewegungen in den Felskünetten beobachten. Die Bewegungsrichtung war durch Striemungsmessungen erfaßbar (Beil. 13). Es zeigte sich, daß der Felskörper mit einer Geschwindigkeit von ca. 2–3 cm/Tag nach NE abglitt.

Die schräg zur Trasse verlaufende Bewegungsrichtung war auf die steil stehenden NE–SW streichenden Harnisch- und Hauptklufflächen zurückzuführen.

3. Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Die tonigen Mylonite der Hauptgleitflächen wurden zur Ermittlung mineralogischer

1) Die statistische Auswertung der Gefügemessungen erfolgte nach F. KOHLBECK und A. E. SCHEIDEGGER (1977). Für die Adaptierung des Rechenprogrammes an der Technischen Universität Graz wird Herrn Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. F. KOHLBECK bestens gedankt.

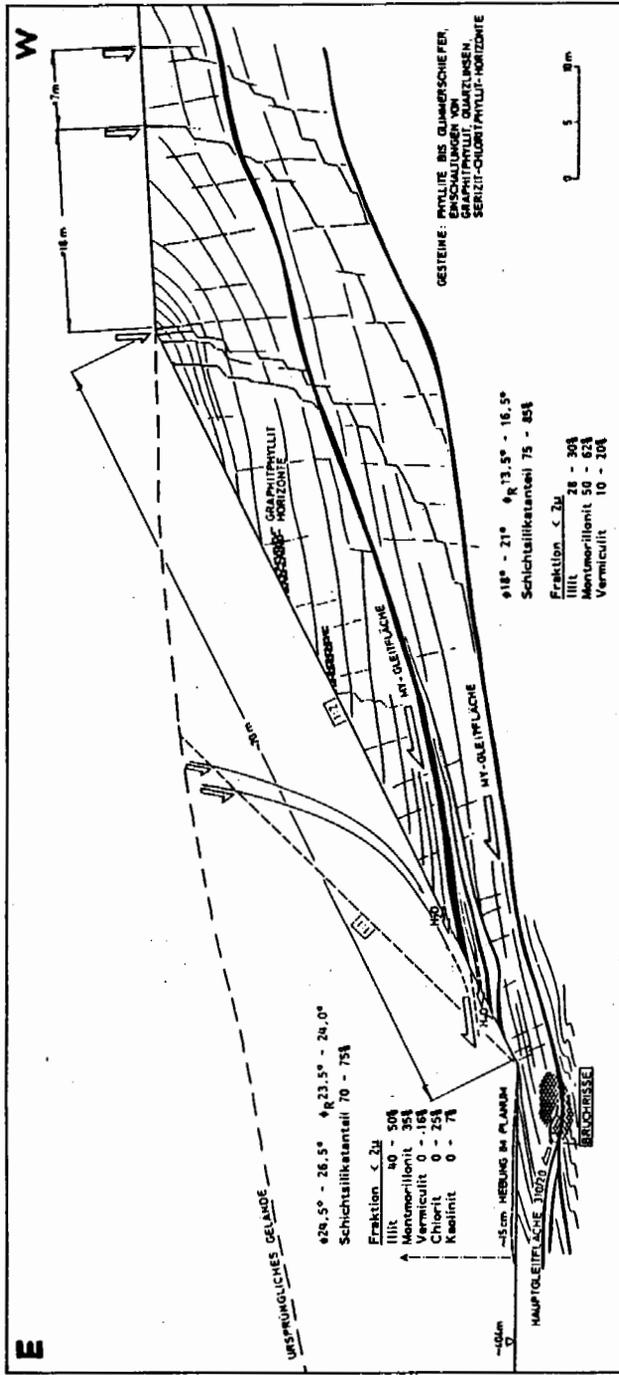


Abb. 2: Geologisches Querprofil (552) bei km 57,450.

Tabelle 1: Mineralogische und bodenmechanische Kennwerte

Proben	Gesamtmineralbestand in Rel %			TM-Verteilung in Rel% ($< 2 \mu\text{m}$)				Gesamt- gehalt MO (%)	Ip %	ϕ	ϕ_R
	SCH	QU	FSP	ILL	MO	VC	KAO				
1	75	20	5	12	35	.16	7	-	-	-	-
2	70	27	3	52	35	13	Sp	-	-	-	-
3	69	24	7	41	34	-	-	25	9,3	24,5°	24,0°
4	85	10	5	50	Sp	-	-	50	-	26,5°	23,5°
5	76	20	4	28	62	10	-	-	20,1	21,0°	15,0°
6	83	13	4	30	50	20	-	-	16,7	18,0°	13,5°

SCH = Schichtsilikate
 QU = Quarz
 FSP = Feldspat

ILL = Illit
 MO = Montmorillonit
 VC = Vermiculit
 KAO = Kaolinit
 CHL = Chlorit

und mechanischer Kennwerte beprobt.¹⁾

Die Proben 1 bis 4 stammen aus der oberen Mylonitzone, die Proben 5 und 6 wurden aus dem unteren Mylonithorizont entnommen.

Die Analysen umfaßten die röntgendiffraktometrische Bestimmung des Gesamtmineralbestandes und der Tonmineralverteilung in der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$. Bei Probe 4 war nur die Fraktion $< 20 \mu\text{m}$ gewinnbar.

An bodenmechanischen Kennwerten wurden Kornverteilung, Atterberg'sche Zustandsgrenzen, Scherfestigkeit, Restscherfestigkeit und Kohäsion ermittelt.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Analysendaten ist in nachstehender Tabelle dargestellt.

Bei sämtlichen untersuchten Proben ließ sich ein deutliches Vorherrschen der Schichtsilikate (Glimmer, Chlorit, Tonminerale) feststellen.

Die Analyse der Feinfraktionen ergab, daß Illit und Montmorillonit in allen Proben auftraten. In einigen Proben fanden sich zusätzlich wechselnde Mengen von Vermiculit, Kaolinit und Chlorit.

Es war auffällig, daß in den Proben 1 bis 4 des oberen Gleithorizontes überwiegend Illit auftrat, während die Proben 5 und 6 aus der unteren Gleitfläche hauptsächlich aus Montmorillonit bestanden.

Dieser Unterschied in der Tonmineralführung stimmte gut mit den bodenmechanischen Kennwerten überein. Der höhere Anteil an stärker hydratisierbarem, quellfähigem Montmorillonit im unteren Bewegungshorizont entsprach der deutlich niedrigeren Restscherfestigkeit.

4. Schlußfolgerungen

Aufgrund der geologischen Geländeaufnahmen, Erfassung der Gefügedaten und zusätzlicher Laboranalysen konnte ein Modell der Böschungsbewegungen erstellt werden. Es zeigte sich, daß hier eine Felsbewegung nach vorgegebenen Bewegungsflächen erfolgte.

Derartige Felskörperbewegungen entlang Trennflächen mit niedrigen Scherfestigkeiten sind ein sehr häufig beobachtbarer Bewegungsvorgang bei instabilen Felsböschungen (KRAUTER 1973, HEITFELD 1978, ZARUBA und MENCL 1961, 1969).

Für die Stabilitätsbeurteilung solcher Böschungen muß das Gebirge als Diskontinuum betrachtet werden. Sein Verformungsverhalten wird jeweils durch das mechanisch schwächste Teilstück des Gesamtsystems bestimmt. Sehr häufig sind dies Schieferungs- und Schichtflächen mit toniger mylonitischer Ausbildung bzw. tonigem Zwischenmittel.

Verhindern die Zwischenmittel einen direkten Kontakt der Klufkörper des Festgesteins, so ist für die Festigkeit und Deformation des Gebirges die Restscherfestigkeit des tonigen Zwischenmittels maßgeblich (HÖWING und KUTTER 1985 a, b).

Einen sehr ungünstigen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften hat das reversibel quellfähige Tonmineral Montmorillonit. Durch Hydratisierung und Quellung wird die Gleitfähigkeit stark erhöht, sodaß auch bei nur gering geneigten, nahezu ho-

1) Die bodenmechanischen Analysen wurden am Institut für Geotechnik und Verkehrswegebau der Universität für Bodenkultur Wien (O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. O. PREGL) durchgeführt.

rizontalen Gleitflächen mit montmorillonitführenden Zwischenmitteln infolge des Verlaufes der Hauptspannungstrajektorien parallel zur Böschung erhebliche Felsgleitungen auftreten können. Der Nachweis von Montmorillonit in Belägen und Zwischenmitteln potentieller Gleitflächen wird damit zu einer wesentlichen Aussage bei Standsicherheitsuntersuchungen von Felsböschungen. Daher sollte bereits bei den Vorerkundungen eine tonmineralogische Analyse der Trennflächenbestege erfolgen.

5. Literatur

- HEITFELD, K.-H.: Beispiele von Felsrutschungen im Nordteil des Rheinischen Schiefergebirges. – Ber. 3. Nat. Tag. Felsmech., Aachen, 337–366, 1978.
- HÖWING, K.-D. & KUTTER, H. K.: Kriechverhalten gefüllter Gesteinstrennflächen. – [In]: HEITFELD, K.-H. (Hrsg.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbe-
reich zwischen Locker- und Festgestein, 526–540, (Springer-Verlag) Berlin-Heidel-
berg, 1985 a.
- & KUTTER, H. K.: Mechanisches Verhalten gefüllter Gesteinstrennflächen in Ab-
hängigkeit von der Zusammensetzung des Zwischenmittels. – 6. Nat.-Felsmech.
Sympos. Aachen, Geotechnik Sh., 21–26, 1985 b.
- KOHLBECK, F. & SCHEIDEGGER, A. E.: On the Theory of the Evaluation of
joint Orientation Measurements. – Rock Mechanics, 9, 9–25, 1977.
- KRAUTER, E.: Bewegungen an Felshängen des Rheinischen Schiefergebirges (BRD,
Rheinland-Pfalz). – Veröffentl. Univ. Innsbruck, 86, 217–236, 1973.
- RIEDMÜLLER, G.: Zur Geologie des NW-Teiles der Buckligen Welt. – Diss. Phil.
Fak. Univ. Wien, 1967.
- A 2, Südautobahn, Abschnitt Gleissenfeld–Grimmenstein; Baugeologische Prognose.
– Archiv. der NÖ Landesregierung, 1971.
- & SCHWAIGHOFER, B.: A 2, Südautobahn, Abschnitt Gleissenfeld–Warth. –
Baugeologische Dokumentation der Einschnittsböschung km 57,133 bis km
57,600. – Archiv der NÖ Landesregierung, 1980.
- ZARUBA, Q. & MENCL, V.: Ingenieurgeologie. – Akademie Verlag, Berlin, 1961.
- & MENCL, V.: Landslides and their control. – Elsevier Verlag, Amsterdam–Lon-
don–New York, 1969.

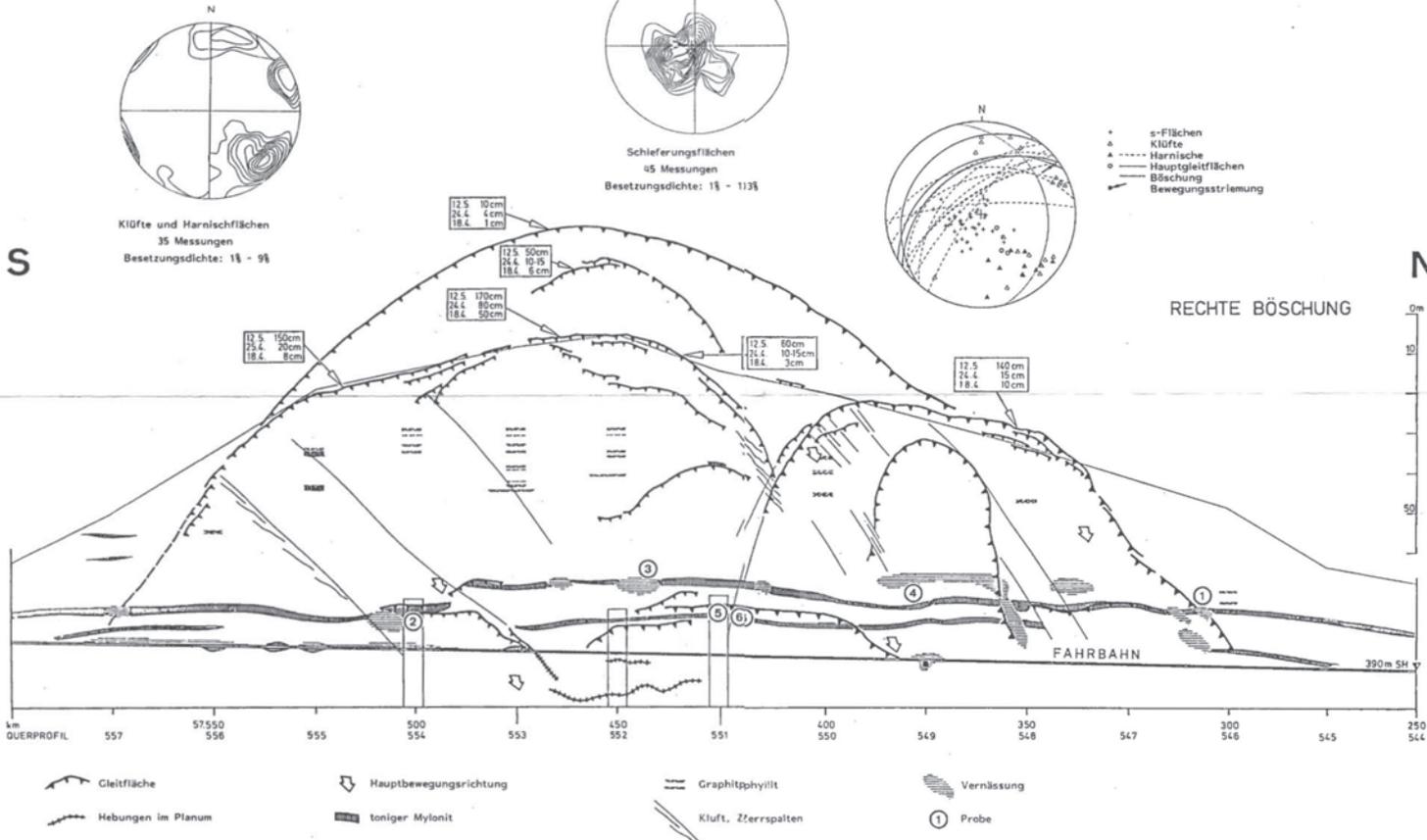
Manuskript eingegangen am 25. 3. 1986

angenommen am 16. 4. 1986

Baugeologische Dokumentation der Böschungsverformungen

von km 57,250 bis km 57,600.

Beilage 13



**Verwitterung und Tonmineralgenese im Kristallin
der Uluguru-Berge, Tanzania**

von

B. SCHWAIGHOFER und H. W. MÜLLER

mit

1 Abbildung, 1 Tabelle und 2 Tafeln

Anschrift der Verfasser:

Univ. Prof. Dr. B. Schwaighofer
Univ. Doz. Dipl. Ing. Dr. H. W. Müller
Institut für Bodenforschung und Baugeologie
Universität für Bodenkultur
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 207-220	Wien, 1986
---------------------------------------	----	------------	------------

Inhalt

Zusammenfassung, Abstract	208
1. Einleitung	208
2. Untersuchungsmethoden	209
3. Morphologisch-geologische Übersicht der Uluguru-Berge	209
3.1. Landschaftsformen	209
3.2. Geologie	210
4. Petrographie der Meta-Anorthosite	212
5. Ergebnisse	212
6. Schlußfolgerungen	214
7. Literatur	215

Zusammenfassung

In den präkambrischen Metamorphiten der Uluguru-Berge in Tanzania wurden zwei Verwitterungsprofile über Meta-Anorthositen bzw. Biotitgneisen untersucht.

Als überwiegende Neubildung konnten in beiden Profilen 7 Å- und 10 Å-Halloysit festgestellt werden; in Profil 2 fand sich zusätzlich Gibbsit.

Die Verwitterungsbedingungen, unter denen die beiden Halloysit-Modifikationen entstanden, entsprechen sowohl dem anzunehmenden Paläoklima als auch den rezenten Verhältnissen mit einer Regenperiode und einer Trockenzeit pro Jahr. Als Endprodukte der unter diesen Bedingungen ablaufenden Verwitterungsprozesse können Gibbsit und Eisenoxide bzw. -hydroxide angesehen werden.

Abstract

Two weathering profiles on the precambrian metamorphic rocks (meta-anorthosite and biotitegneiss) of the Uluguru Mountains (Tanzania) were studied by means of X-ray and scanning electron microscopy.

Predominant neoformations are 7 Å- and 10 Å-halloysite in addition to gibbsite.

The weathering conditions with an annual rainy season and a season of desiccation under which both modifications of halloysite were formed correspond to palaeo and recent climate. The final products of decomposition in this weathering profiles are gibbsite, oxides and hydroxides of iron.

1. Einleitung

Obwohl der ostafrikanische Küstenstaat Tanzania keineswegs als Lieferant von hochwertigen, technologisch verwertbaren Tonen bekannt ist, befindet sich hier dennoch in den Pugu Hills, ca. 35 km westlich von Dar es Salaam, eines der mächtigsten Kaolinvorkommen der Erde. Im Zuge der Untersuchung dieser Lagerstätte bzw. eines möglichen Liefergebietes für die Kaolinsandsteine der Pugu Hills wurden auch die etwa 150 km weiter im Westen gelegenen Uluguru Berge in Betracht gezogen.

Innerhalb dieses metamorphen Kristallingebietes finden sich mehrere hochgelegene Verebnungsflächen, von denen angenommen werden darf, daß sie vor allem während der Zeit Oberkreide-Alttertiär zur Ausbildung mächtiger Verwitterungsprofile

prädestiniert waren (CILEK, 1979). Sicher finden sich heute nur mehr an bestimmten, vor der Erosion geschützten Lokalitäten Reste dieser ursprünglich weit ausge dehnten Verwitterungsdecken. Ein Aspekt dieser Studie war es, zu klären, inwieweit zur Bildung der heute zu beobachtenden Verwitterungshorizonte auch die rezenten klimatischen Verhältnisse beigetragen haben.

2. Untersuchungsmethoden

Das unverwitterte Ausgangsgestein wurde anhand von Dünnschliffen lichtoptisch untersucht. Die Bestimmung des Mineralbestandes der Proben aus den Verwitterungshorizonten erfolgte röntgendiffraktometrisch (zur Verfügung gestellt durch Projekt Nr. 1612 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung), wobei der Gesamtmineralbestand an gepulverten, mit Kunstharz versetzten, texturfreien Präparaten erfaßt wurde. Die Tonmineralanalyse der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$ wurde an Texturpräparaten durchgeführt. Die semiquantitative Auswertung der Röntgendiffraktogramme erfolgte aufgrund der Peakflächen mittels geeigneter Korrekturfaktoren (RIEDMÜLLER, 1978).

Für die mikromorphologischen Untersuchungen stand ein Rasterelektronenmikroskop Cambridge Stereoscan S 4 (Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Projekt Nr. 4264) zur Verfügung, in dem das ungestörte, lufttrockene Probenmaterial nach Gold-Besputterung analysiert wurde.

Die Farbbestimmung der einzelnen Verwitterungshorizonte erfolgte entsprechend der Standard Soil Color Chart.

3. Morphologisch-geologische Übersicht der Uluguru-Berge

3.1. Landschaftsformen

Unvermittelt und steil erhebt sich aus der Küstenebene Ost-Tanzanias das Kristallinmassiv der Uluguru-Berge (Bd. 1, T. 1). Sie bilden eine deutlich abgrenzbare morphologische Einheit, die sich über mehr als 5.000 km^2 erstreckt mit einer N-S-Ausdehnung von über 80 km und einer in W-E-Richtung von ca. 65 km. Innerhalb der Gebirgsgruppe können morphologisch einzelne Ketten und dazwischenliegende Plateaubereiche gegliedert werden. Der Kimhandu ist mit 2.650 m die höchste Erhebung, der Ost- und Südabfall des Massivs ist steil und geht in eine stark gegliederte Pedimentfläche über. Nach N bzw. NW fällt das Gebirge rasch ab auf eine Ebene, die sich zwischen 460 und 550 m Seehöhe befindet.

Im Uluguru-Massiv können zwei hochgelegene Verebnungsflächen deutlich unterschieden werden. Zwischen 2.500 und 2.530 m befindet sich das Plateau von Lukwangule und etwas tiefer, in ca. 1.600 m Seehöhe, liegt die Verebnungsfläche von Kimbuko und Chenzema. Aus diesem Bereich kommt der Großteil unseres Untersuchungsmaterials. Hier haben sich die Erosionsleistungen wesentlich intensiver ausge wirkt, sodaß mitunter bereits ein sehr reifes Relief entstanden ist.

Die Ausbildung der heutigen Landschaftsformen geht nicht nur auf die unterschiedlichen Gesteinsfestigkeiten zurück, sondern sicher auf tektonische Verstellungen, die bis in die allerjüngste Zeit andauern. Schon von JANENSCH (1927) stammt

die Ansicht, daß die Haupthebungsphase der Uluguru-Berge sehr wahrscheinlich im mittleren Tertiär liegt, da sonst das Gebirge bereits wieder vollkommen abgetragen worden wäre. Allerdings dürften die Ulugurus einige Male, und zwar blockförmig, gehoben worden sein, wobei die frühesten Bewegungen möglicherweise schon mit der Anlage des Karroo-Beckens im E zusammenfallen. Die tektonischen Hauptstrukturen sind N-S streichende Störungen, an denen es zu schollenartigen Hebungen gekommen ist. Zusammen mit schwächeren Verstellungen an W-E verlaufenden Bruchlinien dürften sie auch die Ursache sein für den ungewöhnlichen, spiralförmigen Verlauf des Mgeta-Flusses.

Der Mgeta besorgt mit seinen zahlreichen, oft stark verzweigten Zubringergerinnen die Hauptentwässerung aus den zentralen Bereichen des Massivs. Die Flußtäler folgen vielfach über längere Strecken Gesteinsgrenzen, und zwar vor allem dort, wo härtere Komplexe an weichere Formationen stoßen. Auch für den Verlauf des Ruvu, der in den östlichen Uluguru-Bergen das Hauptgerinne darstellt, ist ein mehrmaliger Wechsel anzunehmen und seine heutige Form ist das Ergebnis der unterschiedlichen tektonischen Verstellungen.

Die klimatischen Verhältnisse im Uluguru-Massiv zeigen, entsprechend den unterschiedlichen Höhen, beträchtliche Schwankungen. Generell beträgt die Niederschlagshöhe über 150 cm pro Jahr, während in den Ebenen rings um das Gebirge nur durchschnittlich 90 cm Niederschläge fallen.

Das unmittelbare Untersuchungsgebiet zwischen Mgeta und Chenzema (siehe Abb. 1) liegt höhenmäßig zwischen 1.070 und 1.680 m mit jährlichen Niederschlagswerten von 95 bzw. 130 cm. Die Maximalwerte liegen im April mit 20 bzw. 29 cm, die Minimalwerte im Juli und August mit 0,33 bzw. 0,43 cm.

Die Bodenentwicklung hängt in den Ulugurus u. a. auch mit der Vegetation bzw. mit der Bevölkerungsverteilung zusammen. Ursprünglich ist fast für das ganze Massiv eine ± dichte Waldbedeckung anzunehmen, durch verschiedene Kultivierungsmaßnahmen ist aber die natürliche Vegetation bereichsweise stark zurückgedrängt worden, was verschiedentlich zu einer intensiven Bodenerosion geführt hat. Die Bevölkerung zog sich aus diesen Gebieten weitgehend zurück, und so finden sich heute in vielen Bereichen grasbestandene Hügellandschaften mit einer äußerst dürrtigen Bodenentwicklung (LUNDGREN, 1978).

3.2. Geologie

Generell können die Gesteine, die die Uluguru-Berge aufbauen, in drei Gruppen gegliedert werden: präkambrisches Grundgebirge, Sedimente der Karroo-Formation und neogene Ablagerungen.

Die jungen Ablagerungen finden sich vor allem in den Ebenen am Nord- bzw. Südostrand des Gebirges. Neben den Alluvionen beinhalten sie auch Kalke, Sande, Tone und z. T. intensiv gefärbte rote Bodenbildungen. Reste davon finden sich verschiedentlich auch auf alten Verebnungsflächen innerhalb des Gebirgsmassivs.

Die Karroo-Formation, die am SE-Rand des Gebirges auftritt, setzt sich aus Konglomeraten, Sandsteinen und Tonschiefern zusammen. Die Möglichkeit einer fluvio-glazialen Entstehung dieser Sedimente steht noch in Diskussion.

Das präkambrische Grundgebirge kann je nach dem Ausgangsmaterial in Metamorphite mit sedimentärer oder magmatischer Herkunft bzw. in Ganggesteine unterteilt werden.

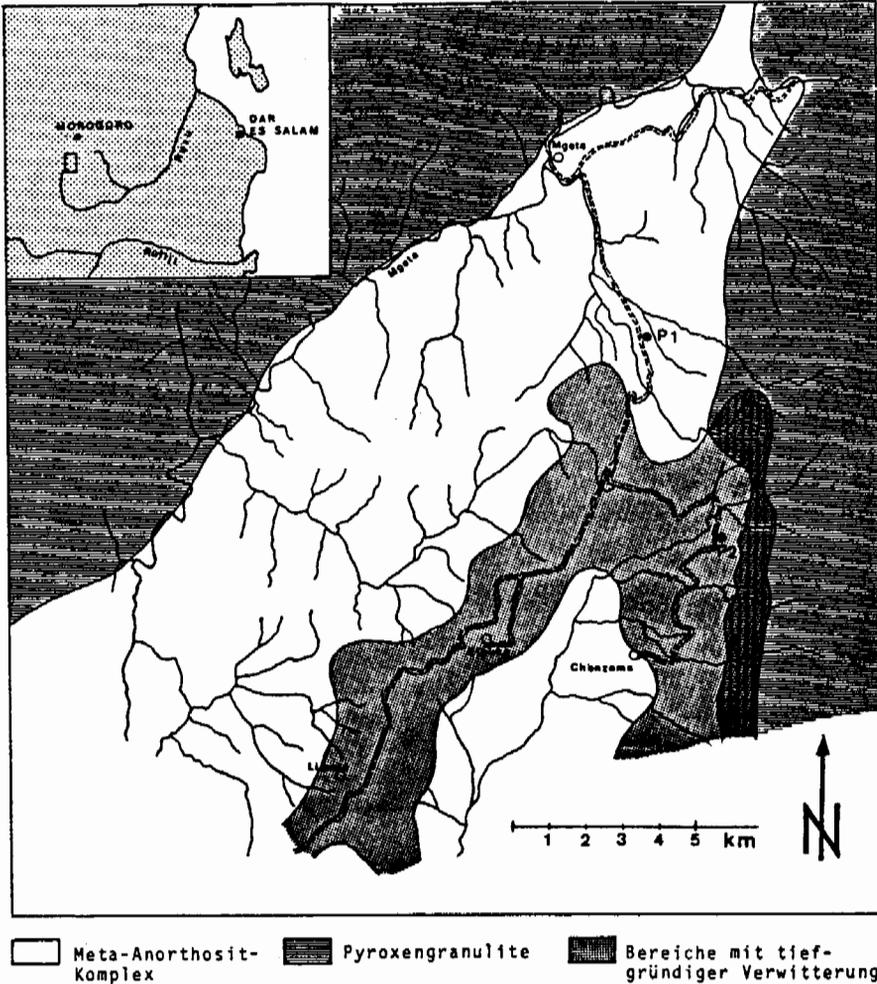


Abb. 1: Geologische Übersichtsskizze des Untersuchungsgebietes

Da es bisher nicht möglich war, innerhalb der Gesteine des präkambrischen Grundgebirges eine stratigraphische Gliederung durchzuführen, muß die Einteilung in einzelne Gesteinsgruppen weiterhin auf lithologischer Basis erfolgen.

Demnach wird der Hauptanteil der Uluguru-Berge von Gesteinen der Granulitgruppe aufgebaut, wobei hier noch differenziert werden kann in Hornblende-, Pyroxen-, Disthengranulite, etc.

Während am Ostrand des Massivs Marmore in verschiedenster Form anstehen, finden sich im NW- und NE-Teil unterschiedlich zusammengesetzte Gneise.

Innerhalb der Granulite liegt im zentralen Bereich des Gebirges, im Raum von Mgeta, Kibuko, Chenzema und Chigarafumi (siehe Abb. 1) eine größere Scholle von Meta-Anorthositen. Die vorliegende Studie behandelt die Untersuchung von Verwitterungsprofilen über diesen Metamorphiten und ihren Nebengesteinen.

Bezüglich der tektonischen Strukturen in den Uluguru-Bergen haben bereits die ersten Untersuchungen von KRENKEL (1925) und JANENSCH (1927) ergeben, daß hier Bruchlinien und Verwerfungen wesentlich jünger sind als die Verformungen durch Aufwölbungen und Faltenbildungen und diese stark überprägen. Die von SAMPSON & WRIGHT (1964) vorgelegte Strukturkarte zeigt Lineamente in NNW–SSE Richtung als Hauptstörungslinien. Gerade in dem von uns näher untersuchten Bereich zwischen Mgeta im Norden und Chingarafumi im Süden wird auch durch zahlreiche Pegmatitgänge diese tektonische Hauptstruktur nachgezeichnet. Dazu kommen im wesentlichen W–E gerichtete Störungslinien als zweitwichtigste Strukturelemente. Die unterschiedlichen Bewegungen und Verstellungen, die zur Ausbildung des heute vorliegenden Landschaftsbildes mit beigetragen haben, begannen sicher bereits prä-Karoo und dauerten bis ins Quartär, dürften aber ihr Maximum während Jura und Kreide gehabt haben (HARPUM, 1970).

4. Petrographie der Meta-Anorthosite

Der eigenständige Komplex der Meta-Anorthosite als von Granuliten umgebene Schollen im zentralen Bereich der Uluguru-Berge wurde bereits bei den ersten geologischen Untersuchungen dieses Gebirgsmassivs erkannt (WILLIAMS & SKERL, 1940; HARPUM, 1955). Die bislang ausführlichste Beschreibung stammt von SAMPSON & WRIGHT (1964).

Die frischen, noch völlig unverwitterten Meta-Anorthosite zeigen eine helle, vorwiegend aus Feldspat bestehende Grundmasse, in der durch die lagige Anordnung der dunklen Gemengteile (Amphibole, Pyroxene, Granat) die Schieferungsstruktur deutlich nachgezeichnet wird. Hauptbestandteile sind Plagioklase, die nach den Untersuchungen von SAMPSON & WRIGHT (1964) einen Anorthositgehalt zwischen 26 und 68 % aufweisen, überwiegend aber der Zusammensetzung nach einem Labrador entsprechen. Das mikroskopische Dünnschliffbild zeigt unzersetzte, verzwilligte Plagioklase im Verband mit Granat und Hornblende. Weitere Gemengteile sind Pyroxene (vorwiegend Diopsid und Hypersthen), Biotit, Muskowit, Skapolit, Spinell und Eisenerze (Ilmenit und Magnetit). Akzessorisch erscheinen Apatit, Rutil, Zirkon und Di-sthen.

Die von SAMPSON & WRIGHT (1964) durchgeführten petrochemischen Analysen zeigen bei den Hauptelementen folgende Durchschnittswerte: SiO_2 53,29 %, Al_2O_3 26,42 %, CaO 10,16 %. Die relativ niederen Si-, bzw. hohen Al- und Ca-Gehalte entsprechen durchaus den Werten, wie sie für Anorthosite vom Adirondack-Typ aus der Literatur bekannt sind (BROWN, 1979).

5. Ergebnisse

Zur Untersuchung gelangten zwei Verwitterungsprofile an der Straße von Mgeta nach Chenzema (siehe Abb. 1). Profil 1 befindet sich oberhalb der Ortschaft Mgeta in 1.340 m SH. In dieser Verwitterungssequenz wurden vom Liegenden zum Hangenden vier Proben genommen. Die Basis bildet ein in situ verwitterter, sandig zerfallender Meta-Anorthosit (Probe 1/1 – 2,5Y 5/6). Darüber liegt ein ca. 1 m mächtiger \pm einheitlich braun gefärbter Verwitterungshorizont (Probe 1/2 – 5YR 5/8).

Im Hangenden findet sich ein allmählicher Übergang zu einem intensiv ziegelrot gefärbten, rotlehmartigen Verwitterungshorizont (Probe 1/3 – 2,5YR 5/6), der im obersten Bereich von einer braungelb gefleckten, rezenten Bodenbildung (Probe 1/4 – 7, 5YR 6/6) unter Gras- und Buschvegetation abgeschlossen wird. Die Ergebnisse der mineralogischen Analysen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Profil 2 liegt in einem größeren Aufschluß entlang der Straße nach der Abzweigung nach Chenzema in 1.675 m SH (siehe Abb. 1). Die Basis bildet ein stark verwitterter, aufgemürbter Biotitgneis (Probe 2/1 – Farbe: weiß mit dunklen Biotitaggrenaten), in dem noch besser erhaltene, biotitreiche Schlieren und Linsen stecken. Darüber befindet sich ein vollkommen verwitterter, sandig zerfallender, rotbrauner Meta-Anorthosit (Probe 2/2 – Farbe: stark gefleckt). Im Hangenden tritt ein feinsandiger, glimmerführender, intensiv rot gefärbter Verwitterungsboden auf (Probe 2/3 – I OR 5/8).

Die Ergebnisse der mineralogischen Untersuchungen finden sich ebenfalls in Tabelle 1.

Proben Nr.	Gesamtmineralbestand	Tonminerale in der Fraktion <math>< 2 \mu\text{m}</math>, Rel. %			
		Halloysit 7Å	Halloysit 10Å	Vermikulit	
Profil 1	1/4	Halloysit	81	19	
	1/3	Halloysit	90	10	Sp.
	1/2	Halloysit	79	21	Sp.
	1/1	Halloysit, Plagioklas, Granat, Hornblende Sp., Quarz Sp.	65	35	Sp.
Profil 2	2/3	Halloysit, Gibbsit, Hämatit	59	41	
	2/2	Halloysit, Gibbsit, Geothit	52	48	
	2/1	Feldspat 40 %, Schichtsilikate 34 %, Quarz 26 %, Gibbsit Sp.	29	71	Sp.

Tabelle 1: Mineralogische Analysen aus Profil 1 und Profil 2 (siehe Text).

Der Basishorizont von Profil 1 enthält noch geringfügige Mengen der Primärminerale Plagioklas, Granat und Quarz. Quarz findet sich üblicherweise in Meta-Anorthositen nur in geringsten Anteilen, infolge der verwitterungsbedingten Auflösung der weniger resistenten Hauptbestandteile reichert er sich aber relativ an. Vorherrschender Gemengteil ist auch in diesem basalen Horizont bereits das neugebildete Tonmineral Halloysit, das in den drei hangenden Horizonten neben Eisenoxiden und Spuren von Vermikulit als überwiegender Bestandteil auftritt. Neben der 7Å-Modifikation findet sich in geringeren Anteilen auch 10Å-Halloysit, wobei sich von der Basis zu den hangenden Horizonten hin das Verhältnis stark zum 7Å-Halloysit verschiebt.

Auch im Profil 2 treten im basalen Horizont noch die Primärminerale Feldspat, Glimmer und Quarz auf (Ausgangsmaterial ist hier ein Biotitgneis), vorherrschend erscheinen aber doch bereits Verwitterungsneubildungen (Halloysit). In den darüber liegenden Horizonten finden sich dann ausschließlich Sekundärminerale, wobei wieder Halloysit (in 7Å- und 10Å-Modifikation) dominiert. Untergeordnet treten auch Gibbsit und Eisenoxide auf.

Die mikromorphologischen Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop brachten eine Bestätigung bzw. Erweiterung der Röntgendiffraktometer-Ergebnisse.

Die Bilder 1, 2, 3 der Tafel 1 aus dem Basishorizont in Profil 1 zeigen charakteristische Auflösungsstrukturen von Hornblenderesten, die sich innerhalb der feinkörnigen Grundmasse befinden. Kennzeichnend sind die spitzpyramidale Auflösungen, über denen sich dünne Krustenbildungen entwickelt haben. Die Internstruktur der äußeren Krustenbereiche zeigt die intensive Neubildung von Halloysit.

Auf den Bildern 4, 5, 6 der Tafel 1 aus den hangenden Verwitterungshorizonten sind innerhalb der Grundmasse Pseudomorphosen von Primärmineralen zu erkennen, die durchwegs ebenfalls zu Halloysit umgewandelt sind.

Im Basishorizont von Profil 2 erscheinen in Hohlräumen von angeätzten Primärmineralen (Feldspat) Aggregate von neugebildetem Halloysit und Gibbsit (Bilder 1, 2, 3; Tafel 2). In den hangenden Horizonten finden sich auf amorphen Krustenbildungen stäbchenförmige Halloysite (Bild 4, Tafel 2); zwischen Halloysitaggregaten treten idiomorphe Gibbsitkristalle auf (Bild 5, Tafel 2). Auf den Oberflächen der noch erhaltenen Reste von Schichtsilikaten sind Neubildungen von stäbchenförmigen und gerundeten Halloysiten zu beobachten (Bild 6, Tafel 2).

6. Schlußfolgerungen

Wesentliche Neubildung in den untersuchten Verwitterungsprofilen ist Halloysit, der sowohl in der 7\AA - als auch in der 10\AA -Form vorliegt. Die unterschiedlichen Klimabedingungen mit den wechselhaften geochemischen Verhältnissen und auch die doch verschieden zusammengesetzten Ausgangsgesteine erklären die Dominanz dieser bei den Halloysit-Modifikationen (PARHAM, 1969; KELLER, 1978).

Die jeweilige Bildungsrate des 7\AA - bzw. des 10\AA -Halloysits ist einerseits abhängig vom mittleren Jahresniederschlag andererseits aber auch von der Entwässerung während der zwischenzeitlichen Trockenperioden (SIEFFERMANN & MILLOT, 1969). Die im Profil 1 festgestellte Abfolge im Verhältnis der beiden Halloysit-Modifikationen entspricht den heute herrschenden Verwitterungsbedingungen und kann auf die von der Oberfläche her einwirkende Austrocknung zurückgeführt werden (MINATO & AOKI, 1979; MÜLLER et al., 1984).

Hinsichtlich des Bildungsmechanismus für den Halloysit ergaben die mikromorphologischen Untersuchungen, daß es offenbar stets vorerst zur Ausbildung einer amorphen Kruste kommt, aus der in einer zweiten Phase durch Rekristallisation die Halloysitneubildungen entstehen.

Die Dominanz dieses Tonminerals bei den verwitterungsbedingten Neubildungen erklärt sich auch aus der Tatsache, daß Halloysit nicht nur aus den Feldspäten, sondern auch bei der Auflösung der weiteren Hauptgemengteile Hornblende bzw. Pyroxen entstehen kann.

Anders als im Profil 1, wo mit der Entstehung des Tonminerals Halloysit die verwitterungsbedingten Neubildungen bereits zum Abschluß gekommen sind, findet sich im Profil 2 zusätzlich auch noch Gibbsit. Hier ist also die Intensität der Verwitterung noch weiter fortgeschritten, da die Gibbsit-Entstehung das letzte Stadium der Auflösung von Al-Silikaten kennzeichnet (KELLER, 1978). Hier müssen also stärkere Lösungsbedingungen geherrscht haben, sodaß auch ein Teil des Siliziums abgeführt wurde. Auf jeden Fall ist Gibbsit hier im Profil 2 ebenfalls in einem wechselfeuchten Kli-

ma gebildet worden. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu den Untersuchungen von SHERMAN (1952), wonach Gibbsit sowie auch andere Bauxitminerale nur unter einem gleichmäßig feuchten Klima entstehen können.

Der stets nur in Spuren erscheinende Vermikulit entstand als Neubildung aus Biotit entweder aus Meta-Anorthosit (Profil 1) oder Gneis (Profil 2).

Das Auftreten des Eisenoxidminerals Hämatit im hangenden Verwitterungshorizont von Profil 2 ist wieder ein Hinweis auf eine stärkere zwischenzeitliche Austrocknungsphase (SCHWERTMANN, 1969).

Danksagung

Die für die vorliegenden Untersuchungen erforderlichen Bereisungen erfolgten im Rahmen des Forschungsprojektes Nr. 4958 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

7. Literatur

- BROWN, A. H.: Geochemistry. — Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. Y., 1979.
- CILEK, V.: The origin and development of primary and secondary kaolin deposits in Tanzania. — Rozpravy Acad., 89, 62 p., Prag 1979.
- HARPUM, J. R.: Recent investigations in prae-Karoo-Geology in Tanganyika. — C. R. Reunion de Nairobi, Assoc. Serv. geol. Afr., 165–218, 1955.
- Summary of the geology of Tanzania, Part V: Structure and Geotectonics of the Precambrian. — Mem. Geol. Surv. 1., 1970.
- JANENSCH, W.: Beitrag zur Kenntnis der Karru-Schichten im östlichen Deutsch-Ostafrika. — Palaeontographica, Suppl. VII, Reihe II, Teil I, Lfg. 3, 109–142, 1927.
- KELLER, W. D.: Classifications of kaolin exemplified by their textures in scan electron micrographs. — Clays and Clay Minerals, 26, No. 1, 1–20, 1978.
- KRENKEL, E.: Geologie Afrikas. — Berlin 1925.
- LUNDGREN, L.: Studies of soil and vegetation development on fresh landslide scars in the Mgeta Valley. Western Uluguru Mountains, Tanzania. — Geografiska Annaler 60A, 91–127, 1978.
- MÜLLER, H. W., RIEDMÜLLER, G. & SCHWAIGHOFER, B.: Weathering products of andesitic rocks from Sulawesi, Indonesia. — Clay Minerals 19, 21–28, 1984.
- MINATO, H. & AOKI, M.: Rate of transformation of halloysite to metahalloysite under hydrothermal conditions. — Proc. Int. Clay Conf. Oxford, 619–627, 1979.
- PARHAM, W. E.: Halloysite-rich tropical weatherin products of Hongkong. — Proc. Int. Clay Conf. Tokyo 1, 403–416, 1969.
- RIEDMÜLLER, G.: Neoformations and transformations of clay minerals in tectonic shear zones. — Tschermaks Min.-Petr. Mitt., 25, 219–242, 1978.
- SAMPSON, D. N. & WRIGHT, A. E.: The geology of the Uluguru Mountains. — Bull. Geol. Surv. Tanzania 37, 69 p., 1964.
- SCHWERTMANN, U.: Die Bildung von Eisenoxiden. — Fortschr. Miner. 46, 274–285, 1969.
- SHERMAN, G. D.: The genesis and morphology of the alumina-rich laterite clays. Clay and laterite genesis. — Am. Inst. Min. Met., 154–161, 1952.

- SIEFERMANN, G. & MILLOT, G.: Equatorial and tropical weathering of recent basalts from Cameroon: alophanes, halloysite, metahalloysite, kaolinite and gibbsite. – Proc. Int. Clay Conf. Tokio 1, 417–430, 1969.
- WILLIAMS, G. J. & SKERL, A. F.: Mica in Tanganyika Territory. – Bull. Geol. Surv. Tanganyika, 14, 1940.

Manuskript eingelangt am 25. März 1986
angenommen am 14. Juni 1986

TAFEL 1

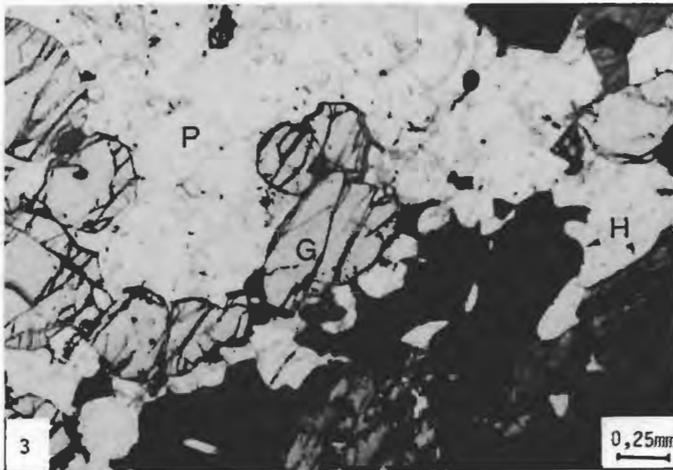
- Bild 1: Nordostabfall der Uluguru-Berge zu den jungen Sedimenten der Küstenebene.
- Bild 2: Unverwitterter Meta-Anorthosit: feldspatreiche Grundmasse mit schiefungsparallel angeordneten Linsen von Amphibolen, Pyroxen, Granat und Erzmineralen.
- Bild 3: Verwitterungsprofil 1, Probe 1/1 - das Dünnschliffbild zeigt unzersetzte Plagioklase (P) im Kornverband mit Granat (G) und Hornblende (H).

TAFEL 2

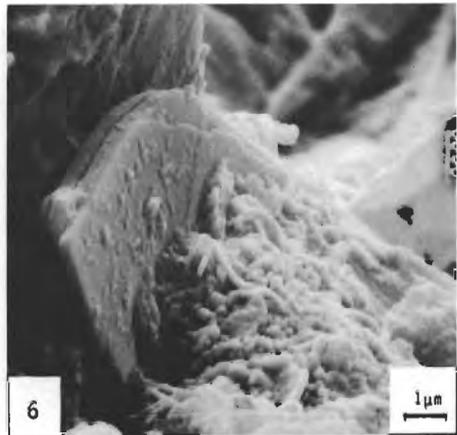
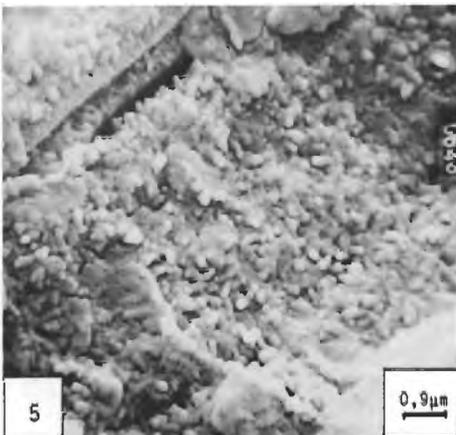
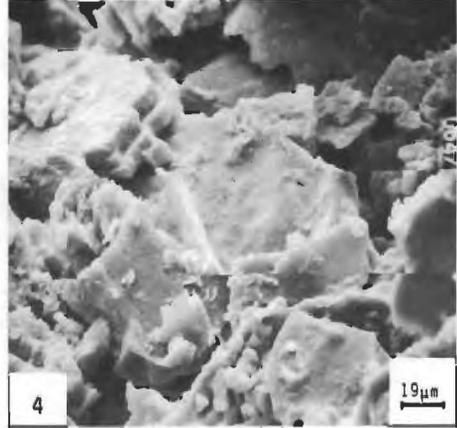
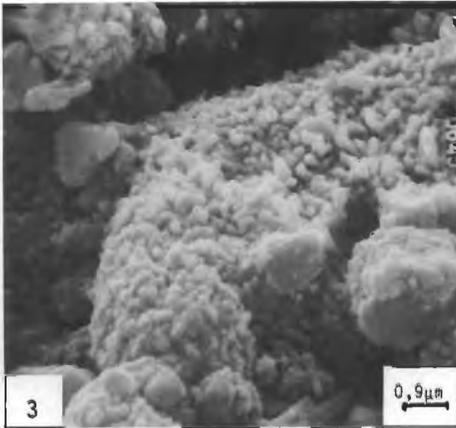
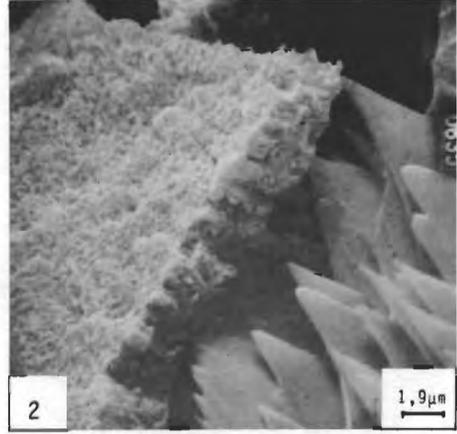
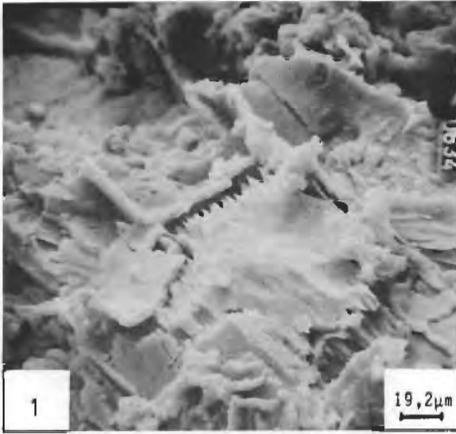
- Bild 1 und 2: Verwitterungsprofil 1, Probe 1/1 – Reste von Hornblendekristallen mit randlichen spitzpyramidalen Auflösungen; davon abgelöst finden sich Krustenbildungen mit Neustrukturierungen an der Oberfläche.
- Bild 3: Detail aus den Krustenbildungen – als Neukristallisation erscheinen stäbchenförmige Halloysite.
- Bild 4, 5 und 6: Verwitterungsprofil 1, Proben 1/2 und 1/3 – innerhalb der locker strukturierten Grundmasse finden sich Pseudomorphosen verschiedener Primärminerale, die weitgehend zu Halloysit umgewandelt sind.

TAFEL 3

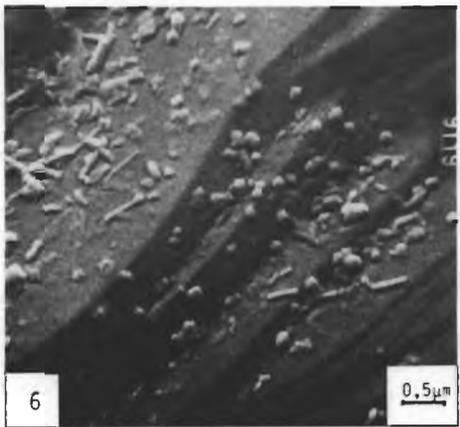
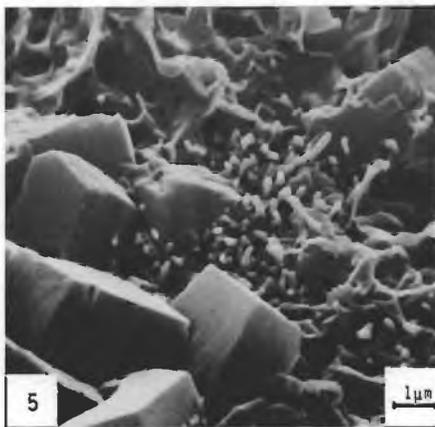
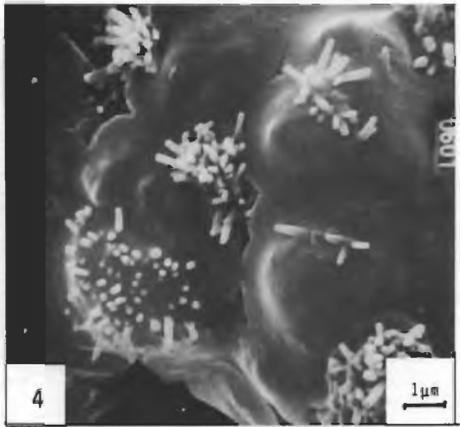
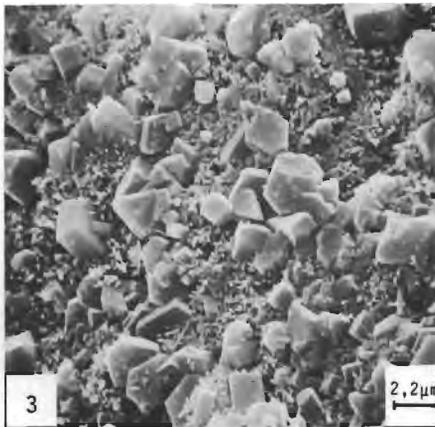
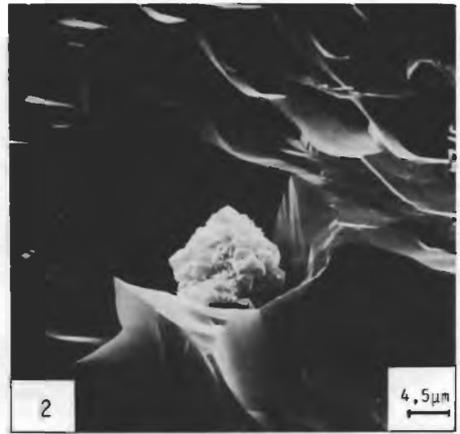
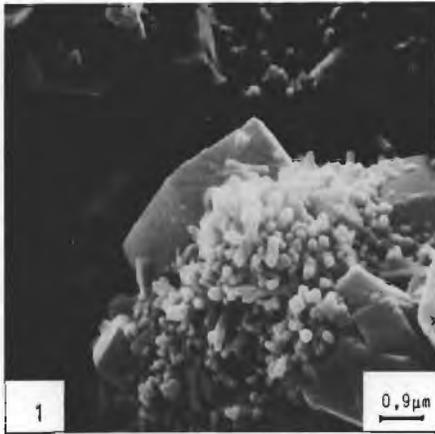
- Bild 1, 2 und 3: Verwitterungsprofil 2, Probe 2/1 – in Hohlräumen und auf den Oberflächen der noch vorhandenen Reste von Primärmineralen finden sich Neubildungen von stäbchenförmigem Halloysit und idiomorph ausgebildetem Gibbsit.
- Bild 4 und 5: Verwitterungsprofil 2, Probe 2/2 – Neukristallisation von stäbchenförmigem Halloysit aus amorphen Krustenüberzügen.
- Bild 5: Verwitterungsprofil 2, Probe 2/2 – in einem fortgeschrittenen Verwitterungsstadium finden sich neben neugebildeten Halloysiten idiomorphe Gibbsitkristalle.
- Bild 6: Verwitterungsprofil 2, Probe 2/3 – kugel- und stäbchenförmige Halloysitbildungen auf Resten von Glimmerblättchen.



TAFEL 2



TAFEL 3



**Neue Ergebnisse zur Entwicklungsgeschichte des Kristallins
um Radenthein (Kärnten, Österreich)**

von

Robert SCHIMANA*)

mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen

Anschrift des Verfassers:

Robert Schimana
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

*) Die vorliegende Arbeit ist Teil einer Dissertation am Institut für Geologie der Universität Wien.

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 221–232	Wien, 1986
---------------------------------------	----	------------	------------

Inhalt

1. Zusammenfassung, Summary	222
2. Geologischer Überblick	222
3. Metamorphosegeschichte	225
4. Geochronologie	227
5. Geothermometrie	231
6. Geobarometrie	231
7. Literatur	232

1. Zusammenfassung

Das Kristallin zwischen Tauernfenster und Gurktaler Decke ist aufgrund der unterschiedlichen Metamorphoseentwicklung in drei Serien zu gliedern. Dies sind von Nord nach Süd Priedröf, Radentheiner und Millstätter Serie. Die Radentheiner Serie zeigt abweichend von den beiden anderen polymetamorphen Altkristallin Serien nur eine Metamorphose. Diese erfolgt unter amphibolitfaziellen Bedingungen und ist im Gegensatz zur bisherigen Auffassung als alpidisches Ereignis aufzufassen. Das alpidische Alter ist belegt durch Rb/Sr-Kleinbereichs- und Mineralisochronen mit 88–84 Ma. Die Temperaturen der alpidischen Metamorphose nehmen von Nord nach Süd und von Ost nach West kontinuierlich zu. Die alpidische Deformation erfaßt alle drei Serien in ähnlicher Weise. Sie bewirkt WNW–ESE streichende Strukturen, mit denen eine ansehnliche innere Verformung verbunden ist. An den Seriengrenzen sind scharfe Schnitte im variszischen Metamorphoseprofil zu beobachten.

Summary

Based on mineral parageneses and petrological data the Altkristallin area between Tauern window and Gurktal nappe has to be divided into three different series. These are from north to south Priedröf, Radenthein and Millstatt series. Contrary to the polymetamorphic Priedröf and Millstatt series, the Radenthein series has undergone only one metamorphic event. This event reaches amphibolite grade conditions; in contrast to earlier interpretations this event is recognized to be Eoalpine in age. Rb/Sr small scale and mineral isochrons in the range of 88–84 Ma support this statement. The temperature of the Alpine metamorphism increases continuously from east to west and from north to south in the area discussed. Alpine deformation has influenced the three series in a similar way. It causes WNW–ESE striking lineations that are combined with a considerable amount of internal deformation. The internal transitions between the three series are characterized by remarkable changes in the pre-Alpine metamorphic grade.

2. Geologischer Überblick

Das Gebiet gliedert sich in drei Serien (Abb. 1). Diese werden von Norden nach Süden – was gleichbedeutend ist mit vom Hangenden zum Liegenden – als Priedröf,

Radentheiner und Millstätter Serie bezeichnet. Die Grenze zwischen Radentheiner und Priedröf Serie ist dabei allerdings anders zu ziehen als bei R. SCHWINNER (1927), da das wesentliche Unterscheidungskriterium zwischen den Serien die unterschiedliche Metamorphoseentwicklung ist, und nicht die Unterteilung in Gneis und Glimmerschiefer. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Serien sind folgende:

Priedröf und Millstätter Serie sind deutlich polymetamorph, die zwischengeschaltete Radentheiner Serie zeigt nur eine Metamorphose.

Die rein lithologische Unterteilung führte in der Vergangenheit dazu, daß die Glimmerschiefer der Radentheiner Serie – also einphasig metamorphe Gesteine – zusammen mit Glimmerschiefern der Priedröf Serie, die polymetamorph geprägt sind, als Radentheiner Glimmerschiefer angesprochen wurden. Diese wurden, nach Norden über den Katschberg zusammenhängend, mit den Wölzer Glimmerschiefern gleichgestellt.

Die Fortsetzung der Radentheiner Serie ist jedoch sicher nicht im Norden zu suchen, sondern im Westen, im Bereich des Schneeberger Zuges, und im Osten – nach Untersuchungen meines Kollegen W. NOWAK –, im Großdisthen-Großstaurolith-Horizont der Saualpe, bzw. in der Wolfsberger Serie im Bereich der Koralpe. Die Radentheiner Serie gehört somit zu einem mit Unterbrechungen über 300 km verfolgbareren „Horizont“, der immer durch seinen dominierend einphasigen Charakter im polymetamorphen Altkristallin auffällt.

Die Priedröf Serie ist eine eintönige Serie feinkörniger Gneise bis quarzitischer Glimmerschiefer, bereichsweise auch grobkörniger Glimmerschiefer bis Feldspatglimmerschiefer. Besonders im südlichen Teil – z. B. am Priedröf und am Wiesernock – sind Orthogneise eingelagert, die auch als Bundschuhgneis bekannt sind. Im Norden sind diese Orthogneise erst wieder in der Umgebung von Innerkrems zu beobachten. Untergeordnet treten Amphibolite auf. Die ältere Metamorphose erfolgte unter amphibolitfaziellen Bedingungen, Staurolith kann häufig beobachtet werden. Die zweite Metamorphose ist deutlich niedriger temperiert und bewirkt eine retrograde Überprägung; Staurolith und alter Granat werden teilweise zersetzt. Es kommt zur Bildung eines neuen Granats. An der Oberkante des Kristallins hin zum überlagernden Permomesozoikum ist eine schmale Zone intensiver Zersetzung zu beobachten. Neben Staurolith ist hier auch Feldspat z. T. völlig in Serizit umgewandelt. An der Basis des Kristallins ist im Bereich von Gmünd ebenfalls eine schmale Zone diaphthoritischer Überprägung mit intensiver Crenulation und Chloritwachstum zu beobachten. Nur einige 100 m darüber, im Bereich Eisentratten, wurde alpidisch die Amphibolitfazies erreicht, was aus dem Auftreten einer zweiten Staurolith-Generation abgeleitet werden kann. Das alpidische Metamorphoseprofil wird demnach an der Überschiebungsgrenze zum UOA bzw. Pennin diskordant abgeschnitten.

Die Radentheiner Serie ist eine sehr bunte Abfolge von grobkörnigen Granatglimmerschiefern in den unterschiedlichsten Ausbildungsformen. Diese reichen von hellen muskowitzbetonten Granatglimmerschiefern – zum Teil quarzitischer oder von Biotit und/oder Feldspat durchsetzt –, Disthen und/oder Staurolith führenden Typen, die unter dem Lokalnamen Radentheinit bekannt sind, bis zu graphitischen und karbonatführenden Typen. Eingelagert sind Amphibolite bis Hornblendegarbenschiefer und Marmorlagen. Nicht zu vergessen ist auch die Magnesitlagerstätte Millstätter Alpe. Auffallend ist das Größenwachstum von Mineralblasten. Granat erreicht häufig Kirschgröße, in selteneren Fällen bis Faustgröße. Disthen bildet besonders in den Radentheiniten mehrere cm lange Stengel. Hornblenden können in Garbenschiefen bis zu 10 cm

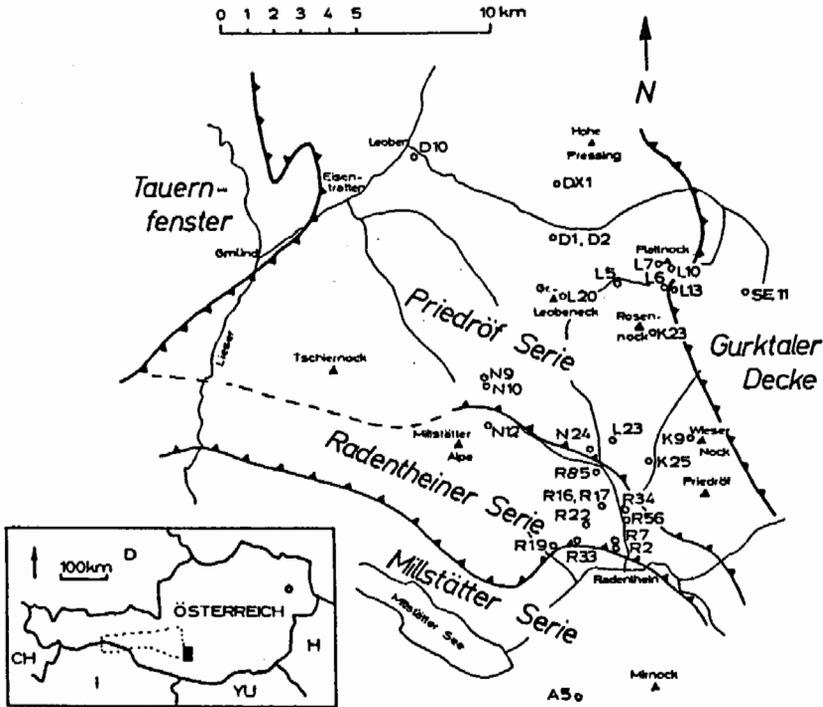


Abb. 1: Bearbeitetes Gebiet mit Probenfundpunkten. Grenzen zum Tauernfenster, zur Gurktaler Decke (bzw. Permomesozoikum) und zwischen Millstätter und Radentheiner Serie nach Ch. EXNER (1980), K. LIEGLER (1973) und R. SCHWINNER (1927).

lang und mehrere cm dick sein. Während die feldgeologische Beurteilung eine Aufteilung der Strukturprägung in zwei völlig getrennte Akte zuläßt, zeigt die eingehende Mikroskopie, daß das gesamte zu beobachtende Gefüge in einem zusammenhängenden Ablauf entstanden ist. Das heißt, es gibt weder reliktsche Minerale/Strukturen noch abzutrennende Überprägungen, die nicht mit der einen Kristallisation interferieren. Hinzuweisen ist auf die Ähnlichkeit mit dem Schneeberger Zug.

Die Millstätter Serie ist wiederum eine vergleichsweise monotone Gneis/Glimmerschiefer Serie, in die Pegmatite eingeschaltet sind. Der Entstehungsmechanismus dieser Pegmatite (bzw. auch deren Alter) ist unklar, ein Granitstock mit den benötigten Ausmaßen, von dem diese Menge an Restschmelzen abgeleitet werden könnte, fehlt in der näheren Umgebung. Es wäre denkbar, daß sie aus dem umgebenden Paramaterial entstanden sind. Die Gesteine sind deutlich polymetamorph, die Überprägung erfolgt ebenfalls unter amphibolitfaziellen Bedingungen.

Gemeinsam ist allen drei Serien die letzte Strukturprägung, die eine generelle WNW–ESE Lineation erzeugt. Auf den Entstehungsmechanismus wird weiter unten noch im Detail eingegangen. In der Priedröf Serie steht diese Deformation mit der retrograden Überprägung in Zusammenhang, in der Millstätter Serie mit der zweiten amphibolitfaziellen Metamorphose. In der Radentheiner Serie erfolgt sie gleichzeitig

mit der einen Metamorphose, die das außergewöhnliche Größenwachstum der Mineralblasten erzeugt. Dieselbe Deformation tritt auch in dem auf der Priedröf Serie transgredierenden Permoskyth des Stangalmmesozoikums auf. Allein aus diesen Beobachtungen läßt sich bereits das alpidische Metamorphosealter der Radentheiner Serie und der Überprägung in den beiden anderen Serien ableiten, wenn man nicht eine zweite (ältere) gleichartige Strukturprägung für das Kristallin annehmen will.

3. Metamorphosegeschichte

Diese läßt sich sehr gut anhand der Ausbildung der Granatblasten studieren. In der Priedröf Serie sind generell dreiphasige Granatblasten zu beobachten. Granat 1 und 2 sind dabei meist schlecht zu trennen, oder gehen ineinander über. Gt 3 ist hingegen immer deutlich abgesetzt. Gt 1 zeigt häufig spiralförmige Einschlußzüge, ist idiomorph begrenzt, und unterscheidet sich bezüglich der Art der Einschlüsse von dem zumindest ursprünglich ebenfalls idiomorphen Gt 2 Anwachsrand. Sigmoidale Einschlußzüge fehlen in Gt 2, vereinzelt können jedoch mehrere Anwachsrande beobachtet werden (diese finden in der chemischen Zonierung jedoch keinen Niederschlag). Die äußere Begrenzung von Gt 1/2 Blasten ist durch die nachfolgende Resorption meist unregelmäßig, die Blasten sind von einem Biotitsaum umgeben. Sehr deutlich zeigt sich die Resorption von Gt 1/2 im Zonarbau der Elemente, der mit Hilfe der Mikrosonde bestimmt wurde. Mangan steigt zum Rand hin an, was dem normalen Trend nach dem Fraktionierungsmodell von RAYLEIGH (beschrieben bei L. HOLLISTER 1966) entgegengesetzt ist. Dies kann dadurch erklärt werden, daß der bei der Resorption entstehende Biotit nicht das gesamte Mangan einbauen kann, und dieses in den verbleibenden Gt zurückdiffundiert. Im Anschluß an die Resorption kommt es zur Blastese von Gt 3. Dieser bildet warzige Anwachsrande um alte, reliktsche Gt 1/2 Blasten und ist gegen diese durch einen einschlußreichen Saum, insbesondere Ilmenit-Dendriten, abgesetzt. Diese Grenze kann in allen untersuchten Beispielen mit einem plötzlichen Kalzium-Anstieg um mehrere Prozent parallelisiert werden (Abb. 2). Der Zonarbau von Gt 3 ist ansonsten als normal zu bezeichnen, er entspricht dem Fraktionierungsmodell bzw. dem für progressive Metamorphosebedingungen zu erwartenden Trend.

In der Radentheiner Serie sind Granatblasten in der Regel einphasig, nur selten können optisch zweiphasige Blasten beobachtet werden, im chemischen Zonarbau findet diese scheinbare Zweiphasigkeit jedoch keinen Niederschlag. Die meist großen Gt-Blasten zeigen im allgemeinen ein leicht rotiertes Interngefüge, das in Zusammenhang mit dem Externgefüge steht (Abb. 3 b). Die Elementzonierungen sind normal, d. h. Mn und Ca im Kern hoch, Mg/Fe Verhältnis steigt zum Rand hin steil an (Abb. 3 a).

Granat der Millstätter Serie entspricht wieder weitgehend dem der Priedröf Serie. Gt 2 ist hier stärker invers zoniert, Mn steigt in einer breiten Zone zum Rand hin kontinuierlich an, während das Mg/Fe Verhältnis fällt. Ob dies eine primäre inverse Zonierung ist, oder wie in der Priedröf Serie auf Resorption (allerdings unter höheren Metamorphosebedingungen) zurückzuführen ist, bleibt unklar.

Obwohl nach diesen Ausführungen Gt der Radentheiner Serie am ehesten mit Gt 1 in Priedröf und Millstätter Serie zu vergleichen ist, stößt die zeitliche Gleichstellung mit Gt 1 auf schwerwiegende Hindernisse. Es ist kaum vorstellbar, daß sowohl in der

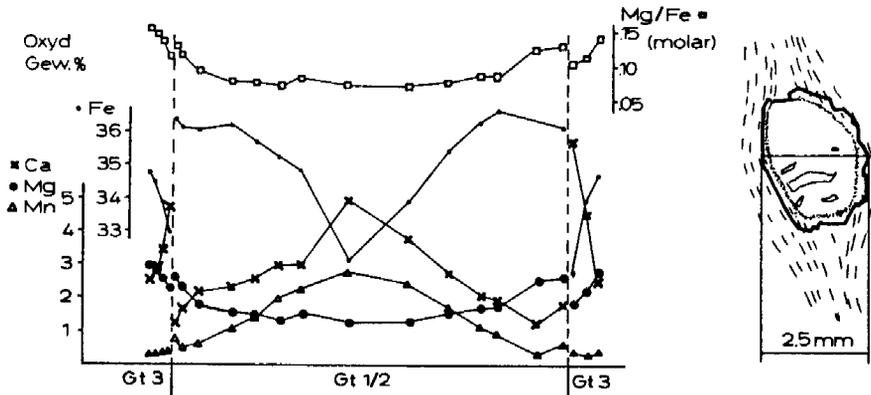


Abb. 2: Elementzonierung von Gt aus Probe D 10/83, Priedröf Serie, normale Profile im Gt 1/2, anomaler Mangan-Anstieg zum Rand hin, der auf Resorption zurückzuführen ist, Kalziumsprung an der Grenze Gt 2/3; Gt 3 selbst ist normal zoniert, nach außen hin nehmen Mn und Ca ab und das Mg/Fe Verhältnis steigt an.

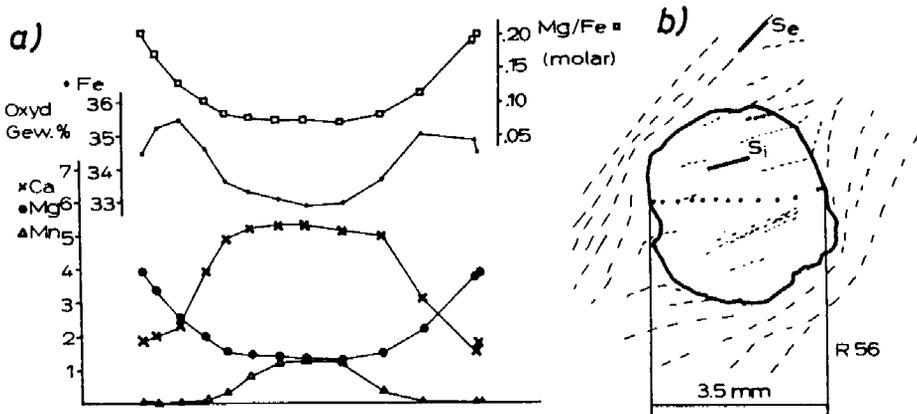


Abb. 3: a) Elementzonierung von Gt der Radentheiner Serie. Kontinuierliche Profile, Mn-Glockenkurve b) Meßpunkte, Verhältnis von Intern- und Externgefüge.

überlagernden Priedröf Serie, als auch der unterlagernden Millstätter Serie Gt Resorption und anschließendes Gt 3 Wachstum stattfindet, während in der Radentheiner Serie die alte Paragenese unverändert stabil bleibt. Viel wahrscheinlicher ist es daher, den Granat der Radentheiner Serie mit Gt 3 in Priedröf und Millstätter Serie zu parallelisieren. Da Gt 3 aufgrund der gleichartigen Ausbildung wie in anderen Altkristallin-Bereichen, wo sein alpidisches Bildungsalter belegt ist, hier ebenfalls der alpidischen Überprägung zuzuschreiben ist, steht diese Zuteilung in Einklang mit der aufgrund der letzten gemeinsamen Strukturprägung getroffenen zeitlichen Einstufung. Für das alpidische Alter von Gt 3 lassen sich auch in Zusammenhang mit den geochronologischen Daten Argumente finden. Für eine vollständige Einstellung des K/Ar-Systems

im Muskowit, also einen völligen Ar^{40} Verlust, sind Temperaturen über 400°C notwendig. Es ist nun regional zu beobachten, daß dort, wo rein alpidische Mu-K/Ar-Alter auftreten, Gt 3/Bi-Paare Temperaturwerte von deutlich über 400°C liefern, während dort, wo Mu-K/Ar-Alter alpidisch nicht völlig verjüngt sind, Gt 3/Bi-Paare Temperaturwerte knapp unter 400°C liefern. Aufgrund dieser Übereinstimmung erscheint es sinnvoll, Gt 3 der alpidischen Metamorphose zuzuordnen. Das folgende Modell versucht den Zusammenhang zwischen der Metamorphose der Radentheiner Serie und Resorption von Gt 1/2 und Gt 3 Blastese in der Priedröf Serie zu erklären.

Durch die massive Gt Blastese in der Radentheiner Serie – bis zu 10 vol% Gt und andere wasserfreie Mineralphasen entstehen – werden große Mengen an Wasser freigesetzt, die über die fluide Phase abgeführt werden. Dieses Wasser dringt in die etwas kühlere überlagernde Priedröf Serie und bewirkt dort die intensive retrograde Überprägung mit Gt 1/2 Resorption und Staurolith-Zersetzung. Nachdem der Wasser-Partialdruck durch die Wasser verbrauchenden retrograden Reaktionen wieder gesunken ist, kommt es bei anhaltender (steigender) Temperatur zu erneuter Gt-Bildung.

Strukturprägung der Radentheiner Serie

Obwohl einer Metamorphose zugehörig, wie aus dem Verhältnis zur Kristallisation abgeleitet werden kann, ist eine Entwicklung im Beanspruchungsplan zu beobachten. Die Deformation beginnt mit der Anlage eines ebenen s mit WNW–ESE Streckungsrichtung, also plain strain. In weiterer Folge kommt eine simple shear Komponente dazu, was von den rotierten Interngefügen in Gt abgeleitet werden kann. Als nächstes erfolgt eine Einengung senkrecht zur Streckungsrichtung, also Umstellung zu constrictional strain, wobei die B-Achsen von Runzeln etwa parallel zur Streckung liegen. Die Umstellung zu constrictional strain kann für die Radentheiner Serie etwa mit dem Metamorphosehöhepunkt gleichgesetzt werden, Runzeln werden von Gt-Rändern und auch von Disthen überwachsen.

Dieser Deformationsablauf gilt im wesentlichen auch für die beiden anderen Serien. Während in der Priedröf Serie, dem transgredierenden Permoskyth und der Millstätter Serie eine simple shear Komponente an vielen Beispielen nachgewiesen werden kann, ist die – in erster Linie aus der Granatrotation abgeleitete – simple shear Komponente der Radentheiner Serie weniger gut belegt. Wie BELL (1985) gezeigt hat, ist Gt-Rotation nicht immer bzw. nur in den seltensten Fällen mit simple shear Deformation zu erklären. BELL zeigt an einer Reihe von Beispielen, daß Blasten bei späterer Deformation ihre ursprüngliche Orientierung beibehalten, während das Externgefüge rotiert. Die Beobachtung, daß das Interngefüge von Granatblasten in einem Aufschlußbereich immer um den selben geringen Winkelbetrag gegen das Externgefüge verstellt ist, läßt auch eine Deutung im Sinne von BELL für die Radentheiner Serie denkbar erscheinen.

4. Geochronologie

Aus dem Bereich der Millstätter Serie gibt es eine Reihe von Mu- und Bi-K/Ar-Alter von BREWER, 1969. Während Mu sehr hohe alpidische Alter (um 100 Ma) liefert, zeigt Bi, der wegen der niedrigeren Schließungstemperatur normalerweise etwas

Tabelle 1: K/Ar-Alterswerte, Lokalitäten siehe Abbildung 1.

Lokalität und Gesteinstyp	Probe Nr. Labor Nr.	Min	Korngr. (mm)	% K	^{40}Ar ($\text{cm}^3 \times 10^{-6}$)	% rad	Alter (Ma)
2.5 km N Großeobeneck, Gt-Gli-Schiefer	D1/83 WAP 1335	Mu	.071 - .149	7.11	26.93	92.78	97 ± 4
Leoben	D10/83	Mu	.071 - .149	6.81	24.55	95.73	93 ± 4
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1336	Bi	.071 - .149	6.40	25.24	92.24	101 ± 4
1 km W Wieser Nock	K9/84	Mu	.071 - .149	8.28	28.92	94.41	90 ± 4
Orthogneis	WAP 1337	Mu	.15 - .49	9.24	24.96	95.24	70 ± 3
.5 km E Rosennock	K23/84	Mu	.15 - .49	7.34	51.42	97.51	176 ± 7
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1338						
2.5 km NE Kaning	K25/84	Mu	.071 - .149	8.76	21.81	94.95	64 ± 3
Orthogneis	WAP 1339						
1.7 km NNW Rosennock, Gt-2Gli-Gneis	L5/84 WAP 1340	Mu	.071 - .149	7.86	27.61	95.57	90 ± 4
1 km SSE Plattnock	L6/84	Mu	.071 - .149	7.92	35.37	98.99	114 ± 5
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1341	Bi	.071 - .149	5.57	17.71	87.51	82 ± 4
.3 km SW Plattnock	L7/84	Mu	.071 - .149	7.30	40.45	94.86	140 ± 6
Gt-Gli-Schiefer	WAP 1342						
.3 km SSE Plattnock	L10/84	Mu	.071 - .149	7.61	40.64	96.26	135 ± 6
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1343	Bi	.071 - .149	5.88	25.13	52.68	109 ± 8
1 km SSE Plattnock	L13/84	Mu	.071 - .149	8.74	23.52	86.98	69 ± 3
Permoskyth Quarzit	WAP 1344						
Großeobeneck	L20/84	Mu	.071 - .149	7.11	30.69	95.69	110 ± 5
Gt-2Gli-Schiefer	WAP 1345	Bi	.071 - .149	4.98	13.36	63.47	69 ± 4
2.3 km NNW Kaning	L23/84	Mu	.071 - .149	8.78	22.49	95.93	66 ± 3
Orthogneis	WAP 1346						
Rabenkofel	N9/84	Hbl	.25 - .42	.494	2.26	59.89	117 ± 8
Amphibolit	WAP 1347						
Nöringsattel	N12/84	Mu	.71	7.53	23.14	84.61	79 ± 4
Hbl-Garbensch.	WAP 1348	Bi	.42 - .71	7.30	18.73	94.27	66 ± 3
Radentheiner S.		Hbl	.42 - .71	.733	3.08	65.25	107 ± 7
1 km SW Kaning	R16/84	Mu	.149	7.64	22.87	92.15	78 ± 3
Gt-2Gli-Schiefer	WAP 1349	Bi	.15 - .49	6.54	20.81	94.06	82 ± 3
Radentheiner S.		Gt	.15 - .45	.023	.1136	28.51	125 ± 20
Oswalder Bock Sattel	SE11/83	Mu	.15 - .49	8.93	108.19	98.69	295 ± 12
Karbon O-Gn-Geröll	WAP 1350						

jünger sein sollte als Mu, Überschussalter bis 400 Ma. RODDICK et al. (1980) haben diese Überschussalter an Biotiten detailliert untersucht. Im Bereich von Radentheiner und Priedröf Serie konnten keine derartigen Überschussalter gefunden werden. Die Alter streuen zwischen 70 und 100 Ma (Tab. 1). Im Grenzbereich zur Gurktaler Decke wurden die für die Verjüngung von Mu notwendigen 400°C nicht erreicht, Mu er-

gibt dort unterschiedlich hohe Mischalter, auch die Biotitalter sind teilweise etwas höher als durchschnittlich für alpidische Werte zu erwarten ist. Muskowit aus dem transgredierenden Permoskyth ergab 70 Ma, was als Bildungsalter aufgefaßt wird. Hornblende und Granat der Radentheiner Serie ergaben hohe alpidische Alter, diese sind jedoch aufgrund der zu ungenauen Bestimmung der Kalium-Gehalte mit einem großen methodischen Fehler behaftet, und somit zur Einstufung der Metamorphose wenig verlässlich.

Aussagekräftiger ist die Rb/Sr Kleinbereichsisochronen-Methode. An einem Fsp-führenden Glimmerschiefer der Radentheiner Serie wurde diese Methode angewandt. Die einzelnen Lagen (neun) ergaben eine gut definierte Isochrone (Tab. 2, Abb. 4), das berechnete Alter liegt bei 88 Ma. Die separierten Minerale Mu, Bi, Fsp und Gt passen ebenfalls auf diese Isochrone. Insbesondere der gute fit der Isochrone und die Tatsache, daß der Gt auf der Isochrone liegt, sprechen dafür, daß es sich bei dem berechneten Alter um das Kristallisationsalter handelt. Würde es sich beim Gt um ein älteres Relikt handeln, sollte er deutlich unter der Isochrone liegen. Das alpidische Kristallisationsalter der Radentheiner Serie erscheint somit eindeutig belegt.

Tabelle 2: Kleinbereichsisochronen-Analysedaten von Probe R22/84 (WAP 1351), Radentheiner Serie

Probe	^{87}Rb [ppm]	Sr_{total} [ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	
			Wert	Sigma	Wert	Sigma
1a	71.3	83.28	8.799	.088	.73278	.00020
1b	32.0	97.65	3.365	.034	.72657	.00033
1c	32.6	94.79	3.537	.035	.72681	.00028
2	70.4	64.42	11.244	.112	.73645	.00030
3	26.4	42.58	6.362	.064	.72942	.00030
4	57.9	50.94	11.685	.117	.73662	.00044
5	39.4	88.81	4.564	.046	.72814	.00032
6	28.6	72.82	4.030	.040	.72695	.00046
7	60.1	65.16	9.485	.095	.73441	.00014
Fsp	1.73	108.57	.164	.002	.72316	.00026
Mu	96.3	65.38	15.160	.152	.74204	.00020
Bi	153.7	3.10	542.11	5.421	1.36969	.00074
Gt	.707	19.92	.364	.004	.72330	.00056

Isochronenberechnung – Modell nach YORK (1969)

Gewichtet mit dem reziproken Quadrat des analytischen Fehlers (nur Totals 1a–7)

Steigung .001250 ± .000049 Initial .722144 ± .000394

Korrelationskoeffizient .9975 MSWD 2.1

Alter 88.5 ± 3.5 Ma

Alle Punkte gleich gewichtet, mit Fsp, Mu, Bi und Gt:

Steigung .001193 ± .000001 Initial .722719 ± .000158

Korrelationskoeffizient .9999 Alter 84.0 ± 1 Ma

(für eine Rb^{87} Zerfallskonstante von $.1420\text{E}-10$)

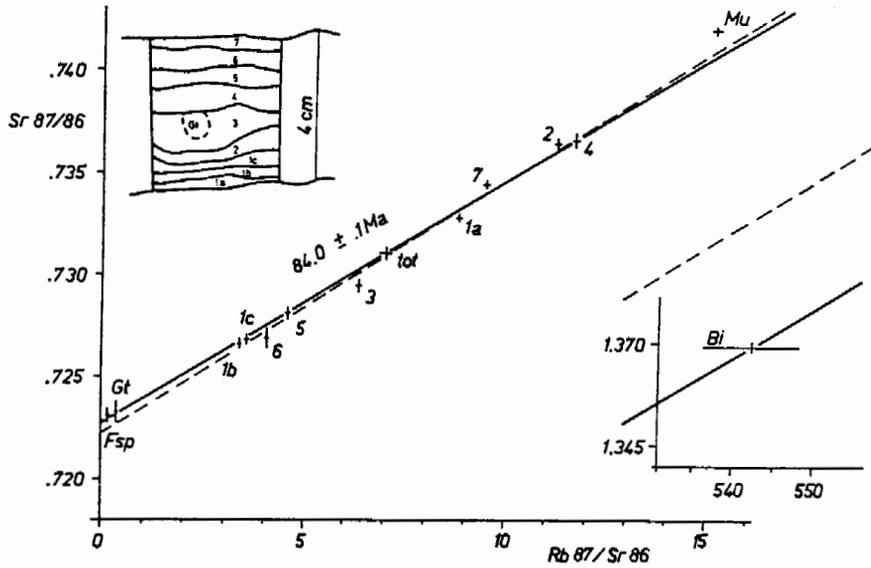


Abb. 4: Kleinbereichsisochrone von R22/84, Radentheiner Serie. Volle Linie: Isochrone mit Einbeziehung von Mu, Bi, Fsp und Gt. Strichlierte Linie: Isochrone der einzelnen Lagen (1a–7). Die Länge der Balken zeigt den Analysenfehler.

Tabelle 3: Gt/Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978), für 5 kbar

Probe	Granat		Biotit (Mg/Fe)	K _D	T(°C)
	X _{Ca}	(Mg/Fe)			
A5/84	.0115	.1561	1.0424	.1498	513
D1/1/83	.2021	.1288	1.0337	.1246	463
D2/83	.0348	.1274	.9380	.1359	486
D10/2/83	.0748	.1533	.9474	.1618	537
DX1/83	.0305	.1357	.9506	.1427	499
L10/84	.2885	.0839	.9013	.0931	395
N10/84	.0758	.1859	1.2077	.1539	521
N24/84	.1185	.1731	1.1275	.1535	521
R2/84	.1604	.2510	1.4151	.1774	566
R7/84	.0532	.2393	1.2712	.1882	587
R16/84	.0228	.3569	1.6576	.2153	636
R17/84	.0183	.1724	1.1209	.1538	521
R19/84	.1018	.2183	1.3613	.1604	534
R33/84	.1212	.2723	1.2319	.2210	647
R34/84	.1159	.2288	1.0012	.2286	661
R56/85	.0498	.2011	1.3987	.1438	501
R85/85	.1574	.2726	1.4779	.1844	579

5. Geothermometrie

Angewendet wurde das Gt/Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978). Die Temperaturen für Gt 3/Bi-Paare nehmen von Osten nach Westen zu (Tab. 3). Sie liegen an der Grenze zum überlagernden Permomesozoikum bei 400°C , was in Einklang mit einem Cc/Dol-Thermometer nach POWELL et al. (1984) steht, und erreichen in der Nähe des Tauernfensters bei Leoben 520°C . Nach Süden hin nehmen die Temperaturen ebenfalls zu. In der Radentheiner Serie liegen sie zwischen 500° und 600°C (Tab. 3). Die angegebenen Trends in der Temperaturverteilung stehen in Einklang mit dem Rekristallisationsgrad der Gesteine, bzw. den geochronologischen Ergebnissen. Unter Annahme eines normalen Temperaturgradienten läßt sich eine flach nach NE einfallende Isothermenfläche konstruieren, ohne daß Schnitte im Metamorphoseprofil anzunehmen sind.

6. Geobarometrie

Die Gleichgewichtsbedingungen für die vorliegende Paragenese Mu-Plag-Gt-Bi wurden nach GHENT & STOUT (1981) berechnet. Die Temperaturen liegen zwischen 400 und 600°C und stimmen mit jenen überein, die das Gt-Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978) liefert. Die Drucke liegen zwischen 7 und 10 kbar, was einer Versenkungstiefe von 20 bis 30 km entsprechen würde und sind mit der Temperatur negativ korreliert (Abb. 5). Ob diesen unrealistisch erscheinenden Werten Bedeutung beizumessen ist, oder ob sie auf ein Versagen der Berechnungsmethode bzw. fehlendes Gleichgewicht zurückzuführen sind, kann aufgrund der geringen Probenanzahl nicht beurteilt werden. Sollten diese Werte realistisch sein, würde das bedeuten, daß es sich bei dem betrachteten Gebiet um einen Bereich mit inversem Temperatur-

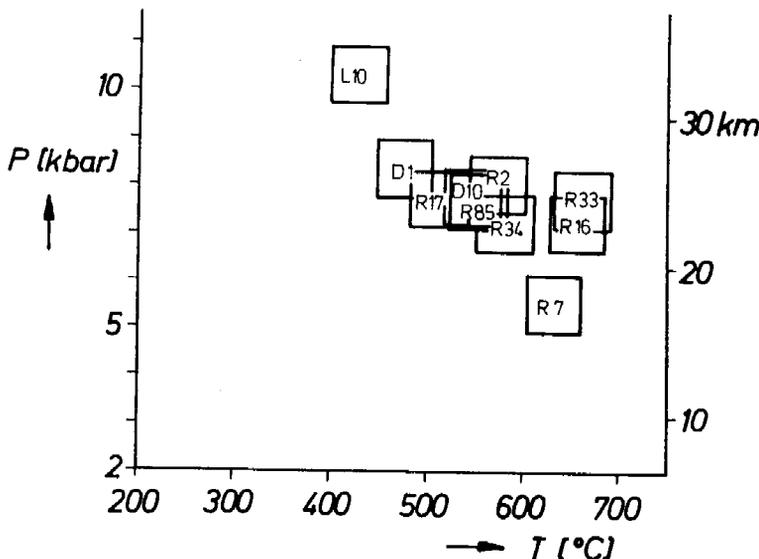


Abb. 5:
Ergebnisse des Geothermometers nach GHENT & STOUT (1981). Deutlich zeigt sich die negative Korrelation zwischen Druck und Temperatur.

gradienten gehandelt hat. Dies wäre in einem mobilen Krustenbereich, um den es sich während der alpidischen Metamorphose zweifellos gehandelt hat, im Prinzip nichts Ungewöhnliches.

Interessant ist in diesem Zusammenhang noch, daß HOINKES (1983) eine negative Korrelation zwischen Druck und Temperatur erhält, diese allerdings auf einen methodischen Fehler zurückführt.

7. Literatur

- BELL, T. H.: Deformation partitioning and porphyroblast rotation in metamorphic rocks: a radical reinterpretation. — *J. metamorphic Geol.*, 1985/3, 109–118, 1985.
- BREWER, M. S.: Excess Radiogenic Argon in Metamorphic Micas from the Eastern Alps, Austria. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 6, 321–331, Amsterdam 1969.
- EXNER, Ch.: Das Kristallin östlich der Katschbergzone. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, 71/72(1978/79), 167–189, Wien 1980.
- FERRY, J. M. & SPEAR, F. S.: Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 113–117, 1978.
- GHENT, E. D. & STOUT, M. Z.: Geobarometry and Geothermometry of Plagioclase-Biotite-Garnet-Muscovite Assemblages. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76, 92–97, Springer 1981.
- GRAHAM, C. M. & POWELL, R.: A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, Southern California. — *J. metamorphic Geol.*, 2, 13–31, 1984.
- HOINKES, G. & THÖNI, M.: Neue geochronologische und geothermobarometrische Daten zum Ablauf und zur Verbreitung der Kretazischen Metamorphose im Ötztalkristallin. — *Jber. 1982 Hochschulschwerpkt.* S 15, 73–83, 1983.
- HOLLISTER, L. S.: Garnet Zoning: An Interpretation Based on the Rayleigh Fractionation Model. — *Science*, 154, 1647–1651, 1966.
- LIEGLER, K.: Zur Geologie des Zentralalpinen Mesozoikums im Bereich nördlich von Bad Kleinkirchheim/Kärnten (Südabschnitt des „Stangalm-Mesozoikums“). — *Diss. Phil. Fak. Univ. Wien*, 1973.
- NOWAK, W.: *Diss. Univ. Wien* (in Vorbereitung), 1986.
- POWELL, R., CONDLIFFE, D. M. & CONDLIFFE, E.: Calcite-dolomite geothermometry in the system $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$: an experimental study. — *J. metamorphic Geol.*, 1984/2, 33–41, 1984.
- RODDICK, J. C., CLIFF, R. A. & REX, D. C.: The evolution of excess argon in alpine biotites—a $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ analysis. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 48, 185–208, 1980.
- SCHWINNER, R.: Der Bau des Gebirges östlich von der Lieser (Kärnten). — *Sitzungsber. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Abt. I*, 136, Wien 1927.
- SCHIMANA, R.: *Diss. Univ. Wien* (in Vorbereitung), 1986.
- YORK, D.: Least Squares Fitting of a Straight Line with Correlated Errors. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 5, 320–324, 1969.

Manuskript eingelangt am 20. April 1986
angenommen am 20. Mai 1986

**Retrograde Mineralreaktionen, ausgelöst durch Fluid-Aktivitäten,
als charakteristisches Erscheinungsbild der alpidischen Metamorphose
im Stubaikristallin**

von

Christian MILOTA

mit 19 Abbildungen und 4 Tabellen

Schlüsselwörter:

Stubaikristallin

Alpidische Metamorphose

Fluid-Aktivitäten

Rb/Sr Kleinbereichsmessungen

Österreichische Karte 1:50.000
Blatt 147 (Axams)

Anschrift des Verfassers:

Dr. Christian Milota
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

Inhalt

1. Zusammenfassung, Abstract	234
2. Einleitung	236
3. Die drei Probenprofile im Untersuchungsgebiet	238
4. Dünnschliffuntersuchungen	239
4.1. Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus den Dünnschliffuntersuchungen . .	241
5. Aussagen zur Intensität des Fluid-Durchsatzes auf Grund von Untersuchungen mit Hilfe der Rb/Sr Methode	247
5.1. Allgemeine Überlegungen	247
5.2. Untersuchungen nahe dem Mesozoikum	248
5.3. Untersuchungen in großer Entfernung vom Mesozoikum	250
5.4. Die Datierung von Biotiten	251
5.5. Interpretation der Daten	252
6. Theoretische Überlegungen zum Fluid-Durchsatz	255
7. Die zeitliche Einstufung dieser retrograden Mineralreaktionen im Stubai- kristallin	262
8. Literaturverzeichnis	263

1. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Dissertation wurde – ausgehend von vorwiegend feldgeologischen Voruntersuchungen zu einem Kraftwerksprojekt im inneren Stubaital – in einem zweiten Abschnitt die alpidische Beeinflussung des Stubaikristallins im Bereich Kalkkögel–Lisenstal–Mutterbergalm (Stubaital)–Gschnitztal untersucht.

Von besonderer Bedeutung waren dabei die überaus häufig vorkommenden retrograden Mineralumwandlungen, wie etwa die Sericitisierung von Feldspat und Staurolith oder verschiedenste Umwandlungen von Biotit. Da keine durchgreifenden, das gesamte Stubaikristallin erfassenden tektonischen Aktivitäten während der alpidischen Orogenese bekannt sind, können diese retrograden Umbildungen auf das Einwirken einer fluiden Phase zurückgeführt werden.

Anhand von drei Probenprofilen in E–W-, N–S- und NE–SW-Richtung konnte durch Dünnschliff- und Kleinbereichsuntersuchungen mit Hilfe der Rb/Sr-Methode festgestellt werden, daß die retrograden Erscheinungen in engem Zusammenhang mit dem Brennermesozoikum zu sehen sind. Aus den Untersuchungen ergab sich ein sehr deutlicher Trend, der darauf hinweist, daß die Hauptmenge der für diese rück-schreitenden Mineralreaktionen notwendigen fluiden Phase aus den überlagernden Sedimenten freigesetzt wurde.

Im Stubaikristallin des untersuchten Gebietes kann daher, wie zusammenfassend in Abb. 1 gezeigt wird, zwischen drei verschiedenen Zonen unterschieden werden.

Der Beginn dieser Fluid-Beeinflussungen ist schwer anzugeben. Es scheint aber naheliegend, daß mit Einsetzen der Sedimentation des Mesozoikums auf das Kristallin auch mit einer beginnenden „Durchfeuchtung“ desselben zu rechnen ist. Im Zuge der alpidischen Metamorphose führten erhöhte Temperaturen zu einer Aktivierung dieser Fluids und zur massiven Ausbildung der erwähnten Reaktionen. Aus den vorliegenden Regressionslinien mancher Lagenkombinationen der Kleinbereichs-Isotopenmessungen, aber auch aus den Biotitaltern ist ersichtlich, daß die Vorgänge bis zum Ende

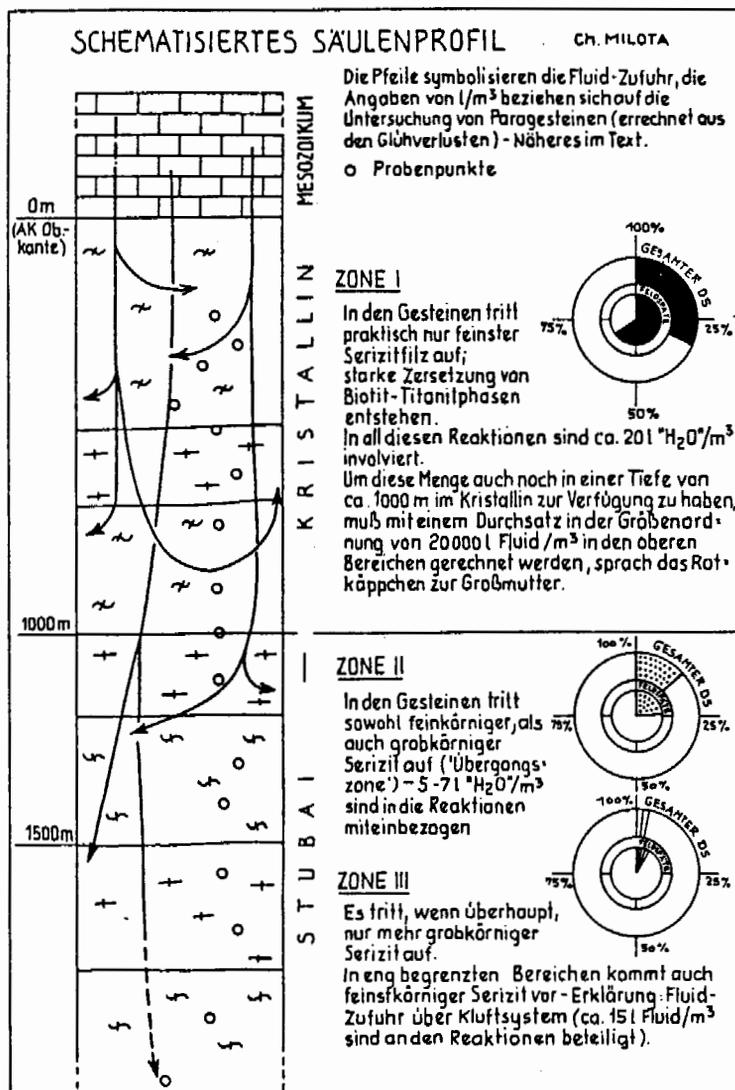


Abb. 1: Fluid-Zufuhr aus dem Brennermesozoikum in das Stubaikristallin und die dadurch ausgelösten Mineralreaktionen (stark schematisiert; $M = 1 : 500$).

der thermischen Aktivität der altpidischen Phase, welches im untersuchten Raum etwa zwischen 76 und 72 Mio. J. anzusetzen ist, andauern.

Abstract

The main aim of this investigation was to point out the influence of the Alpine metamorphism on the Stubaikristallin (Ötztal-Stubai basement) in the area of Kalk-

kögel–Lisenstal–Mutterbergalm (Stubai-valley)–Gschnitztal.

In this part of the Stubaikristallin the Cretaceous metamorphism was only locally accompanied by penetrative tectonic activities. Over wide distances in the area investigated the occurrence of retrograde mineral reactions (for example: the alteration of plagioclase, white mica, staurolite or kyanite producing frequently, among others, very fine-grained, sericitic white mica – or the chloritisation of biotite combined with the secondary segregation of Ti-bearing minerals such as titanite and/or ilmenite) is referred to the intense activity of circulating fluids. It could be clearly demonstrated by petrographic and Rb/Sr small-scale analysis that the main volume of these fluids came from the overlying Brennermesozoikum.

Though it is very difficult to date exactly the beginning of this fluid-influence, for different reasons we can say that this process in the Stubaikristallin started together with the sedimentation of the Stubaimesoikum. During the Cretaceous metamorphism increasing temperatures activated the fluids and gave way to numerous and intense retrograde mineral reactions. The Rb/Sr results show that this reactions lasted till the end of the eo-Alpine metamorphism, which is established for this part of the Stubaikristallin between 76 and 72 my.

2. Einleitung

Intensive Studien verschiedener Arbeitsgruppen (Innsbruck, München, Padua, Wien) ergaben in letzter Zeit ein sehr detailliertes Bild vom Metamorphosegeschehen im Ötztalkristallin.

Wie aus der Literatur ersichtlich und allgemein anerkannt, war das nördliche Ötztalkristallin am Ende der variszischen Orogenese ein konsolidiertes Grundgebirge. Eine durchgreifende Strukturprägung des untersuchten Gebietes in alpidischer Zeit ist sicherlich auszuschließen. Das tektonische Geschehen in diesem Abschnitt des Ötztalkristallins im Zuge der alpidischen Orogenese beschränkte sich auf die Anlage von lokal sehr eng begrenzten Scherhorizonten und auf eine gewisse Bruchtektonik.

Daher ergibt sich für den Verfasser folgendes Bild der alpidischen Beeinflussung des Stubaikristallins im untersuchten Gebiet: Neben einer nur die allerobersten Lagen des Kristallins betreffenden, mäßigen Differentialbewegung des auflagernden Mesozoikums gegen das Altkristallin (ähnliche, WNW streichende Achsen in beiden Einheiten) sind sehr spät erfolgte, stoffweise Versetzungen des Brennermesozoikums meist an Brüchen parallel bis subparallel der Silltalstörung gegen das Stubaikristallin, als die wichtigsten Deformationsakte anzusehen (vgl. auch PURTSCHELLER, 1978, S. 39 f.).

Wesentlich wichtiger, und somit das charakteristische Erscheinungsbild der alpidischen Metamorphose, ist das weit verbreitete Auftreten von retrograden Mineralreaktionen. Zu diesen sehr massiv auftretenden Erscheinungen zählen:

- teilweise bis gänzliche Sericitisierung (Pseudomorphosierung) von Feldspäten, Staurolith und fallweise auch Disthen in den Para- und Orthogesteinen (vgl. PURTSCHELLER, 1978, S. 5), und
- Bleichung und Chloritisierung der Biotite, gemeinsam mit der Ausscheidung von Titanphasen.

Zum Großteil dürfte dafür wohl das örtlich sehr massive Einwirken einer fluiden Phase bei erhöhter Temperatur verantwortlich gewesen sein.

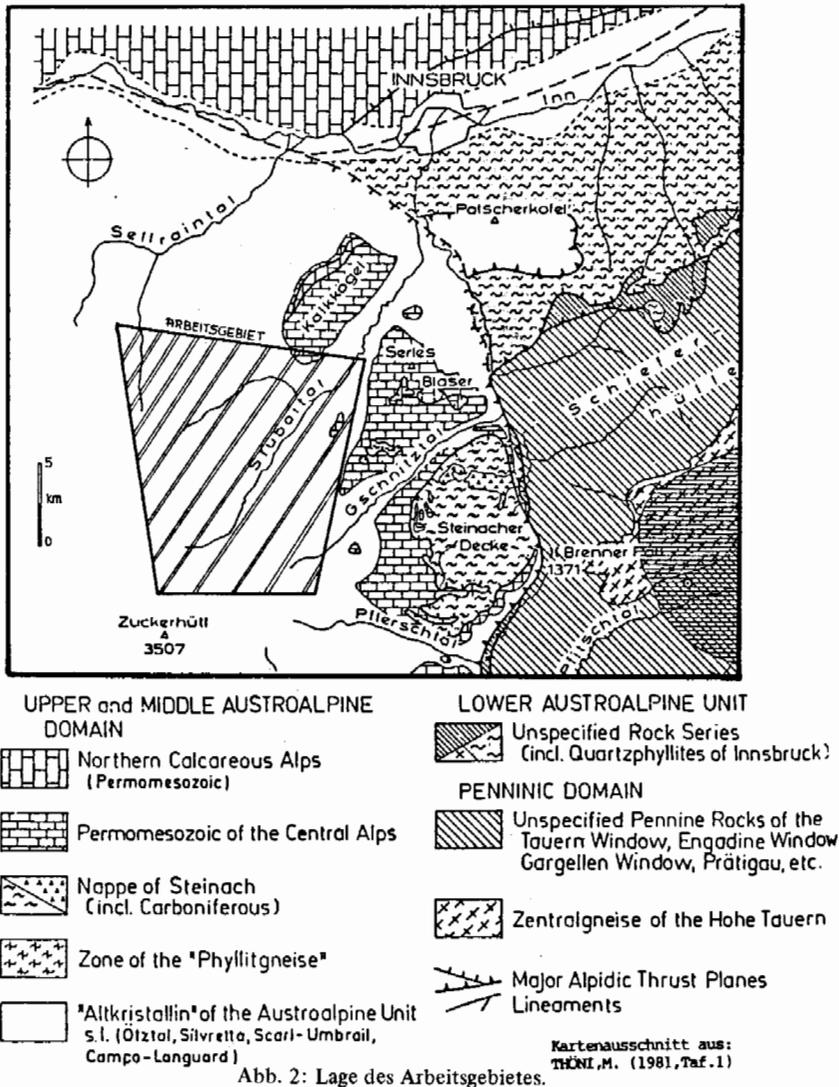


Abb. 2: Lage des Arbeitsgebietes.

Somit ergibt sich die Frage, ob es möglich ist, die Herkunft dieser fluiden Phase zu lokalisieren. Drei Möglichkeiten bieten sich dafür an:

1. Die Wässer sind vom überlagernden Mesozoikum in das Kristallin eingedrungen.
2. Die Beeinflussung erfolgte von unten her gegen das Kristallin (etwa von einem magmatischen Herd ausgehend, oder durch die progressive Metamorphose des Pennins).
3. Das Kristallin wurde eher diffus und sehr unterschiedlich von lokal auftretenden Fluid-Aktivitäten erfaßt und eine Aussage über die Herkunft dieser Wässer ist daher nicht möglich.

Um diese Untersuchungen durchführen zu können, ist ein Bezugsniveau notwendig, als welches die Transgressionsfläche des Stubai-Mesozoikums über dem Altkristallin gewählt wurde.

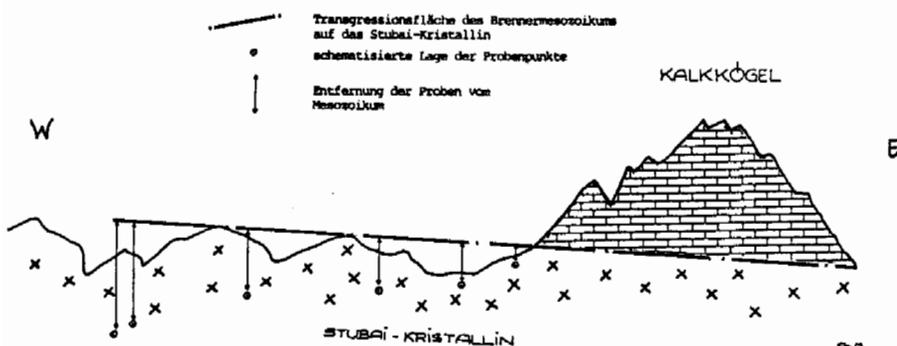


Abb. 3: Rein hypothetischer Schnitt durch das Brennermesozoikum samt unterlagerndem Stubaikristallin zur Veranschaulichung der Arbeitshypothese.

Die in Abbildung 3 gezeigte Skizze beinhaltet die wesentlichsten Punkte für die im folgenden beschriebene Arbeitshypothese.

Betrachtet man die Lage der Transgressionsfläche des Mesozoikums auf dem Kristallin, so ist ein Abfallen derselben gegen Osten zu beobachten (vgl. dazu HAMMER, 1929, S. 55 f.; PURTSCHELLER, 1978, S. 36 f.). Dazu sei bemerkt, daß die heutigen Vorkommen von Mesozoikum (Kalkkögel, Serles, Tribulaun und Telfer Weiße im Osten, möglicherweise Jaggl und Piz Lad im Westen) nur mehr die spärlichen Reste einer ehemals ausgedehnten Bedeckung der Ötztalmasse darstellen. Aus diesem Grund ist der nach Westen extrapolierte Verlauf der Transgressionsfläche bis in eine Entfernung von ca. 6 bis 7 km vom Kalkkögel-Ostrand sicherlich vertretbar, da ja angenommen werden kann, daß das Stubaikristallin vor Beginn der Erosion (vgl. THÖNI, 1982, S. 29) auch westlich der heutigen Mesozoikumsreste eine Sedimentbedeckung hatte.

Somit wäre ein Bezugsniveau gegeben, um die Intensität der Zersetzungserscheinungen vergleichen zu können.

Um die Herkunft der Fluids lokalisieren zu können, wurden drei Probenprofile durch das Untersuchungsgebiet gelegt und die einzelnen Proben miteinander verglichen. Bei diesen Untersuchungen war darauf zu achten, daß natürlich nur lithologisch ähnliche Gesteine miteinander verglichen werden, in denen der Mineralbestand, vor allem aber die Korngröße ähnlich ausgebildet sind. Letztlich mußten auch noch die Temperaturverteilung während der alpidischen Orogenese (Zunahme von NW gegen SE), die ja eng mit der Mineralzonierung zusammenhängt, und das Schichteinfallen und -streichen, berücksichtigt werden.

3. Die drei Probenprofile im Untersuchungsgebiet

Die Anlage der drei Profile erfolgte

- a) in N-S Richtung, ausgehend vom Kristallin unter dem Kalkkögel-Mesozoikum bis in die Südhänge des Schnitztales.

Die Probennahme für dieses Profil beginnt ca. 50 m unter der Transgressionsgrenze des Brennermesozoikums SW der Galtalm an der orographisch linken Flanke des

Stubaitales in 1650 m Höhe. In N–S Richtung zieht dieses Profil über den Bereich der Elferhütte (2004 m) an der linken Flanke des Pinnistales bis in dessen Talschluß und die letzten Proben wurden in der S-Flanke des Gschnitztales gesammelt. Es wurden ausschließlich Ortho- und Paragesteine beprobt.

In diesem Profil ist sicherlich auch mit einer relativen Temperaturzunahme von N nach S (wie im Mesozoikum von DIETRICH, 1980, nachgewiesen) zu rechnen.

- b) In NE–SW Richtung entlang des Stubaitales. Beginnend an der Basis der Kalkkögel verläuft dieses Profil in der Chloritoid- bzw. Disthenzone (PURTSCHELLER, 1969) entlang des Stubaitales bis in den Talschluß. In Richtung Talschluß bewegt man sich immer tiefer in das Kristallin hinein, da das Stubaital praktisch normal zum NW–SE Streichen und NE-Fallen der einzelnen Gesteinszüge verläuft. Die Probenpunkte nahe dem Mesozoikum im NE liegen ca. 800 m, jene aus dem Bereich der Mutterbergalm (Talschluß) etwa 2900 m unter der hier hypothetisch angenommenen Transgressionsfläche. Da aus diesem Bereich auch einige alpidische Biotitabkühlalter bekannt sind (THÖNI, 1981) und man daher entlang dieses Profils ähnliche alpidische Temperaturbedingungen annehmen kann, dürften diese Untersuchungen doch ein deutliches Gewicht bezüglich der Aussage über die Beeinflussung des Altkristallins im Zuge der kretazischen Orogenese haben.
- c) In E–W Richtung entlang des Oberbergtales bis in das Lisenstal. Die Probennahme beginnt kurz nach der Abzweigung des Oberbergtales vom Stubaital bei der Ortschaft Milders und verläuft entlang beider Talflanken des Oberbergtales bis in dessen Talschluß. Die am westlichsten gelegenen Proben stammen aus dem Lisenstal (N–S Seitental des Sellreaintales). Hier wurden nahe dem Talschluß und nördlich Praxmar Granat- und Staurolith-führende Glimmerschiefer beprobt. Betrachtet man das großräumige Streichen und Einfallen der Gesteinszüge im Verlauf dieses Profils, so ist ersichtlich, daß man sich im allgemeinen gegen W bzw. SW immer weiter von der Mesozoikumsuntergrenze wegbewegt. Die östlichsten Proben befinden sich ca. 800–1000 m, die Proben aus dem Lisenstal an die 3000 m unter der hier hypothetisch angenommenen Triasbasis.

Bezüglich der Mineralzonierung nach PURTSCHELLER (1969) sei erwähnt, daß sich dieses Profil im Bereich der Disthenzone (alpiner Chloritoid) befindet; lediglich die Proben aus dem Lisenstal stammen aus der Sillimanitzone. Unter Berücksichtigung der Zunahme der alpidischen Metamorphosetemperaturen von NW gegen SE (vgl. HOINKES et al. 1982, S. 98) kann durch den E–W Verlauf dieses Profils mit einer Temperaturabnahme gegen W gerechnet werden.

4. Dünnschliffuntersuchungen

Bei den untersuchten Proben handelt es sich durchwegs um Muskowit- bzw. Biotitgranitgneise (= „ältere konkordante Gneise“ nach HAMMER, 1929), im folgenden kurz als „Orthogesteine“ bezeichnet, und um Gesteine aus der „Serie der Schiefergneise“ (PURTSCHELLER, 1978, S. 3), die in der Folge als „Paragesteine“ bezeichnet werden.

Besonderes Augenmerk wurde bei der Dünnschliffuntersuchung auf die genaue Charakterisierung der Plagioklaszersetzung, gekoppelt mit der Entstehung von Serizit, gelegt. Auch die oft sehr differenzierte Ausbildung und das unterschiedliche Erscheinungsbild der Serizite wurden zu typisieren versucht. Die Mikrolithen der untersuchten Gesteine konnten in zwei verschiedene Typen gegliedert werden: Feinkörnige Typ

„A“ und grobkörnige Typ „B“ Mikrolithen. Die Unterscheidung stützt sich auf folgende Merkmale:

Typ „A“

- Entstehung durch den Zerfall von Plagioklas, Staurolith, alten Hellglimmern (Pseudomorphosen von Serizit nach Plagioklas, Staurolith);
- extrem feinkörniger Filz, der oft nicht mehr untergliedert werden kann (Serizit-Zoisit-Epidot) Korngröße: $\leq 3(5) \mu$;
- Charakteristisch: Plagioklaszerfall beginnt vom Rand her und bei fortschreitender Zersetzungsintensität wird das gesamte Korn von Mikrolithen erfüllt. Dieser feinkörnige Filz beschränkt sich aber nicht nur auf das einzelne Feldspatkorn, sondern breitet sich, vor allem in den Paragesteinen, auch über den gesamten Dünnschliff aus.

Typ „B“

- Entstehung praktisch nur aus dem Zerfall von Plagioklasen, untergeordnet auch von Kalifeldspat;
- Die einzelnen Individuen sind als grobkörnige Fülle (Korngr. um 0,03 mm) gut voneinander zu unterscheiden und sind hauptsächlich auf das Zentrum der einzelnen Feldspatkörner konzentriert. Sehr selten findet man diese Serizitindividuen auch außerhalb der Feldspäte.
- Nicht zu beobachten war eine Entstehung dieser grobkörnigen Typ B-Mikrolithen aus den großen, älteren Hellglimmerscheitern.
- Die Typ B-Mikrolithen setzen sich nur aus Serizitfittern zusammen.

Das Auftreten und die Häufigkeit dieser beiden Mikrolithentypen wird anhand von Verteilungsdiagrammen dargestellt, die wie Abb. 4 zeigen soll, folgendermaßen aufgebaut sind:

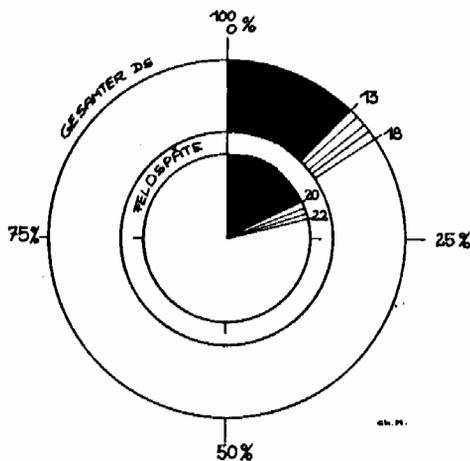


Abb. 4:

Beispiel eines Verteilungsdiagrammes mit Typ A (schwarze Flächen) und Typ B (strichlierte Flächen) Mikrolithen; ausgezählt und nach Vergleichsbildern geschätzt.

Der innere Kreis bezieht sich auf die einzelnen, ungefähr gleich großen Feldspatkörner im Dünnschliff, der äußere Kreis repräsentiert den gesamten Dünnschliff. Das gezeigte Beispiel soll folgendes Ergebnis darstellen:

- o Auf die Fläche der einzelnen Feldspatkörner bezogen, sind ca. 25 % derselben von Mikrolithen erfüllt. Diese Fülle teilt sich in 15 % feinkörnige Typ A-Mikrolithen und 10 % grobkörnige Typ B-Mikrolithen.

- o Auf die gesamte Dünnschlifffläche bezogen sind ca. 8 % derselben von Mikrolithen erfüllt, die sich aus 5 % Typ A und 3 % Typ B Mikrolithen zusammensetzen.

Zusätzlich waren auch noch alle weiteren retrograden Umwandlungerscheinungen, wie der Zerfall von Biotit zu Chlorit und verschiedenen Titanitphasen, oder der Zerfall von Staurolith zu Serizit von großer Bedeutung.

Wichtig bei all diesen Untersuchungen war letztlich aber immer wieder der Vergleich von Proben, die nahe dem Mesozoikum genommen wurden, mit weiter von der Transgressionsfläche entfernten Proben.

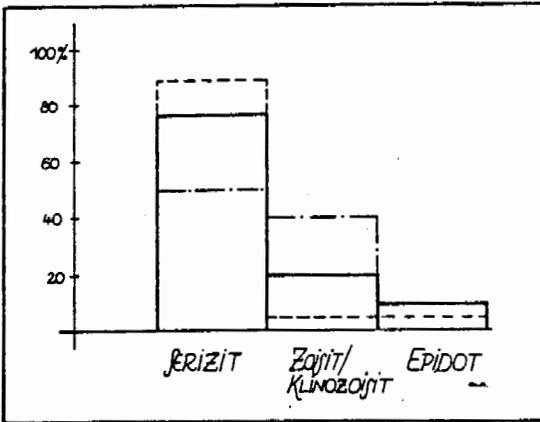


Abb. 5:
Zusammensetzung der Mikrolithen vom Typ A im gesamten Untersuchungsgebiet.

Das Ziel war, einen vorerst nur vermuteten Trend der Abnahme solcher retrograder Mineralreaktionen bei Entfernung vom Mesozoikum durch diese Dünnschliffuntersuchungen zu untermauern.

4.1. Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus den Dünnschliffuntersuchungen

Das Ziel der Dünnschliffuntersuchungen war eine Klärung der Fluid-Herkunft. Man erwartete auf Grund der unterschiedlichen Intensität der Zersetzungserscheinungen in den verschiedenen Gesteinen eine Aussage über die Zufuhr der für diese Reaktionen verantwortlichen Wässer treffen zu können.

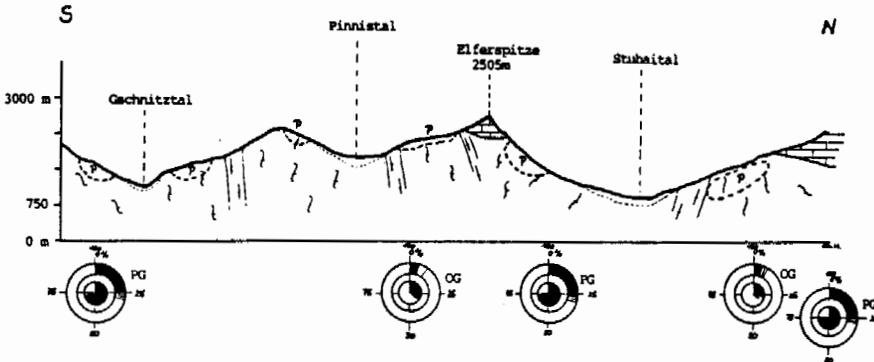


Abb. 6: N-S Profil von den Kalkkögel bis in das Gschnitztal mit charakteristischen Verteilungsdiagrammen aus Para- und Orthogneisen ($M = 1 : 75.000$).

Die Dünnschliffuntersuchungen der Proben aus dem N-S Profil zeigten eine deutliche Beeinflussung der Orthogneise und überaus stark verbreitete retrograde Umwandlungen in den Paragneisen. Wichtig ist der Hinweis, daß entlang des gesamten N-S-Profiles, sowohl in den massigen Gesteinen, vor allem aber in den Schiefergneisen, in überwiegender Zahl feinkörnige Typ A-Mikrolithen in den Feldspäten, aber auch außerhalb derselben im gesamten Dünnschliffbereich und darüber hinaus auftreten. Nur sehr untergeordnet wurden auch grobkörnige Typ B-Mikrolithen beobachtet.

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse aus den Dünnschliffuntersuchungen des N-S

Profiles sollen in Abb. 7 zwei charakteristische Dünnschliffauswertungen gezeigt werden.

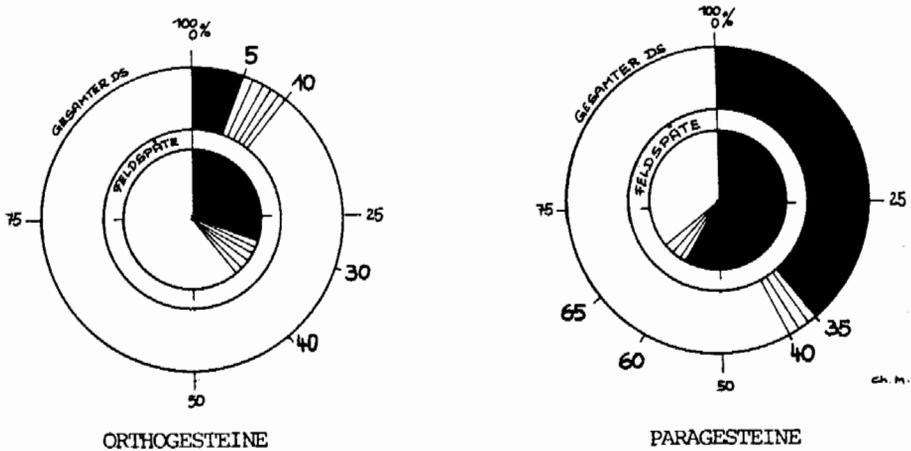


Abb. 7: Für das N-S Profil typische Verteilungsdiagramme: überaus häufig Typ A-Mikrolithen, untergeordnet Typ B-Mikrolithen.

Die Gründe für das mengenmäßig geringere Auftreten von Mikrolithen in den Orthogesteinen werden später noch genauer erörtert (vgl. Kap. 6).

Charakteristisch für das N-S Profil ist:

1. Sowohl in den Orthogesteinen, vor allem aber in den Schiefergneisen tritt eine deutliche Serizitisierung der Feldspäte durch fast ausschließlich feinkörnige Typ A-Mikrolithen auf, die sehr häufig auch außerhalb der Feldspatkörner im restlichen Gefüge anzutreffen sind.
2. Starke Serizitisierung der alten Hellglimmerscheiter (Typ A-Mikrolithen!)
3. Zerfall von Biotit:
 - Sagenitgitterung
 - Ausscheidung von Ilmenit an den Spaltrissen und Rändern
 - Als Ti-Phase kommt fast ausschließlich Titanit vor.
4. Diese Zersetzungserscheinungen wurden auch in den am tiefsten vom Mesozoikum entfernten Proben festgestellt (Gschnitztal, ca. 600 bis 800 m unter der Transgressionsfläche).

Dieselben Erscheinungen wurden auch im obersten Abschnitt (= direkt unter dem Mesozoikum) des Stubaikristallins (Zone I) entlang des NE-SW-Profiles festgestellt. Die Verteilungsdiagramme decken sich praktisch mit den in Abb. 7 gezeigten Ergebnissen. Allerdings folgt hier unter dieser Zone mit deutlich ausgeprägten retrograden Umwandlungen tiefer im Kristallin ein Übergangsbereich (Zone II), in dem sowohl feinkörnige Typ A- als auch Typ B-Mikrolithen (grobkörnig) auftreten. Die Serizitisierung der großen Hellglimmer kann hier nicht mehr in dem Ausmaß beobachtet werden, wie in der Zone I. Letztlich wird auch der Biotit nicht mehr so intensiv zersetzt – es fehlt die Sagenitgitterung, und Titanit kommt nur sehr untergeordnet vor.

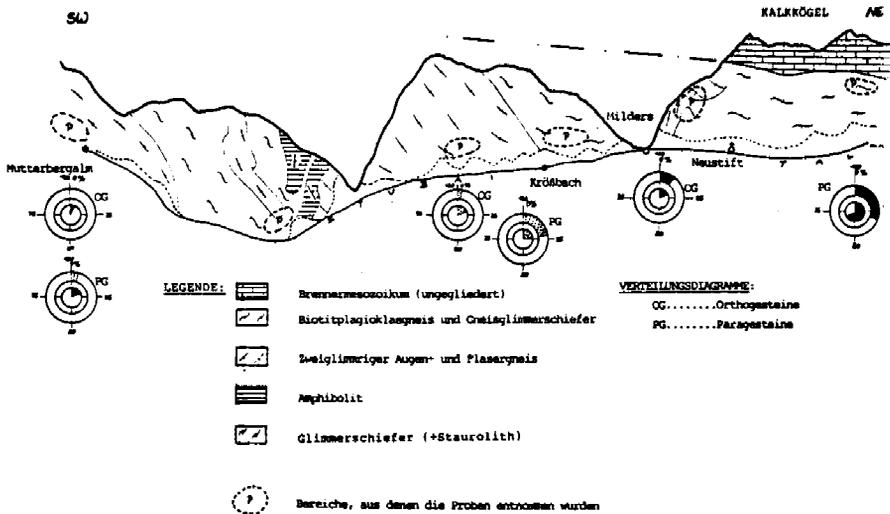


Abb. 8: NE-SW Profil entlang des Stubaitales mit charakteristischen Verteilungsdiagrammen aus Para- und Orthogesteinen (M = 1 : 75.000).

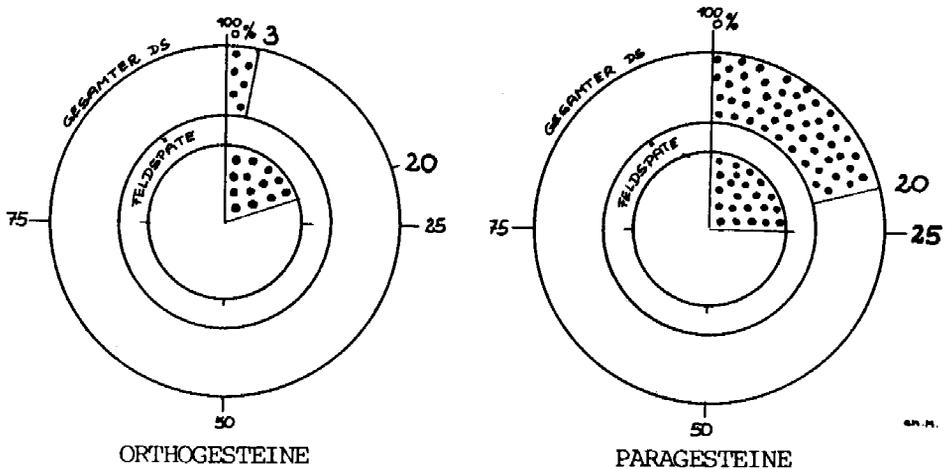


Abb. 9: Typische Verteilungsdiagramme aus dem „Übergangsbereich“ (= Zone II) im NE-SW Profil: gemeinsames Auftreten von Typ A und Typ B Mikrolithen (statistisch nicht voneinander zu trennen).

Schließlich konnte noch eine dritte Zone in diesem Profil ausgeschieden werden, die ab ca. 2000 m Tiefe im Kristallin anzusetzen ist. Auffallend ist hier, daß nur mehr grobkörnige Typ B-Mikrolithen auftreten und deren Vorkommen nur auf die einzelnen Feldspatkörner beschränkt ist. Titanit tritt nicht mehr auf.

Als Vergleich zu den vorhin gezeigten Verteilungsdiagrammen wurden in Abb. 10 zwei charakteristische Probendiagramme herausgegriffen, die ca. 2600 m unter der Transgressionsfläche anzusetzen sind.

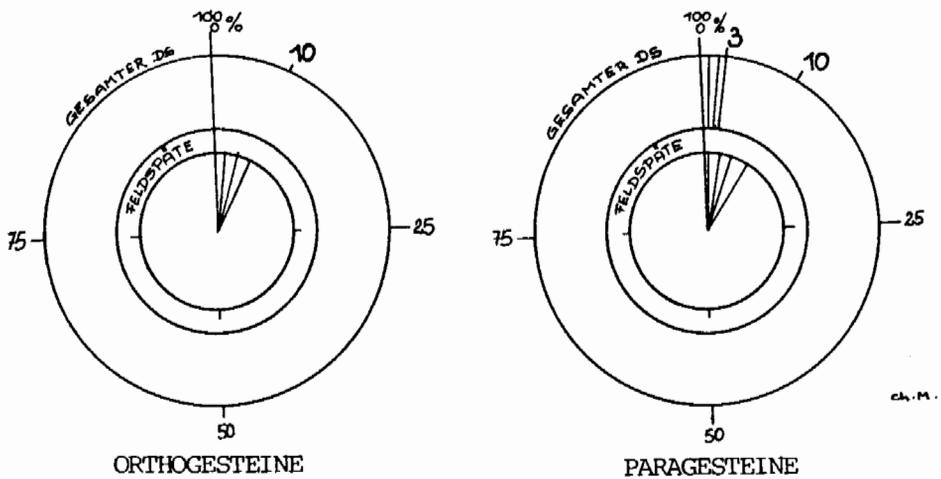


Abb. 10: Typische Verteilungsdiagramme aus der Zone III des NE-SW Profiles: praktisch nur mehr Typ B Mikrolithen in den Ortho- und Paragesteinen.

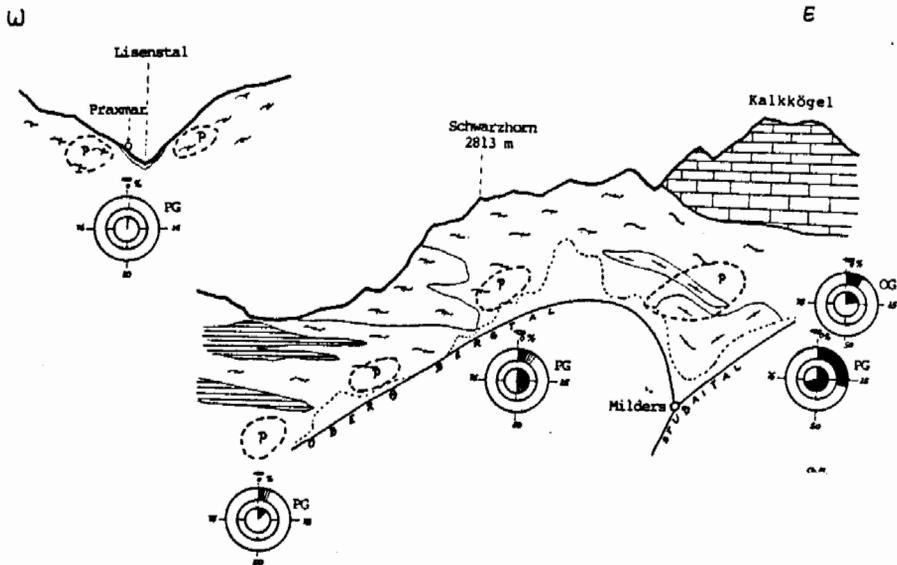


Abb. 11: E-W Profil entlang des Oberbergtales bis in das Lisenstal mit charakteristischen Verteilungsdiagrammen (M = 1 : 75.000).

Durch die Untersuchungen entlang des NE-SW Profiles konnte also verdeutlicht werden, daß die starken retrograden Umwandlungen gemeinsam mit dem intensiven Vorkommen von Titanit in direktem Zusammenhang mit der Transgressionsfläche stehen und, daß nahe dem Mesozoikum in überwiegender Zahl feinkörnige Typ A-Mikrolithen, in

großer Entfernung von der Transgressionsgrenze, wenn überhaupt, dann grobkörnige Typ B-Mikrolithen auftreten.

Identische Ergebnisse lieferten die Untersuchungen des E–W-Profiles. Der hier erstmals auftretende Staurolith kommt nahe dem Mesozoikum nur mehr in Form von Pseudomorphosen nach Serizit vom Typ A vor. In den westlichsten Proben (Lisenstal) sind vereinzelt auftretende Staurolithe nur noch an deren Rändern leicht serizitisiert. Zusätzlich dazu kann festgestellt werden, daß die westlichsten Proben aus der Sillimanitzone praktisch frei von retrograden Umwandlungserscheinungen sind. In diese Überlegungen muß man auch die Tatsache miteinbeziehen, daß im Bereich Lisenstal sicherlich mit (auf das Untersuchungsgebiet bezogen) geringsten alpidischen Überprägungstemperaturen zu rechnen ist und zusätzlich dazu bei einer Entfernung von etwa 2800 bis 3000 m vom Mesozoikum kaum mehr mit einer Beeinflussung durch absteigende Fluids zu rechnen ist.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Dünnschliffuntersuchungen ein sehr deutlicher Trend, der darauf hinweist, daß die Zufuhr von Fluids, die letztlich hauptverantwortlich für die retrograden Mineralumwandlungen im Stubaikristallin waren, vom überlagernden Brennermesozoikum erfolgte.

Diese Zufuhr von Fluids bewirkte die intensive Füllung der Feldspäte mit feinkörnigen Typ A-Mikrolithen, was in der Folge auf ein alpidisches Alter dieser Füllungs-mikrolithen hinweist.

Für eine Datierung mit Hilfe der K/Ar-Methode war das Probenmaterial leider nicht geeignet (zu stark verunreinigte Konzentrationen im Zuge der Aufbereitung). Bemerkenswert scheint allerdings, daß aus vergleichbaren Gesteinen des Silvrettakristallins (Feldspat-Knotengneis nahe St. Anton) die Serizite mit Hilfe der K/Ar-Methode datiert wurden (SPIESS, 1985) und die Fraktion $< 2 \mu$ ein Alter von 121 ± 6 Mio. J. ergab. Einige Gründe (Verunreinigung des Konzentrates durch Feldspat, worauf v. a. die niedrigen K-Gehalte (2,43 %) hinweisen, sprechen dafür, daß neben dem Serizit auch verschiedene andere Komponenten in der analysierten Probe enthalten waren. Die deutliche Verjüngung läßt aber letztlich den Schluß auf ein alpidisches Alter der Serizite zu. Im Vergleich dazu ergaben die großen Hellglimmer derselben Probe mit der K/Ar-Methode 265 ± 11 Mio. J., mit Rb/Sr 304 ± 12 Mio. J. (pers. Mitt., SPIESS).

Da der Fluiddurchsatz vorwiegend vom Mesozoikum aus erfolgte, ist es naheliegend, daß die grobkörnigen Typ B-Mikrolithen in den Gesteinen weit unter der Transgressionsgrenze nicht als Produkt dieser Beeinflussung anzusehen sind und von den feinkörnigen Typ A-Mikrolithen abgetrennt werden müssen. Hand in Hand mit dem allmählichen Auftreten von grobkörnigen Typ B-Mikrolithen nehmen auch weitere Umwandlungserscheinungen (Hellglimmer-Serizitisierung, Biotit-Zerfall, etc.) bezüglich ihrer Intensität stark ab.

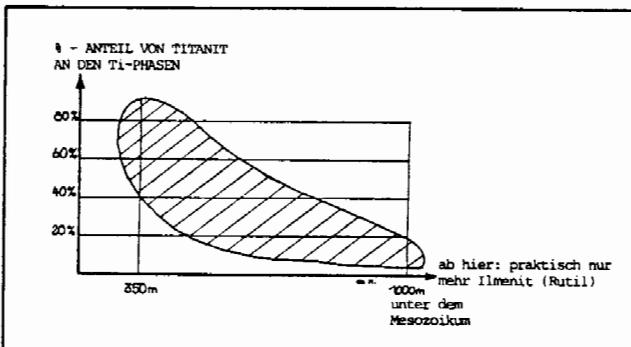


Abb. 12:
Auftreten von sekundär gebildetem Titanit in Abhängigkeit von der Entfernung zum Mesozoikum (15 untersuchte Paragesteinsproben).

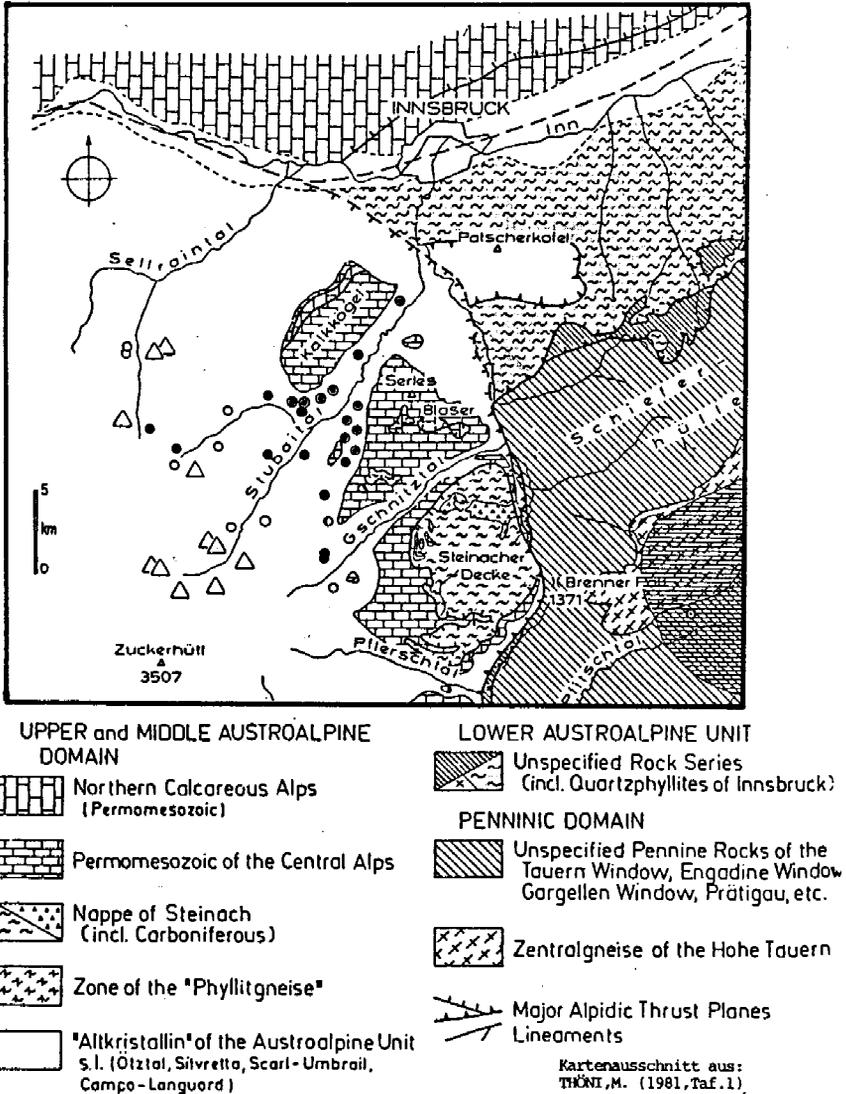


Abb. 13: Vorkommen von Titanit (als Zerfallsprodukt von Biotit) im Untersuchungsgebiet:

- = sehr häufig (mehr als 80 % der Titanphasen im Gestein treten als Titanit auf)
- = häufig (ca. 50–70 % der Titanphasen sind Titanit, der nur mehr gemeinsam mit Biotit vorkommt)
- = selten (Titanit tritt nur mehr akzessorisch auf; wenn Ti-Phasen vorkommen, dann Rutil oder Ilmenit).
- △ = Titanit fehlt gänzlich im Gestein, akzessorisch kann Ilmenit auftreten.

Als letztes wichtiges Ergebnis der Dünnschliffuntersuchungen sei noch auf das Vorkommen von Titanit als Zerfallsprodukt aus Biotit hingewiesen (vgl. Abb. 12, 13). Es konnte gezeigt werden, daß die Intensität des Auftretens dieses Minerals im direkten Zusammenhang mit dem Mesozoikum steht. Dicht unterhalb der Triasschichten kommt Titanit sehr häufig vor, tritt aber, je weiter man sich von der Transgressionsfläche entfernt, immer mehr zurück, bis er schließlich gänzlich verschwindet (ab ca. 500 bis 700 m unter dem Mesozoikum). Ab dieser Zone kommt nicht mehr Titanit als Haupt-Titanphase vor, sondern Ilmenit bzw. Rutil treten hier als Nebengemengteile und tiefer im Kristallin nur mehr akzessorisch auf.

5. Aussagen zur Intensität des Fluid-Durchsatzes auf Grund von Untersuchungen mit Hilfe der Rb/Sr-Methode

5.1. Allgemeine Überlegungen

Zur Unterstützung der Beobachtungen im Dünnschliff wurden mit Hilfe der Rb/Sr-Methode Gesamtgesteinsproben im Kleinbereich analysiert.

Dazu sei bemerkt, daß verstärkte Zufuhr und Zirkulation von fluiden Phasen Mineralreaktionen beschleunigen und damit auch die Mobilität in den Isotopensystemen erhöhen (vgl. THÖNI, 1981; FYFE et al., 1978). So kann nach THÖNI (1981, S. 113) dadurch lokal die Sr-Isotopenhomogenisation beschleunigt werden. Aus diesem Grund konnte man durch diese Untersuchungen zusätzliche Informationen über die Beeinflussung des Stubaikristallins durch das Eindringen von Fluids vom Mesozoikum her erwarten.

Rb/Sr-Kleinbereichsuntersuchungen wurden auf folgenden Gründen gewählt:

- a) Im Gegensatz zur Datierung von Mineralien liefert diese Methode eine gezielte Information über die Beeinflussung der einzelnen Gesteinslagen.
- b) Diese Beeinflussung hängt natürlich sehr stark vom Verhalten der Hauptträger von Rb (Biotit, Hauptträger des $^{87}\text{Sr}_{\text{rad}}$) und Sr (Feldspat, Träger des Sr_{comm}) ab. Daher ist bei einer massiven Beeinflussung dieser Mineralien auch mit einer deutlichen Veränderung im Rb/Sr-System über die einzelnen Lagen hinaus zu rechnen.

Wie die Dünnschliffuntersuchungen gezeigt haben, sind die nahe dem Mesozoikum entstandenen feinkörnigen Typ A-Mikrolithen sehr häufig als feiner Filz über das gesamte Gestein verbreitet. Sowohl die glimmerreichen, als auch die Qu/Fsp-Lagen waren einer deutlichen Fluid-Beeinflussung ausgesetzt. Die retrograden Umwandlungen der Hauptträger von Rb und Sr sollten auch über den Lagenbau hinaus das Rb/Sr-System dementsprechend beeinflussen haben, sodaß mit verjüngten Altern durch Verlagerung der einzelnen Analysenpunkte im Rb/Sr-Entwicklungsdiagramm zu rechnen ist. Da die Fluid-Beeinflussung mit zunehmender Tiefe abgenommen hat, sollten hier relativ höhere Alterswerte auftreten, als nahe dem Mesozoikum und möglicherweise auch zwischen den einzelnen Lagen gewisse Unterschiede zu erkennen sein.

Allerdings mußte bei diesen Untersuchungen eine mögliche alpidische Temperaturbeeinflussung berücksichtigt werden. Daher dienten die Untersuchungen von Biotiten mit Hilfe der Rb/Sr-Methode (4 Proben) als gewisse Anhaltspunkte zur Einstufung der alpidischen Temperaturen im Untersuchungsgebiet.

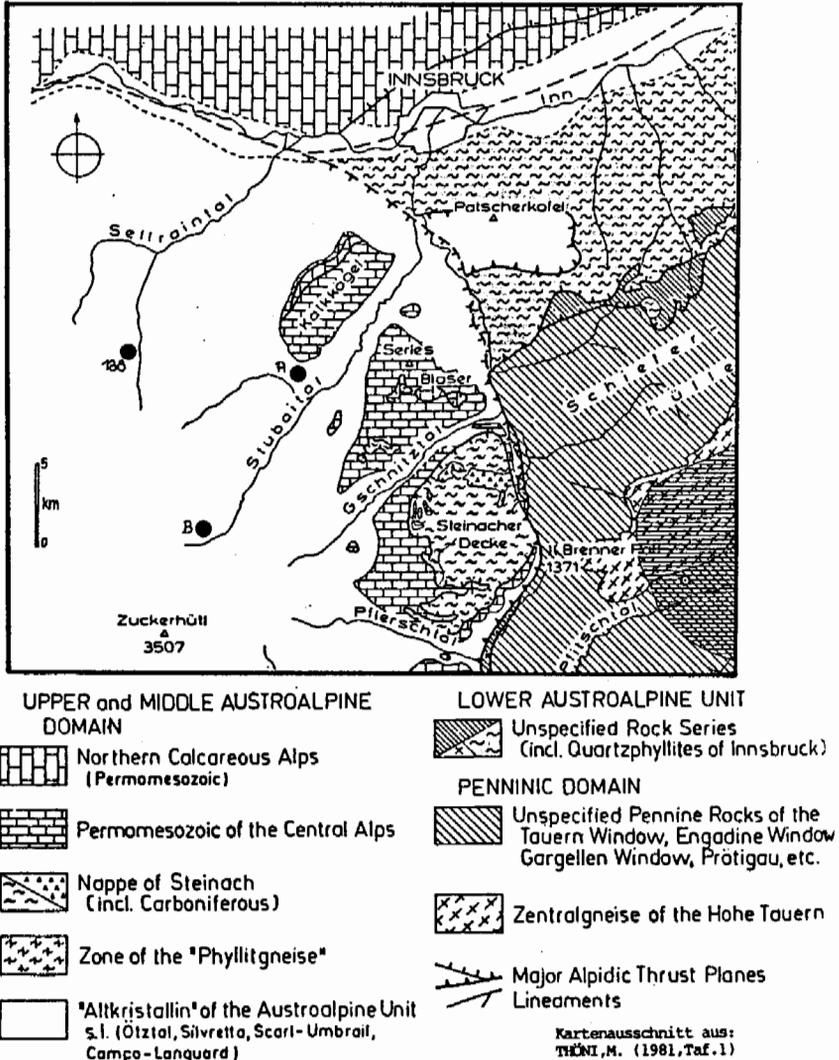


Abb. 14: Lage der Proben für die Rb/Sr Untersuchung im Arbeitsgebiet. Rb/Sr Gesamtgesteins-Analysendaten der Probe A.

Die Biotitkonzentrate stammen einerseits aus den beiden Proben, die für die Kleinbereichsmessungen verwendet wurden, andererseits aus einer Probe aus dem Linsental.

5.2. Untersuchungen nahe dem Mesozoikum

Die Probe A wurde am Ausgang des Oberbergtales an dessen NW-Flanke, ca. 800 m unter der Kalkkögel-Basis, einer Wechsellagerung zwischen Gneis und Schiefergneis entnommen. Das Gestein ist durch einen ausgezeichneten, schon makrosko-

pisch deutlich erkennbaren Lagenbau gekennzeichnet. Glimmerreiche Lagen sind sehr gut von Quarz-Feldspatlagen zu unterscheiden.

Wichtig scheint die Beobachtung, daß der in den glimmerreichen Lagen im Dünn-
schliff überaus häufig vorkommende feinkörnige Serizitfilz vom Typ A sich auch in
die hellen, quarzreichen Lagen ausbreitet. In diesen hellen Lagen sind die Plagioklase
stark serizitisiert (Typ A-Mikrolithen) und die untergeordnet vorkommenden Biotite
zeigen ebenfalls deutliche retrograde Umwandlungserscheinungen in Form von Sage-
nitgitterung, Ilmenitausscheidungen sowie einer aus dem Biotitzerfall resultierenden
Titanitbildung.

Tabelle 1: Rb/Sr Gesamtgesteins-Analysendaten der Probe A

Proben Nr. Labor Nr. (WAP)	Lithologie Proben- lokalität	Analysierte Kornfrak- tion	⁸⁷ Rb ppm	⁸⁷ Sr _{rad} ppm	Sr _{tot} ppm	% rad	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Alter Mio. J.
Lage A/WAP 1301	Übergangstyp zwischen Zweiglimmergneis und Bi.-Plag-Schiefergneis Stubaital, NNW-Milders	Gesamtgestein	73,2	0,456	263	2,45	2,859	0,72794 ± 59	A+B+C+D+E+F+G; „ERRORCHRONE“: 129,6 ± 50,3 Mio. J. B+C+D (benachbarte Lagen); Isochrone: 73,1 ± 2,1 Mio. J.
B/WAP 1301			37,1	0,204	120	2,39	3,168	0,72753 ± 20	
C/WAP 1301			72,3	0,595	379	2,22	1,967	0,72627 ± 83	
D/WAP 1301			31,4	0,207	127	2,31	2,543	0,7269 ± 34	
E/WAP 1301			56,7	0,418	238	2,48	2,452	0,7282 ± 44	
F/WAP 1301			24,6	0,149	86	2,46	2,958	0,72808 ± 22	
G/WAP 1301			32,7	0,219	126	2,46	2,675	0,72805 ± 40	
H/WAP 1301									

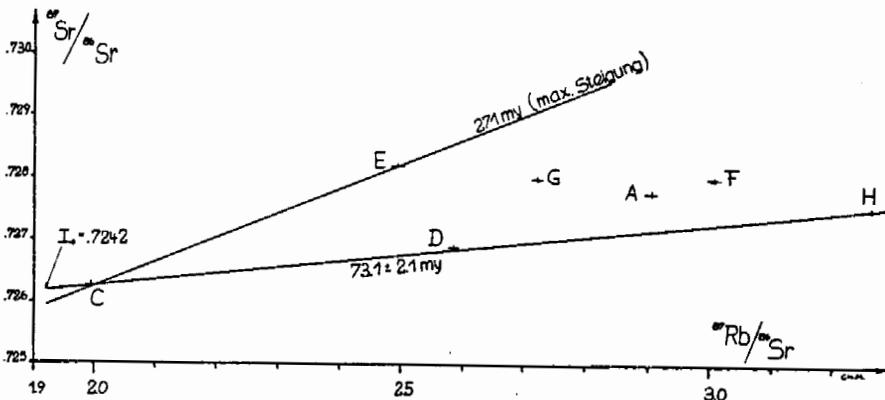


Abb. 15: Rb/Sr Entwicklungsdiagramm der Probe A (Biotitalter: aus den Lagen B + C + D: 72.7 ± 6.3 my; aus den Lagen A + E + F + G: 76.6 ± 5.8 my) Errorchrone aus allen Punkten: 129 ± 50 my; Isochrone der drei benachbarten Lagen B, C, D: 73.1 ± 2.1 my.

Bei Betrachtung des Rb/Sr-Diagrammes (Abb. 15) fällt auf, daß einerseits die Gesamtheit aller Punkte zu keiner einheitlichen, aussagekräftigen Isochrone zusammengefaßt werden kann, andererseits aber die großteils unregelmäßige Verteilung der einzelnen Meßdaten in Form einer Punktwolke auf eine intensive Beeinflussung des Rb/Sr-Systemes hindeutet, wobei benachbarte Lagen (B, C, D) einen fast vollständigen alpidischen Austausch der Sr-Isotope erlitten haben.

5.3. Untersuchungen in großer Entfernung vom Mesozoikum

Der Fundpunkt der Probe B befindet sich im hinteren Stubaital bei der Grawa-Alm (siehe dazu Taf. 4). Dieser Bereich ist ca. 2500 m unter der hier hypothetisch angenommenen Transgressionsfläche anzusetzen. Er liegt also rund 1700 m unter dem Niveau der Probe A.

In diesem von Schiefergneis stark dominierten Abschnitt um die Grawa-Alm kommen auch einzelne Gneis-Einschaltungen vor. Aus einem Übergangsbereich zwischen diesen beiden Gesteinen wurde die Probe entnommen, in der sich stark biotitführende Lagen von helleren Lagen mit viel Quarz sehr gut abtrennen lassen.

Dieser makroskopisch gewonnene Eindruck wird durch den Dünnschliffbefund bestätigt:

Der Lagenbau kommt hauptsächlich durch das in seiner Häufigkeit unterschiedliche Auftreten von Biotit zustande, der in den dunklen Lagen praktisch als Hauptgemengteil, in den hellen Lagen nur spärlich anzutreffen ist. Im Gegensatz zur Probe A

Tabelle 2: Rb/Sr Gesamtgesteins-Analysendaten der Probe B

Proben Nr. Labor Nr. (WAP) Lage	Lithologie Probenlokalität	Analys. Kornfraktion	^{87}Rb ppm	$^{87}\text{Sr}_{\text{rad}}$ ppm	Sr_{tot} ppm	% rad	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $\pm 1\sigma$	Isochronen-Modellalter Mio. J.
A/WAP 1302	Zweiglieder-Gneis, mit deutlichem Lagenbau aus dem Übergangsbereich zum Schiefergneis Inneres Stubaital, Raum Grawa-Alm	Gesamtgestein	64,2	0,301	284,6	1,51	2,316	0,72100 ± 47	HELLE LAGEN B+D+F+H - Isochrone: $258,8 \pm 3,1$ Mio. J. DUNKLE LAGEN A+C+E+G - „ERRORCHRONEN“: $196,1 \pm 13,6$ Mio. J.
B/WAP 1302			29,0	0,230	286,6	1,15	1,040	0,71840 ± 36	
C/WAP 1302			30,2	0,237	349,5	0,97	0,888	0,71709 ± 36	
D/WAP 1302			17,0	0,1971	309,8	0,91	0,567	0,71665 ± 41	
E/WAP			33,5	0,236	329,2	0,24	1,045	0,71750 ± 28	
F/WAP 1302			1,8	0,020	31,6	0,92	0,581	0,71803 ± 42	
G/WAP 1302			33,5	0,235	305,3	1,10	1,127	0,71803 ± 39	
H/WAP 1302			23,9	0,222	312,3	1,01	0,785	0,71743 ± 25	

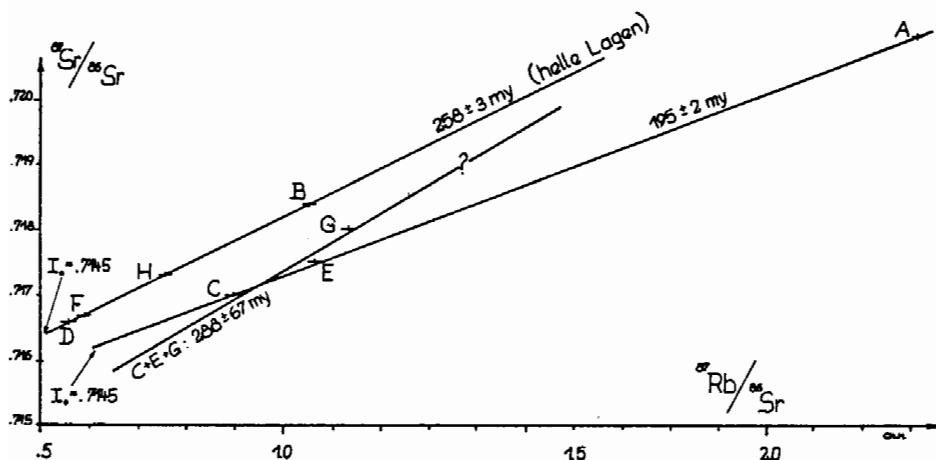


Abb. 16: Rb/Sr Entwicklungsdiagramm der Probe B (Biotitalter 71.7 ± 6.2 my); Isochrone der hellen Lagen: 259 ± 3 my; Errorchrone der dunklen Lagen: 196 ± 14.6 my.

ist der Biotit nur mehr von geringen Mengen opaker Körner (Ilmenit) begleitet. Sagenitgitterung, Bleichung und vor allem Titanit fehlen in diesen Gesteinen fast immer. Dazu kommt, daß die Feldspäte nur sehr spärlich, wenn überhaupt, grobkörnige Typ B-Mikrolithen führen.

Das Gestein zeigt also, verglichen mit der Probe A, kaum Mineralreaktionen, die auf ein massives Einwirken einer fluiden Phase hinweisen.

Die vorliegenden Alter der Probe B sind einerseits doch relativ höher als in den Gesteinen nahe dem Mesozoikum, andererseits sind die Werte um 195 Mio. J. nicht mehr in die variszische Ära zu stellen, sondern weisen auf eine alpidische Beeinflussung hin.

Wichtig scheint der Hinweis auf die ausschließlich durch die hellen Lagen gebildete Isochrone im Rb/Sr-Diagramm, wodurch ein deutlicher Unterschied im Verhalten zwischen dunklen und hellen Lagen zum Ausdruck kommt.

5.4. Die Datierung von Biotiten

Da auch die Probe B in großer Entfernung vom Mesozoikum eine gewisse Beeinflussung durch die alpidische Metamorphose zeigt, die nicht unbedingt auf das alleinige Einwirken von Fluids zurückzuführen ist, wurden auch vier verschiedene Biotitkonzentrate datiert, um Anhaltspunkte für die alpidischen Temperaturen im untersuchten Gebiet zu bekommen. Die Biotite stammen:

- 1) aus der Probe B
- 2) aus den Lagen B, C, D der Probe A
- 3) aus den restlichen Lagen A, E, F, G der Probe A
- 4) aus einer Probe aus dem Lisenstal (Glimmerschiefer, Probe 138).

Die Glimmer der Probe A wurden deshalb in zwei verschiedene Konzentrate getrennt, da die Lagen B, C und E (wesentlich) stärker von Fluids beeinflusst waren und sich diese Beeinflussung möglicherweise in einer deutlicheren Homogenisation des Rb/Sr-Systems dieser Biotite im Vergleich zu den Biotiten aus den übrigen Lagen äußern könnte.

Tabelle 3: Rb/Sr Analysendaten der vier Biotitkonzentrate.

Proben Nr. Labor Nr.	Lithologie Proben- lokalität	Analysierte Kornfrak- tion	⁸⁷ Rb ppm	⁸⁷ Sr _{rad} ppm	Sr _{tot} ppm	% rad	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (± 1 σ)	Modell- ALTER Mio. J. I ₀ = 0,71014	Modell- ALTER Mio. J. korr.m. Gesamt- gestein)
Probe A/ BIOTIT der Lagen B+C+D	vgl. Tab. 1	0,15-0,071 mm	188,2	0,210	10,9	22,16	181,4	0,91229 ± 76	78,44 ± 6,5	72 ± 6,3
Probe A/ BIOTIT der Lagen A+E+F+G			181,9	0,211	9,5	24,68	200,4	0,94281 ± 99	81,69 ± 5,8	76,7 ± 5,8
Probe B/ BIOTIT	vgl. Tab. 2	0,45-0,149 mm	144,5	0,153	8,3	21,37		0,90314 ± 88	74,2968 ± 6,2	71,7 ± 6,2
Probe 138/ BIOTIT	Glimmer- schiefer hint. Li- senstal		156,2	4,939	4,9	60,10	358,6	1,77941 ± 144	210 ± 8 ± 8	

Die Biotite aus dem Lisenstal stammen aus einer Probe, die das variszische Gefügebild ohne alpidische Beeinflussung zeigt.

Die Biotite der Probe A und B ergaben Alter zwischen 73 bis 77 Mio. J., die Biotite aus dem Lisenstal $209,7 \pm 2$ Mio. J. (s. Tab. 3).

Diese Ergebnisse zeigen also, daß während der alpidischen Orogenese das Kristallin abschnittsweise doch eine deutliche Aufwärmung erfahren hat, die, wie aus den Untersuchungen bekannt, gegen NW abnimmt. Diese Zonierung deutet sich auch im untersuchten Gebiet mit dem weit über allen anderen Werten liegenden Alterswert der Probe aus dem Lisenstal an.

Einschränkend muß festgestellt werden, daß mit vier einzelnen Mineralaltern sicherlich keine fundierten Aussagen über die alpinen Metamorphosetemperaturen zu machen sind. Wichtig scheint allerdings, daß diese Daten sehr gut in das aus zahlreichen Untersuchungen bekannte alpine Metamorphosegeschehen passen.

5.5. Interpretation der Daten

Sowohl aus den Untersuchungen im Kleinbereich, als auch an den Mineralaltern der Proben aus dem Stubaital ist eine deutliche Beeinflussung während der alpinen Metamorphose ersichtlich.

Wie schon an anderer Stelle erläutert, sind maßgebliche tektonische Aktivitäten zur Zeit der kretazischen Metamorphose in diesem Teil des Stubaikristallins auszuschließen. So ergibt sich als wahrscheinlichste Erklärung für diese jungen Alter die Beeinflussung des Rb/Sr-Systems durch das massive Einwirken einer fluiden Phase, gekoppelt mit einer Temperatur, die über der Blocking-Temperatur von Biotit im Rb/Sr-System (ca. $300^\circ \pm 50^\circ\text{C}$, PURDY & JÄGER, 1976, bei Abkühlung). Dies soll im folgenden für die einzelnen Fälle erläutert werden.

PROBE A – Nahe dem Mesozoikum

Man kann davon ausgehen, daß die intensive variszische Metamorphose auch zu einer Isotopenhomogenisation geführt hat (vgl. z. B. HOINKES et al., 1982) und somit zur Ausbildung geologisch eindeutig interpretierbarer Isochronen beigetragen hat. Unter dieser Voraussetzung zeigt das Rb/Sr-Entwicklungsdiagramm der Probe A doch eine deutliche Veränderung des variszischen Zustandes.

Die einzelnen Punkte sind in einer sehr weit gestreuten Wolke über das Diagramm verteilt.

Die daraus resultierende Errorchrone ergibt ein Alter von 130 ± 50 Mio. J. Dieser Wert kann durch deutliche Beeinflussung während der alpidischen Metamorphose interpretiert werden. Die Beeinflussung durch die kretazisch erhöhten Temperaturen spiegeln sich in den einzelnen Biotitaltern wider.

Die Kleinbereichsisochronen zeigen daneben auch sehr deutlich den Einfluß der fluiden Phase in diesen Prozessen: Das massive Auftreten von zirkulierenden Fluids bewirkte, daß die totale Verjüngung der Biotite bei relativ niedrigen Temperaturen stattfand, als in vergleichbaren, Fluid-armen Systemen.

Das Rb/Sr-Diagramm der Probe A könnte folgendermaßen interpretiert werden:

Die vom Mesozoikum kommenden Wässer zirkulierten im Stubaikristallin bis in eine Tiefe von ca. 1000 m (fallweise 1500 m) und führten lagenweise zu einer deutlichen Beeinflussung des Rb/Sr-Systems in den Gesteinen (vgl. benachbarte Lagen B, C, D). Denkbar ist auch, daß Sr_{COM} zugeführt wird. Mit Sicherheit aber kam es zu einer deutlichen Beeinflussung der Biotite und somit zum Austausch bzw. zur Abfuhr von $^{87}Sr_{rad}$. Die gewonnenen Alter sind sehr gut mit den bei THÖNI (1982, S. 25 ff.) beschriebenen Ereignissen im Campan zu korrelieren, die auf einen einheitlichen Abkühlprozeß nach der frühalpiner Metamorphose hinweisen. Wichtig scheint jedenfalls, daß der Austausch im Rb/Sr-System bis zum Unterschreiten der $300^{\circ}C$ -Isochrone andauert hat (Isochrone B + C + D = 73,1 Mio. J.; Biotitalter = 72,2 Mio. J.).

PROBE B – Weit vom Mesozoikum entfernt

Rund 1700 m unter dem Niveau der Probe A liegt im Kristallin der Fundort im Raum Grawa-Alm für die Probe B.

Zum Vergleich mit der Probe A sollen vorerst die einzelnen Biotitalter herangezogen werden, die gewisse Rückschlüsse auf die während der kretazischen Metamorphose herrschenden Temperaturen zulassen.

Wären es im Fall der Probe A Biotitalter um 72 bzw. 76 Mio. J., so wurde für den Biotit aus der Probe B ein Alter von $71,7 \pm 6,2$ Mio. J. festgestellt. Demzufolge spiegeln alle Biotitalter den für das Campan so charakteristischen, einheitlichen Abkühlungsprozeß nach der frühalpiner Metamorphose wider. Für das untersuchte Gebiet bedeutet dies aber, daß im Fall der Proben A und B annähernd dieselben thermischen Verhältnisse angenommen werden können.

Daher kann die Aussage getroffen werden, daß die Altersunterschiede in den Kleinbereichsisochronen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedliche Verfügbarkeit der fluiden Phase zurückzuführen sind.

Betrachtet man das Rb/Sr-Entwicklungsdiagramm der Probe B, so fällt auf den ersten Blick ein doch deutlich höheres Alter (196 bzw. 198 Mio. J.) im Vergleich zur Probe A (129 Mio. J.) auf.

Weiters bilden in diesem Diagramm die hellen Lagen (B, D, H, F) eine Isochrone mit einem Alter von 238 ± 3 Mio. J. ($I_0 = 7145$). Die Isochrone der dunklen Lagen A + C + E zeigt ein Alter von $195 \pm 1,5$ Mio. J. und wird durch das Einbeziehen der dunklen Lage G zu einer Errorchrone mit $196,1 \pm 13,8$ Mio. J.

Als Ausgangspunkt für diese Situation wären zwei Modelle denkbar:

- I) Es gab ursprünglich nur eine Isochrone, oder
- II) es waren schon nach der letzten, voralpidischen Metamorphose zwei annähernd parallele Isochronen vorhanden.

Vor allem durch die ausgezeichnete lineare Anordnung der vier hellen Lagen erscheint eher das Modell II Ausgangspunkt für diese Situation zu sein. Demzufolge wäre die voralpine Beeinflussung so zu sehen, daß durch die Abgabe von $^{87}\text{Sr}_{\text{rad}}$ aus den dunklen an die hellen Lagen zwei annähernd parallele Isochronen entstanden waren.

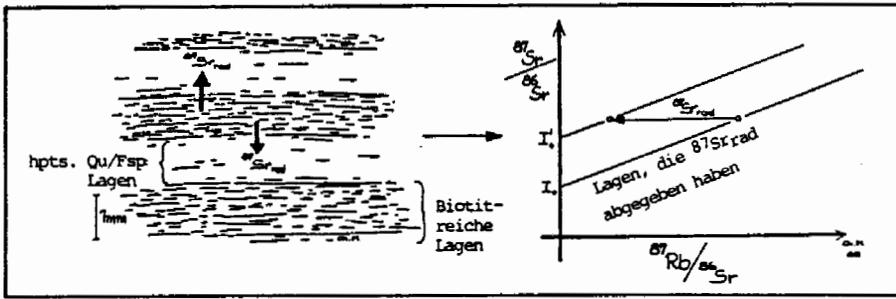


Abb. 17: Mögliches Modell für die Ausbildung von parallelen Isochronen durch die Abgabe bzw. Aufnahme von $^{87}\text{Sr}_{\text{rad}}$ (variszisch).

Diese parallelen Isochronen wurden nun während der alpidischen Metamorphose durch Fluid- und Temperaturbeeinflussung teilweise rotiert, was einer Teilhomogenisation entspricht. Es entstehen Mischalter.

Da neben der Einwirkung von Fluids praktisch dieselben Voraussetzungen gelten wie für die Probe A (vergleichbare Temperaturbedingungen, Deformation auszuschließen), kann in diesem Fall die Aussage getroffen werden, daß bedeutend weniger fluide Phase zur Verfügung stand als nahe dem Mesozoikum, wo sowohl in den dunklen, als auch in den hellen Lagen das Rb/Sr-System sehr deutlich beeinflusst wurde.

So kann also auch mit Hilfe von Rb/Sr-Untersuchungen gezeigt werden, daß unter denselben PT-Bedingungen der Verfügbarkeit einer fluiden Phase eine sehr große Bedeutung zukommt, wobei die durch die Dünnschliffuntersuchungen gewonnene Erkenntnis, daß die Wässer vom Mesozoikum her kommen, durch diese Kleinbereichsuntersuchungen weiter unterstützt werden konnte.

Zum Abschluß sei noch kurz auf das einzelne Biotitalter aus dem Lisenstal hingewiesen. Dieses wurde als Modellalter mit einem Initial von 0,710140 gerechnet und ergab 210 ± 2 Mio. J.

Wie schon erwähnt, paßt das Alter sehr gut in das aus der Literatur bekannte Schema der alpinen Metamorphose. Außerdem ist in diesem Bereich der schwächsten Grünschieferfazies praktisch mit keiner Beeinflussung vom Mesozoikum her zu rechnen (ca. 2800 bis 3000 m unter der Transgressionsfläche).

6. Theoretische Überlegungen zum Fluid-Durchsatz

In diesem Abschnitt sollen einige theoretische Überlegungen zur Zusammensetzung dieser Fluids, deren Transport und den dabei ablaufenden Reaktionen angestellt werden. Es ist wesentlich, darauf hinzuweisen, daß es sich um rein theoretische Überlegungen und Vergleiche mit ähnlichen Arbeiten handelt, und die angeführten Zahlen und Mengen nur in ihrer Größenordnung aussagekräftig sind.

Im allgemeinen sind die während der Metamorphose entstandenen Fluids aus Peliten H_2O -reich, die aus Karbonaten CO_2 -reich – mit wechselnden Mengen aus dem System C-O-H-S, je nachdem ob Graphit, Sulfide, Sulfate, Oxide oder Karbonate an den Reaktionen mitbeteiligt sind (vgl. FYFE et al., 1978, S. 35). Die fluide Phase ist also niemals als reines „ H_2O “ zu sehen, sondern beinhaltet z. B. auch noch gelöstes Silikatmaterial, HCl aus der Porenlösung der Sedimente und erreicht vor allem während der Metamorphose pelitischer Sedimente eine sehr komplexe Zusammensetzung (vgl. WINKLER, 1979, S. 19 ff.).

Im Untersuchungsgebiet, wo die fluide Phase aus den überlagernden Sedimenten in das Stubaikristallin eingedrungen ist, könnte die primäre Zusammensetzung dieser Fluids eventuell mit oberflächennahen Wässern zu vergleichen sein. Während der Metamorphose ergaben sich natürlich auf Grund von verschiedenen Lösungsvorgängen gewisse Änderungen, größtenteils dürften aber $H_2O + CO_2$ wesentlich am Aufbau dieser Phase beteiligt gewesen sein.

Welche Vorgänge führen nun zum Transport von Fluids und in welchen Größenordnungen bewegen sich die dabei zurückgelegten Transportwege?

Nach STEGENA (1983) sind im wesentlichen drei unterschiedliche Prozesse dafür verantwortlich:

1. Diffusion (Ausgleich von Konzentrationsunterschieden)
2. Filtration (Ausgleich von Druckunterschieden)
3. Kapillare Wanderungen (auf Grund von Oberflächenspannungen in der fluiden Phase).

Dies sind die bedeutendsten physikalisch/chemischen Prozesse, die zum Durchsickern und letztlich zum Transport von Fluids im Gestein beitragen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, ob die genannten Prozesse unter massiver tektonischer Einwirkung (Faltung, Überschiebung, Ausbildung von Mylonitzonen etc.) stattfanden oder nicht. Da große tektonische Ereignisse während der kretazischen Orogenese im Stubaikristallin praktisch auszuschließen sind, wird der Fluid-Transport, der durch tektonische Vorgänge begünstigt wird, im folgenden nicht näher berücksichtigt.

ad 1) Diffusion

Die treibenden Kräfte im Falle der Diffusion sind: a) Temperaturgradient; b) Gradient des chemischen Potentials; c) Stressfeld.

Die in der Natur überaus häufig auftretenden Diffusionsvorgänge sind meist sehr komplexe Reaktionen, da die verschiedensten Elemente miteinbezogen werden und z. B. deren Konzentration sich auf die Diffusion und auch auf die Diffusionsraten deutlich auswirken kann.

Im allgemeinen aber ist zu bemerken, daß die Diffusion in festen Phasen bei weitem geringer ist als in flüssigen und, über einen großen Zeitraum betrachtet (Orogenese), nur im Kleinbereich entscheidend ist.

Dazu sei noch bemerkt, daß die Geschwindigkeit und die Möglichkeit von Platzwechselvorgängen jeder Art (Diffusion, chemische Umsetzungen etc.) in kristallinen Stoffen in vollständig fehlerfrei gebauten Gittern am geringsten ist (BARTH et al., 1939, S. 324). Da ideale Kristalle in der Natur äußerst selten vorkommen, wird die Diffusion im festen Medium durch Fehlorderungen, Mikrorisse oder Leerstellen in den Kristallen gefördert.

Über die Diffusion in Flüssigkeiten in der Erdtiefe ist im allgemeinen wenig bekannt. Einen Vergleich der Größenordnungen läßt allerdings die Betrachtung der Diffusion in flüssigen Phasen bei 25°C/1bar zu: $D = \text{ca. } 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$.

Der daraus resultierende Wert für den Zeitraum einer Orogenese (ca. 10^8 a) liegt ungefähr bei 215 km!

Sicherlich sind hier noch wesentliche Parameter miteinzubeziehen. Entscheidend scheint allerdings in diesem Fall die Größenordnung zu sein, um die sich die Diffusion in flüssigen Phasen von der in festen Körpern unterscheidet. Daraus ist ersichtlich, daß der überwiegende Anteil der Diffusion gelöster Stoffe im Zuge von Fluid-Aktivitäten in Flüssigkeiten und nur ein sehr geringer, praktisch vernachlässigbarer Prozentsatz in festen Phasen abläuft.

ad 2) Filtration

Als Filtration bezeichnet STEGENA (1983, S. 87 ff.) die Bewegung von Flüssigkeiten, hervorgerufen durch Unterschiede im hydraulischen Druck. Filtration tritt nur dann auf, wenn $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$ in den Poren vom hydrostatischen Gleichgewicht abweicht. Wenn die Wasserdurchlässigkeit eines Gesteines zu gering wird, daß heißt, die Kapillarrisse und Klüftchen sind zu schmal und zu dünn, und/oder der hydraulische Druck ist zu klein, dann wird das Gesetz von DARCY erfüllt und es kommt zu keinem Migrieren von Wasser durch Filtration.

ad 3) Kapillarer Transport

Dieser tritt hauptsächlich nahe der Erdoberfläche auf und nach STEGENA sind die maximalen Transportweiten, durch kapillare Kräfte hervorgerufen, 0,1–1 m in Sanden und (rein rechnerisch, in der Natur noch nicht nachvollzogen), 10–100 m in Tonen.

Im untersuchten Gebiet kann wesentlicher Fluidtransport durch tektonische Aktivitäten ausgeschlossen werden. Viel mehr erscheint das Einwandern dieser Wässer vom Mesozoikum ins Kristallin als nachgewiesen, und zwar: a) entlang von variszisch angelegten Kluftsystemen und Rissen; b) durch Diffusion an der Intergranulare.

Viele Faktoren sind dabei zu berücksichtigen, wobei im folgenden die wichtigsten kurz erörtert werden sollen.

Nach ELLIOT (1973, S. 2662) stellt die Korngröße einen sehr wichtigen Faktor in bezug auf den Fluidtransport dar und COLE (1983) gibt eine sehr eindrucksvolle Darstellung über den Zusammenhang zwischen Korngröße und der diffundierenden Menge von ^{18}O im Anorthit.

Weitere sehr entscheidende Faktoren in bezug auf Fluid-Durchfluß und -Transport stellen die Gesteinsporosität (im Zusammenhang mit einem an den einzelnen Körnern haftenden Fluid-Film), die Beschaffenheit der Intergranulare und Klüfte vom mikroskopischen bis zum makroskopischen Bereich dar.

Die Porosität metamorpher Gesteine wird vor allem durch:

- a) die Struktur und Zusammensetzung der Korngrenzen und den zwischen den einzelnen Körnern auftretenden Kräften,
- b) die Deformation einzelner Körner (in einem mehrphasigen Gestein), vor allem bei hohem P_F und letztlich durch
- c) die Porosität, die durch Wachstum und Auflösung einzelner Phasen während der Metamorphose entsteht

entscheidend beeinflusst (ETHERIDGE et al., 1983, S. 2 ff.).

Nach WHITE & WHITE (1981) ist der in Metamorphiten vorkommende Fluid-Film primär an verschiedene Stellen zwischen den einzelnen Mineralkörnern gebunden, die in Abb. 18 dargestellt sind.

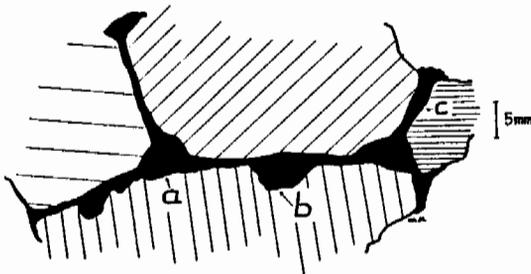


Abb. 18:

Fluid-Film in Metamorphiten:

- a) an Korngrenztrippelpunkten;
- b) in "boundary bubbles" und
- c) als feinsten Film zwischen den Korngrenzen (nach WHITE & WHITE 1981).

Zu beachten sind nach ETHERIDGE et al. (1983, S. 212) auch noch Mikrorisse und Unstetigkeitsstellen

im Kristallgitter, an denen ebenfalls ein Fluid-Film und in der Folge auch Fluid-Transport vorkommen können.

Sehr wichtig in diesem Zusammenhang sind die einzelnen Korngrenzen. In pelitischen, Qu/Fsp-führenden Metamorphiten kann man im allgemeinen vier verschiedene Arten von Korngrenzen unterscheiden (siehe Abb. 19, nach ETHERIDGE et al., 1983).

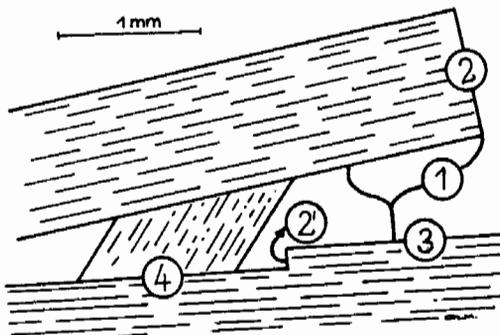


Abb. 19:

Verschiedene Ausbildung der einzelnen Korngrenzen in Metamorphiten:

- 1) Grenzen zwischen willkürlich orientierten Gerüstsilikaten,
- 2) Grenzen zwischen den Endflächen von Schichtsilikaten (meist treppenförmig zerrissen – vgl. 2-hpts. (001)-Endflächen mit niedriger Bindungsenergie) und Gerüstsilikaten,
- 3) Grenzen zwischen den (001)-Basisflächen der Schichtsilikate und Gerüstsilikate
- 4) Grenzen zwischen den Basisflächen und Schichtsilikaten (nach ETHERIDGE et al., 1983).

Bei den unter (1) beschriebenen Grenzflächen handelt es sich in den meisten Fällen um enge (große Bindungskräfte), nur untergeordnet und eher selten mit einem Fluid-Film ausgestattete Kontakte zwischen einzelnen Gerüstsilikaten, die nur sehr schwer zu öffnen bzw. zu lockern sind, und daher nicht unbedingt als primäre Fluid-Transportwege dienen.

Ähnlich verhalten sich Korngrenzen zwischen den Endflächen von Schichtsilikaten und Gerüstsilikaten (2): Diese normal zu den (001)-Lagen ausgebildeten Grenzen zeigen ebenfalls eine innige Verbindung mit den Gerüstsilikaten und auch hier würde ein Fluid-Transport an der Intergranulare größere Aktivierungsenergien erfordern.

Im Gegensatz dazu stehen an den Grenzen (3) und (4) relativ viele freie Bindungen zur Verfügung, sodaß diese Intergranularen hauptsächlich für den Fluid-Transport verantwortlich sind.

Diese Ausführungen erklären auch die Abhängigkeit des Fluid-Transportes einerseits von Strukturen (im Kleinbereich) und andererseits vor allem von der Lithologie der zu durchsetzenden Gesteine.

Die angeführten Beispiele erklären sehr deutlich, warum im Untersuchungsgebiet die Paragesteine wesentlich stärker zersetzt sind (und teilweise auch noch in größerer Entfernung zur Transgressionsgrenze deutliche Diaphthoresereerscheinungen zeigen), die Orthogesteine aber nur nahe dem Brennermesozoikum ähnliche retrograde Umwandlungerscheinungen erkennen lassen.

Die Parameter, vor allem aber die Größenordnungen, in denen die Diffusion an der Korngrenzoberfläche stattfindet, wurden von WALTHER & ORVILLE (1982, S. 256) wie folgt beschrieben. Die Berechnungen darüber erfolgen mit Hilfe der Gleichungen:

$$(1): \quad q = \frac{d^3 l}{12\mu} \times \frac{\delta P}{\delta z} \text{ viscous}$$

q = Volumsfluß von flüchtigen Stoffen [cm^3/sec ; $d = \phi$ zw. \parallel Wänden eines Risses] [cm l = Länge; μ = Viskosität der Stoffe] poise; $\delta P/\delta z$ viscous = effektiver Druckgradient (= Differenz zw. P_{TOT} , der auf Fluid wirkt, und $P_{\text{hydrostat.}}$, in dyne/cm^2 , z soll Zunahme gegen die Tiefe angeben).

$$(2): \quad 1 = 2 \times \frac{1}{r}$$

zur Berechnung der Oberfläche im Grenzbereich einzelner Körner (r = Kornradius).

Daraus ergibt sich bei einer durchschnittlichen Korngröße von 0,01 cm (pelitische Schiefer der Grünschieferfazies) rund 200 cm^2/cm^3 an Korngrenzoberfläche. Nimmt man an, daß sich auf jedem Korn ein monomolekularer Fluid-Film (siehe spätere Ausführungen) von ca. 10 Å Dicke befindet, dann kann der Durchfluß mit Hilfe der Gleichung (1) berechnet werden. Dabei muß noch berücksichtigt werden, daß die „fluide Phase $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ “ unter Metamorphosebedingungen (400–600°C und geothermischer Gradient von 15–45°C/km) eine Viskosität von ca. 0,15 poise besitzt (WALTHER & ORVILLE, 1982, S. 255).

Aus diesen Parametern kann nun ein ungefähre Wert für den Fluid-Transport an Korngrenzen angegeben werden: $2 \times 10^{-14} \text{cm}^3/\text{sec}$. Rechnet man diesen Betrag für einen Zeitraum von rund 10 Mio. Jahren, so ergibt sich ein Fluid-Durchsatz in der Größenordnung von ca. 5000 l/dm^3 , der an der Intergranulare transportiert werden könnte.

Schließlich soll noch auf den Einfluß und die Dimensionierung der Klüfte und mikroskopisch kleinen Risse im Zusammenhang mit dem Fluid-Transport hingewiesen werden (nach WALTHER & ORVILLE, 1982, S. 256 f.).

Bei hohen Temperaturen und überkritischen Bedingungen sind die Moleküle einer flüchtigen Phase mit dem Gestein durch starke chemische Bindungen verbunden. Es bilden sich monomolekulare Lagen an der Oberfläche der einzelnen Körner aus.

Zusätzliche Bindungen von Molekülen der flüchtigen Phase untereinander hängen von relativ schwachen Kräften ab, die nicht größer sind als jene, die zwischen den Molekülen dieser flüchtigen Phase in ihrem kristallinen Zustand herrschen würden. Bei einer Temperatur, die weit über der Stabilität dieser Phase liegt, sind daher keine multimolekularen Lagen möglich. Die maximale Dicke des absorbierten Fluid-Filmes ist daher monomolekular.

Im Fall von $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ beträgt die Dimension der einzelnen Moleküle ca. 5\AA ($5 \times 10^{-8}\text{ cm}$), daher ist die Dicke eines absorbierten Fluid-Films an beiden Oberflächen eines Risses nie $> 10^{-7}\text{ cm}$. Aus diesem Grund beeinflusst dieser Fluid-Film den Transport von fluider Phase in Klüften $\geq 10^{-6}\text{ cm}$ Durchmesser kaum.

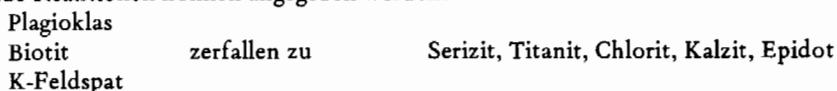
Mit Hilfe der Gleichung (1) kann nun der maximale Fluid-Durchsatz angegeben werden, der $9 \times 10^{-10}\text{ g/sec}$ beträgt. Diese Menge kann von einer einzigen Kluft mit 1 cm Länge und $0,2\ \mu$ Durchmesser bewerkstelligt werden. Bei einem Durchmesser von $2\ \mu$ kann dieselbe Menge über eine 1 m lange Kluft transportiert werden.

Im Vergleich zum Fluid-Transport an der Intergranulare ergibt dieser Wert, ebenfalls auf einen Zeitraum von 10 Mio. J. umgerechnet, einen weitaus höheren Fluid-Durchsatz entlang von Klüften. Größenordnungsmäßig liegt dieser Wert bei ca. 100 Mio. l/dm^3 .

Diese Untersuchungen zeigen sehr deutlich, daß die Hauptmenge der fluiden Phase entlang von Klüften und nur ein sehr geringer Prozentsatz an der Intergranulare transportiert wird.

All diese Überlegungen unterstreichen, welch großen Einfluß die fluide Phase im Zuge der Metamorphose hat.

Abschließend sollen noch einige Bemerkungen über die im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Reaktionen und über die Fluid-Menge das Bild abrunden. (Als Unterlage dafür dienten die Untersuchungen von FERRY (1979), der an granitischen Gesteinen die Umwandlungen durch das Einwirken einer fluiden Phase beschreibt). Folgende Reaktionen können angegeben werden:

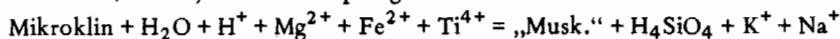


Diese Reaktionen laufen simultan durch das Einwirken und im Beisein einer fluiden Phase ab. Die Reaktionen, die an einer bestimmten Stelle ablaufen, hängen von der Zusammensetzung der Reaktanten und der fluiden Phase ab:

z. B. in den Biotitlagen: Biotit \rightarrow Chlorit/Titanit

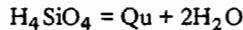


nach FERRY, S. 129) oder in K-Fsp-Lagen:



In den Plagioklaslagen wurden sehr oft (nahe dem Mesozoikum bei starker Zersetzung) kleine, „frische“ Albite beobachtet. Deren Auftreten ist so zu erklären (vgl. auch FERRY, 1979), daß beim Zerfall der alten Plagioklaskörner die An-Komponente aktiviert wird, die Ab-Komponente hingegen als Mineral (Albit) übrigbleibt. Wichtig ist auch der Hinweis, daß in den verschiedenen Reaktionen wohl Quarz freige-

setzt wird, aber nie als Einschluß auftritt. Auch hier findet man den Hinweis auf das Einwirken von Fluids, die den Quarz möglicherweise in Form von H_4SiO_4 abtransportierten und an anderen Stellen ausschieden:



Es kann also angenommen werden (vgl. Dünnschliffuntersuchungen) daß K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , H^+ , H_2O und H_4SiO_4 aus den ursprünglichen Positionen abgewandert ist und anderswo wieder ausgefällt wurden.

Zuletzt soll nun versucht werden, anhand einiger *einfacher Überlegungen* Angaben über die Größenordnungen der involvierten Fluids im untersuchten Gebiet zu machen.

Allerdings muß festgehalten werden, daß die folgenden Angaben vor allem in ihrer Größenordnung realistisch scheinen, womit verdeutlicht werden kann, mit welcher intensiven Fluid-Aktivitäten im Zuge dieser retrograden alpidischen Metamorphose zu rechnen ist.

Folgende Grundlagen standen zur Verfügung:

Die Dünnschliffuntersuchungen zeigten, daß alpin entstandene feinkörnige Mikrolithen (Typ A) im Stubaikristallin bis in eine Tiefe von etwa 1000 m überaus häufig vorkommen. Zwischen 1000 m und 1500 m Tiefe kommen sowohl feinkörnige, als auch grobkörnige Mikrolithen vor, wobei die feinkörnigen Typ A-Mikrolithen gegen die Tiefe zu immer seltener werden. Ab ca. 1500 m Tiefe im Kristallin treten praktisch nur mehr grobkörnige Mikrolithen auf. Allerdings konnten, auf eng begrenzte, stark zerrüttete Bereiche beschränkt, auch sehr tief im Kristallin feinstkörnige Mikrolithen beobachtet werden.

Durch die retrograden Umwandlungen der Feldspäte zu Serizit erhöht sich natürlich auch der Gehalt von chemisch gebundenem Wasser in den Gesteinen. Dies ist aber nur dort der Fall, wo mengenmäßig sehr viel an feinstkörnigem Serizit auftritt, also nahe dem Mesozoikum bis in eine maximale Tiefe von etwa 1000 m. Darunter nimmt der Anteil des feinkörnigen Serizites rasch ab und ab 1500 m im Kristallin dürfte die Zusammensetzung der Gesteine etwa dieselbe sein, wie vor der alpidischen Metamorphose.

Mit Hilfe von Glühverlust-Bestimmungen konnte gezeigt werden, daß in den Gesteinen nahe dem mesozoikum ca. $30 l \text{ „}H_2O\text{“}/m^3$ (STP) gebunden sind.

Anders ausgedrückt beträgt der durchschnittliche Glühverlust (errechnet aus acht Proben nahe dem Mesozoikum) 3 Gewichtsprozent, jener aus sieben Proben, die tiefer als 1500 m im Stubaikristallin liegen, 1 Gewichtsprozent.

Daraus geht hervor, daß zwei Drittel der Menge an gebundenem „ H_2O “ in den Gesteinen knapp unter dem Mesozoikum alpidisch aktiviert oder zugeführt werden mußten, um diese zusätzlichen Glimmermengen bilden zu können. Für diese Reaktionen waren also $20 l \text{ „Fluid“}/m^3$ notwendig. Da das Auftreten von feinkörnigen Typ A-Mikrolithen bis in eine Tiefe von 1000 m sehr häufig beobachtet wurde, muß mit einem Fluid-Durchsatz von rund $20.000 l/m^3$ gerechnet werden, damit in einer Tiefe von 1000 m noch immer $20 l/m^3$ für die retrograden Reaktionen zur Verfügung stehen.

Wie die Untersuchungen von WALTHER & ORVILLE zeigten, ist der bei weitem größte Teil dieser Fluid-Menge an den Klüften und nur ein sehr kleiner Anteil an der Intergranulare gewandert.

Einen gewissen Anhaltspunkt in Hinblick auf die Mengen, die entlang von Klüften transportiert wurden, ergaben die Untersuchungen von stark zersetzten Proben (mit feinkörnigen Typ A-Mikrolithen), die ca. 1800 m tief im Kristallin liegen. In so großer

Absolute Zeitskala	Stratigraphische Gliederung EYSINGA 1975 FAURE 1977	Derzeit vorhandene radiometrische Alterswerte		Wichtige sedimentäre, tektonische und metamorphe Prozesse im Ostalpin während der Kreidezeit
		Mineralalter	Interpretiert als	
ca. 77–70 Mio. J.	Campan	Maximum der Biotitalter bei 77/75 Mio. J.	Abkühlalter (Unterschreiten der 300°C-Isotherme)	Beschleunigte Abkühlung im Kristallin durch Entfernen der Sedimenthaut bzw. durch weiteren Nordtransport. Umschwung in der Sedimentation: Seichtwassergosau/Flyschgosau (FAUPL 1970) und in der Schwermineralzusammensetzung: von Chrom-Spinell- zu Granat-reichen Spektren (WOLETZ 1967). Intragosausches Ereignis (FAUPL 1979) \cong Intragosausische Phase (OBERHAUSER 1973). Seichtwassergosau Abkühlung im Ostalpin durch Erosion (von oben) und „Unter- kühlung“ (von unten).
ca. 90/85–77/75 Mio. J.	Coniac– Untercampan	K/Ar- (z. T. auch Rb/Sr-) Alter an Hellglimmern u. Biotiten	Abkühlalter	
ca. 100–90/85 Mio. J.	Alb/Cenoman – Turon	K/Ar-Alter an Hellglimmern aus schwach metamorphen Sedimenten	Bildungsalter z. T.	Deckenstapelung. Im Kristallin: maximale Aufheizung/Versenkung. Im Turon: Abscherung und stark beschleunigter Nordtransport im Südpenninikum, Unterostalpin; im Kalkalpin: Schichtdicke im Oberuron. Tektonische Phasen: austrische Phase und mediterrane \cong vorgosausische Phase (TOLLMANN 1966 a, OBERHAUSER 1973).
ca. 125–110/100 Mio. J.	Neocom– Apt/Alb	Rb/Sr-Alter an Hellglimmern, K/Ar-Alter an Hornblenden	Mischalter bzw. Überschußalter (keine wahren Alter in hoch aufgewärmten Bereichen)	Roßfeldschichten (FAUPL & TOLLMANN 1979) Einengung, Faltungs- und interne Abscherungsprozesse. Aufbau des Temperaturfeldes und Strukturprägung im Kristallin \cong Austroalpine Phase z. T. (TOLLMANN 1966 a). „Wärmeaufstieg“ möglicherweise begünstigt durch leichte Hochlage der Isothermen auf Grund von Krustenausdünnung im Jura.

Tabelle 4: Korrelation geochronologischer Daten mit wichtigen geologischen Ereignissen im Ostalpin während der Kreidezeit (aus THÖNI, 1982, S. 29, Tab. 1).

Entfernung vom Mesozoikum kann angenommen werden, daß der Fluid-Transport bis in diese Zonen ausschließlich an den Klüften erfolgte. In diesen Proben betrug die Menge des gebundenen Wassers etwa 25 l/m^3 (STP) (im Vergleich dazu beträgt diese Menge nahe dem Mesozoikum 30 l/m^3). Geht man wiederum davon aus, daß rund zwei Drittel dieser Menge zugeführt wurden, so sind ca. 17 l/m^3 entlang von Klüften transportiert worden.

Diese enormen Fluid-Mengen, welche im Stubaikristallin zu stark retrograden Mineralreaktionen führten, sind vermutlich nicht erst während der alpidischen Metamorphose eingedrungen. Naheliegender ist eine schon zur Zeit der Sedimentation des Mesozoikums beginnende „Durchfeuchtung“ des kristallinen Sockels durch oberflächennahe Wässer.

7. Die zeitliche Einstufung der retrograden Mineralreaktion im Stubaikristallin

Eine ausgezeichnete Grundlage für die ungefähre Einordnung der retrograden Beeinflussung des Stubaikristallins bildet die Korrelation geochronologischer Daten mit wichtigen geologischen Ereignissen im Ostalpin während der Kreide von THÖNI (1982).

Es kann damit gerechnet werden, daß schon während der Sedimentation des Brennermesozoikums auf dem kristallinen Sockel oberflächennahe Wässer in diesen eingedrungen sind, wobei bei zunehmender Mächtigkeit der Sedimente auch mit einer Zunahme des PFluid zu rechnen ist und die Wässer daher auch tiefer ins Kristallin eingedrungen sind. Wie im vorigen Kapitel gezeigt werden konnte, steigt mit der Zunahme der Temperatur auch die Fluid-Aktivität.

Im Untersuchungsgebiet, wo nach den Mineralparagenesen in alpidischer Zeit nur der mittlere Bereich der Grünschieferfazies erreicht wurde, ist damit zu rechnen, daß die maximalen Aktivitäten der Fluids auch mit Erreichen der maximalen Temperaturen erfolgten. Zeitlich ist dieser Prozeß nur in Analogie mit stärker erwärmten südlichen Bereichen im Ötztalkristallin einzugrenzen. Dort ist in Anlehnung an THÖNI (1982) das Temperaturmaximum bei etwa 90 Mio. J. anzusetzen.

Im Untersuchungsgebiet ist damit zu rechnen, daß die Beeinflussung des Kristallins durch die eingedrungene fluide Phase auch noch nach Erreichen des thermischen Maximums angedauert hat, möglicherweise sogar bis ins Campan, was aus den erhaltenen Biotitabkühlaltern (Unterschreiten der 300°C -Isotherme) geschlossen werden kann. Allerdings kann der Beginn dieser Reaktionen nur sehr ungenau angegeben werden, da über die Temperaturverteilung, vor allem aber über die Art des Temperaturanstieges (kontinuierlich oder sehr rasch?) im Untersuchungsgebiet noch keine Angaben vorliegen.

Als wahrscheinlich gelten darf aber, daß das Stubaikristallin schon während der Sedimentation des Mesozoikums allmählich Fluids aufgenommen hat, durch welche in der Folge, ausgelöst durch erhöhte Temperaturen während der kretazischen Orogenese, retrograde Mineralreaktionen ohne durchgreifende Deformation abliefen.

DANK

Für die Durchsicht des Manuskriptes möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. W. FRANK und Herrn Dr. M. THÖNI bedanken.

8. Literaturverzeichnis

- BARTH, T. F. W., CORRENS, C. W. & ESKOLA, P.: Die Entstehung der Gesteine. – 422 S., Berlin (Springer-Verlag) 1939.
- COLE, D. R.: Theoretical evaluation of diffusion-controlled oxygen isotopic exchange between Silicates and Fluids at elevated temperatures. – S. 113–135 [In:] AUGUSTITHIS, S. S.: Leaching and diffusion in rocks and their weathering products. – Athen (Theophrastus Publ. S. A.) 1983.
- DIETRICH, H.: Mineralogisch-petrographische Untersuchungen zur Metamorphose des Brennermesozoikums. – Diss. natuwiss. Fak. Univ. Innsbruck, 1–137, Innsbruck 1980.
- ELLIOTT, D.: Diffusion Flow Laws in Metamorphic Rocks. – Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 2645–2664, Boulder, Colorado 1973.
- ETHERIDGE, M. A., WALL, V. J. & VERNON, R. H.: The role of the fluid phase during regional metamorphism and deformation. – J. metamorph. Geol., 1, 205–226, Canberra, Australia 1983.
- FERRY, J. M.: Reaction Mechanisms, Physical Conditions, and Mass Transfer During Hydrothermal Alteration of Mica and Feldspar in Granitic Rocks From South-Central Maine, USA. – Contrib. Mineral. Petrol., 68, 125–139, Tempe, Arizona/USA 1979.
- FYFE, W. S., PRINCE, N. J. & THOMPSON, A. B.: Fluids in the Earth's crust. – 383 S., Amsterdam-Oxford-New York (Elsevier Sci. Publ. Comp.) 1978.
- HAMMER, W.: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte der Republik Österreich 1:75.000, Blatt Ötztal. – Geol. B.-A., Wien 1929.
- HOINKES, G., PURTSCHELLER, F. & TESSADRI, R.: Polymetamorphose im Ostalpin westlich der Tauern (Ötztaler Masse, Schneeberger Zug, Brennermesozoikum). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbr., 12/5, 95–113, Innsbruck.
- PURDY, J. W. & JÄGER, E.: K-Ar Ages on Rock-Forming Minerals from the Central Alps. – Mem. Inst. Geol. Univ. Padova, 30, 1–31, Padova 1976.
- PURTSCHELLER, F.: Petrographische Untersuchungen an Alumosilikaten des Ötztaler-Stubai-Alt-kristallins. – TPM, 13(3), 35–54, Wien 1969.
- Ötztaler und Stubai-Alpen. – Samml. geol. Führer, 53, 128 S., Stuttgart (Borntraeger) 1978.
- SPIESS, R.: Kristallineologisch-geochronologische Untersuchungen zur Entwicklungsgeschichte des Westrandes der Phyllitgneiszone i. w. S. im Montafon (Vorarlberg). – Diss. Formal. u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 74 S., Wien 1985.
- STEGENA, L.: Leaching in rocks: some physical principles. – 81–92 [In:] AUGUSTITHIS, S. S. Leaching and diffusion in rocks and their weathering products. – Athen (Theophrastus Publ. S. A.) 1983.
- THÖNI, M.: Degree and Evolution of the Alpine Metamorphism in the Austroalpine Unit W of the Hohe Tauern in the light of K/Ar and Rb/Sr Age Determinations in Micas. – Jb. Geol. B.-A., 124/1, 111–174, Wien 1981.
- Der Einfluß der kretazischen Metamorphose im Westabschnitt der ostalpinen Einheit: Interpretation geochronologischer Daten. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 28, 17–34, Wien 1982.
- WALTHER, J. V. & ORVILLE, P. M.: Volatile Production and Transport in Regional Metamorphism. – Contrib. Mineral. Petrol., 79, 252–257, Tempe/Arizona, USA 1982.

- WHITE, J. C. & WHITE, S. H.: On the structure of grain boundaries in tectonites. – *Tectonophysics*, 78, 613–628, Amsterdam 1981.
- WINKLER, H. G. F.: *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. – 348 S., New York (Springer) 1979.

Manuskript eingelangt am 26. März 1986
angenommen am 25. Juni 1986

**Die „historische“ Rolle der Wünschelrute für Aufgaben
der Angewandten Geologie**

von
Hermann HÄUSLER

Schlüsselwörter:
Wünschelrute
Wasser
Lagerstätten
Baugrunduntersuchungen
Deutung des Rutenausschlages
Verantwortung

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hermann Häusler
Institut für Geologie
Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

Inhalt

1. Zusammenfassung, Abstract	266
2. Vorwort	267
3. Zur „Methode“ der Wünschelrute	267
4. Beispiele für und wider die Wünschelrute	270
4.1. Gegner der Wünschelrute	272
4.2. Kritische Beurteiler der Wünschelrute	276
4.3. Über die Verwendung der Wünschelrute für angewandt geologische Aufgaben im Krieg	280
5. Schlußfolgerungen und Ausblick	281
6. Literatur	282

1. Zusammenfassung

Während sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts zahlreiche geologische Landesanstalten und wissenschaftliche Akademien in Europa und Amerika in offiziellen Stellungnahmen negativ zur Wünschelrutentätigkeit geäußert haben, wurden von geologischer Seite auch positive Urteile darüber abgegeben, wie etwa von dem spanischen Geologen B. DARDER PERICAS, von A. HEIM (Zürich), P. LEMOINE (Paris), K. OSSWALD (München), L. WAAGEN (Wien), J. WALTHER (Jena, Halle) und anderen.

Die jahrzehntelange kritische Auseinandersetzung der Wissenschaft mit der Wünschelrute führte zur Erkenntnis, daß es sich beim Ausschlag der Wünschelrute um einen biophysikalischen Effekt handelt. In einigen wenigen nachweisbaren Fällen ist ein Zusammenhang zwischen den über sogenannten Reizzonen ermittelten Rutenausschlägen und Diskontinuitäten des Untergrundes, die an der Erdoberfläche nicht erkennbar waren, glaubhaft gemacht worden. Da der Rutengänger als „Mittler“ zwischen einem physikalisch nicht näher definierbaren Kraftfeld („Erdstrahlen“) einerseits und der Rute, eine Art „Anzeigeeinstrument“ andererseits, fungiert, handelt es sich um eine ausschließlich subjektive „Erfassungsmethode“.

Mit der geologischen Deutung der Rutenausschläge und näheren Angaben über Qualität und Quantität des „gemuteten“ Sachverhaltes beginnt die Gefahr des Mißbrauches und der unbewußten oder bewußten Täuschung. In Hinblick auf die Angewandte Geologie sollten die Wünschelrutenergebnisse nur unter dem Aspekt der am 8. Kongreß der Wünschelrutenforscher im Jahre 1921 einstimmig beschlossenen 5. These gesehen werden, wonach eine Deutung des Rutenausschlages nicht durch den Rutengänger, sondern durch einen Geologen zu erfolgen hätte.

Abstract

Since the beginning of the 20th century many geological surveys and scientific academies especially in Europe and America expressed their official negative opinions on the use of the divining rod. Nevertheless some geologists critically agreed with the use of the divining rod for simple geological investigations, for example the spanish geologist B. DARDER PERICAS or A. HEIM (Zürich), P. LEMOINE (Paris), K. OSSWALD (München), L. WAAGEN (Vienna), J. WALTHER (Jena, Halle) and others.

Decades of confrontation between science and the divining rod lead to the conclusion that the declination is a biophysical effect. In a few cases a plausible relationship between the declinations of the divining rod and discontinuities in the subsurface were shown. As the person using a divining rod is a mediator between a physically not defined field of force and the divining rod, the "searching method" is extremely subjective.

The geological interpretations and statements about quality and quantity of "objects", found with the divining rod, are the first steps towards the misuse of this method. With regard to applied geology the results acquired using the divining rod should only be seen with respect to the 5th postulate, unanimously concluded at the 8th congress of divining rod research workers in 1921. Therefore the interpretation of the declination of a divining rod is not to be given by the user of the rod, but by a geologist.

2. Vorwort

Während der unter Leitung von Prof. Dr. G. HORNINGER erstmals im Herbst 1974 abgehaltenen interuniversitären Lehrveranstaltung: „Feldmethoden der Erdwissenschaften“ wurde neben geologischen, hydrogeologischen, bodenmechanischen, geophysikalischen und geodätischen Untersuchungsmethoden auch die Arbeitsweise eines Wünschelrutengängers vorgeführt und kritisch beurteilt (siehe H. HÄUSLER & D. LIVADAS 1975).

Der Autor empfindet es nicht als Nachteil, dieses Thema aufzugreifen, ohne selbst nach dem damaligen „Ausschlag“ weitere Versuche unternommen zu haben. In Österreich wurden in den letzten Jahrzehnten speziell die Oberste Bergbehörde und die Österreichische Mineralölverwaltung („Referat N“) mit Fragen der Wünschelrute und Fernmutung (Angaben über einer topographischen Karte) konfrontiert, wobei die Angaben in keinem Fall durch eine geologische Überprüfung verifiziert werden konnten. Besonders die Tatsache, daß auch heute noch immer von österreichischen Bundesdienststellen „Gutachten“ von Wünschelrutengängern als Entscheidungsgrundlage angefordert werden, wird zum Anlaß genommen, einen Überblick über die bisher sehr zahlreich erschienenen Stellungnahmen zum Thema „Wünschelrute und Angewandte Geologie“ zu vermitteln. Denn der Hinweis von A. HAUSER (1953, S. 36) stimmt zumindest nachdenklich, daß man es behördlicherseits schon nötig fand, geologische Gutachten durch Rutengänger kontrollieren zu lassen.

3. Zur „Methode“ der Wünschelrute

Als Material für die Wünschelrute werden neben Ästen (Naturruten) häufig auch gebogene Metalldrähte (Metallruten) verwendet. Über die verschiedenen Rutentypen und deren Handhabung informiert fast jede umfangreichere Arbeit über die Wünschelrute, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Entsprechend der anfänglichen Verwendung geophysikalischer Meßinstrumente in der angewandten Geologie wie z. B. der Drehwaage zur Messung von Gesteinsdichteunterschieden, magnetischer Apparate und seismologischer Verfahren (J. KOENIGSBERGER 1922, V. FRITSCH 1934), versuchten auch die Anwender der Wünschelrute,

die „Erdstrahlen“ mit Hilfe von Apparaten zu messen. Immerhin ist der „Schermulypolarisator“, benannt nach seinem Erfinder Ing. SCHERMULY, für den besonders in Bergbaukreisen lebhaftere Propaganda betrieben wurde, auch patentiert worden (DRP 302 977). W. HEINE (1928) berichtete skeptisch über diesen, ähnlich der Wünschelrute konzipierten Apparat. Erst 1942 wurde die gewerbsmäßige Anwendung des Polarisators verboten (H. QUIRING 1951, S. 19).

Mit zunehmender Erforschung des Wünschelrutenproblems ist aber immer deutlicher geworden, daß beim Rutenausschlag nicht der Rute, sondern dem Menschen primäre Bedeutung zukommt. Der Mediziner J. WÜST (1955) erklärte den Mechanismus sehr einfach: „Durch den Einfluß innerer oder äußerer Kräfte wird der ziemlich labile Gleichgewichtszustand der angespannten, . . . Rute dadurch gestört, daß die Auf- oder Abwärtsdrehmuskeln . . . des Handgelenks sich stärker anspannen und auf diese Weise die Auf- oder Abwärtsdrehung der als Zeiger dienenden Rute bewirken“ (vgl. F. MICHELS 1951, S. 375).

Die hypothetische physikalische Reizursache der Rutenreaktion ist nach wie vor der umstrittenste Punkt des Wünschelruten-Problems.

R. REITER führte schon 1949 Beispiele von Versuchen mit Rutengängern an, deren Muskelreaktionen mittels Kathodenstrahl-Oszillograph und empfindlicher Verstärker überprüft wurden. Er konnte zeigen, daß die Muskelpotentiale bei „echten“ und bewußt herbeigeführten, „unechten“ Rutenausschlägen deutlich unterscheidbar waren. Ferner ließen sich über angegebenen „Reizstreifen“ auch deutliche Änderungen des luftelektrischen Feldes feststellen. Über die schon frühzeitig durchgeführten psychologischen Experimente des Ingenieurs E. K. MÜLLER in Zürich berichtete C. v. KLINCKOWSTROEM (1913).

In einem speziell isolierten Zimmer führte E. K. MÜLLER mittels eines Widerstandmeßgerätes und Elektroden, die von einer Versuchsperson in den Händen gehalten wurden, sowie eines Spiegelgalvanometers, Messungen der Variabilität des Leitungswiderstandes durch, den der menschliche Körper dem Durchgang des elektrischen Stromes entgegensetzte. Mit Hilfe dieses „Neurometers“ konnten Ausschläge des Spiegelgalvanometers beobachtet werden, sobald die im Stromkreis eingeschaltete Person vom Zustand psychischer Ruhe in Erregung kam. Am interessantesten für einen möglichen Zusammenhang mit dem Wünschelrutenphänomen scheint jene Versuchsanordnung, bei der hinter dem Rücken der Versuchsperson vorbeibewegte Metalle sowohl unterschiedliche physische Reaktionen, als auch Ausschläge am Galvanometer verursachten.

Als Wirkungsursache des Rutenphänomens führte z. B. L. WAAGEN (1950) nach den 1921 mit den Physikern E. HASCHKE und K. F. HERZFELD gemeinsam durchgeführten Versuchen die Änderungen im Potentialgefälle des örtlichen elektrischen Feldes, bedingt durch die Inhomogenität im Erdboden an, die ihrerseits eine ungleichförmige Leitfähigkeit des Erdbodens verursachen sollten (R. BRAUN-FERNWALD 1922; vgl. F. WIEGERS 1922, S. 706). Obwohl Wünschelrutenausschläge speziell über Erzgängen oder Verwerfungen aufgetreten sind, über denen auch Änderungen radioaktiver Zustandsgrößen festgestellt wurden, hielt F. WIEGERS (1922, S. 705) einen ursächlichen Zusammenhang zwischen radioaktiver Strahlungsänderung und Rutenausschlag für nicht bewiesen. W. SCHAAD & R. HAEFELI (1946) wiesen darauf hin, daß beim Fließen von Wasser durch feinkörnige Lockergesteine elektrische Ströme und damit elektrische Felder entstehen. K. F. G. KEIL (1959, S. 1310) deutete daher den Wünschelrutenausschlag als Reizwirkung der elektrischen Feldenergie und der elektrischen Ströme, die bei Wasserströmungen auftreten. Ausschläge von Wünschelruten wurden von J. WÜST (1954) mit Messungen des luftelektrischen Feldes, des Luftpotentials, der magnetischen Horizontalintensität und der elektrischen Boden-

leitfähigkeit in Verbindung gebracht. Er vertrat die Meinung, daß zwischen einer Feldänderung und der Rutenreaktion feststellbare Korrelation jedenfalls die Möglichkeit offen ließe, daß ein physikalisch nicht faßbares Feld („Erdstrahlen“) über den Menschen mit der Rute als „Anzeigeelement“ gekoppelt sei. Durch die Versuche des holländischen Geologen S. TROMP im Jahre 1950 sind die Angaben von Rutengängern durch Messungen der elektrischen Bodenleitfähigkeit objektiv nachgeprüft worden, wobei Zusammenhänge zwischen Zonen besserer elektrischer Leitfähigkeit (geologische Störungen) und den von Rutengängern ermittelten „Reizzonen“ festgestellt wurden (H. PETSCHKE 1954). In anderen Versuchen wurde die Beeinflussung der Wärmestrahlung der Haut über einer Kreuzung sogenannter Reizstreifen nachgewiesen (J. WÜST 1955). W. VOGLHUBER (1973, S. 13) zählte die mannigfaltigen Ursachen auf, auf die Rutenreaktionen zurückgeführt werden können. Es waren dies neben Wasservorkommen, Klüften und Zerrüttungszonen etwa bestimmte Erzvorkommen, Minerale, Gesteinsarten, ferner auch Aufgrabungen, Aufschüttungen, Kanäle, Eisenteile und besonders Starkstromleitungen. Außer thermischen und akustischen Quellen wie Feuer, unterirdischen Grubenbränden, heißen Quellen oder tönenden Sirenen und läutenden Glocken könnten auch Pflanzen, Tiere und Menschen mit der Rute untersucht werden (vgl. M. BENEDIKT 1916). Deutungen von Ausschlägen seien dementsprechend schwierig und die Zahl leistungsfähiger Rutengänger war seiner Meinung nach verschwindend gering. Wegen dieser fast unglaublichen Vielfalt an Ursachen sollte jedenfalls von einem Rutengänger nicht mehr verlangt werden, als er auszuführen imstande sei. Betrachtet man die negativen Ergebnisse offizieller Rutengängerprüfungen unter dem Gesichtspunkt, daß neben einer komplexen geologischen Situation zusätzlich psychische Belastungen und Suggestionen Muskelspannungen und somit Rutenausschläge auslösen können, so sprechen die Summe der möglichen Fehlerquellen und die rein subjektive Deutung der Wünschelrutenreaktion deutlich gegen die Verwendung der Rute für angewandte geologische Aufgaben. Die wenigen nachgewiesenen positiven Ergebnisse in den letzten 80 Jahren bestärken nur in dieser Ansicht!

Abgesehen davon, daß Erklärungsversuche physikalischer Natur immer nur einen bestimmten Fall plausibel erscheinen lassen, führte H. H. WENDTE (1956) an, daß die physikalische Erklärung des Rutenausschlages sich meist nach der jeweils herrschenden Modetheorie richtete und ging kritisch auf die verschiedenen Deutungsmöglichkeiten ein. J. KNOLL deutete 1932 die Ursachen des Rutenausschlages als elektromagnetische Strahlen mit radioaktiver Wirkung, also ganz im Sinne von abschirmbaren Erdstrahlen. Speziell mit dem Nachweis der „Erdstrahlen“ befaßte sich auch F. DIETRICH 1952. Der Ingenieur L. STRANIAK bezeichnete 1936 neben Mechanik, Schall, Licht, Wärme, Magnetismus, Elektrizität und Chemismus, die Energie, die zu Pendelschwingungen führte, als theoretische 8. Großkraft der Natur. Wohl die eingehendste Auseinandersetzung mit den physikalischen Ursachen der Wünschelrute veröffentlichten V. FRITSCH & F. JELINEK (1936). In zahlreichen Fällen konnte eine Übereinstimmung von geoelektrischen Kurven mit dem Ruten-Reaktionsverlauf festgestellt werden (l. c., Abb. 32, 33), die nachweisbar mit Ursachen im Untergrund in Zusammenhang standen.

Über die vergeblichen Experimente mit 16 Rutengehern zum physikalischen Nachweis der mit der Rute beschriebenen Reizstellen berichtete F. GASSMANN (1946) vom Institut für Geophysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Daß die „Erdstrahlen“ z. B. physikalisch nicht nachweisbar waren, nahmen

jedenfalls die Deutschen Geologischen Landesämter 1950 zum Anlaß einer Proklamation, daß die Wünschelrute ein untaugliches Instrument sei (l. c., S. 61).

Interessante Experimente zur Messung der Quantität von Rutenausschlägen gehen auf den Geologen B. DARDER zurück. In einem störungsfreien „Rutenlaboratorium“ wurde die Beziehung zwischen der Stärke des Rutenausschlag und verschiedenen Petroleummengen gemessen. Es wurden dabei unterschiedliche Gewichte von 100–160 g durch die Rute in linearer Abhängigkeit von der festzustellenden Quantität des Petroleums (150–450 cm³) gehoben, wobei die Menge des Petroleums in keinem Versuchsstadium erkennbar war (C. V. KLINCKOWSTROEM & V. MALTZAHN 1931, S. 117 ff.). Als Beispiel für praktische Mengenangaben bei Wasseruntersuchungen zitierte G. GÜRLICH (1920, S. 11) ein Ruten-Gutachten: Wassermenge bei 12 Rutenumdrehungen = 3 Sekundenliter. Für die Tiefenbestimmung wurden von den Rutengängern verschiedene Methoden zur Deutung der Rutenausschläge angewendet (vgl. V. FRITSCH & F. JELINEK 1936, Abb. 3).

Einen neuen Ansatzpunkt für weitere wissenschaftliche Bearbeitungen der Wünschelrute bieten die Angaben von W. VOGLHUBER (1973). Die entscheidenden Reaktionen sind 1) der Ausschlag, der in zwei Richtungen, nämlich vorwärts und rückwärts (bzw. aufwärts oder abwärts) erfolgen kann, wobei auch ein Rotieren der Rute in gleicher Richtung möglich ist, und 2) die Stärke oder Intensität des Ausschlag, die W. VOGLHUBER nach der Größe des Ausschlagwinkels charakterisiert. Auf diesem Weg gelangte er durch eine Klasseneinteilung der Ausschläge von 35–50°, um 90° und von 140–180° zu einer einfachen, halbquantitativen Auswertung des Ausschlagwinkels, wonach die Ausschläge als relative Vergleichswerte auch dokumentiert werden konnten. Zusätzlich schienen auch aus der Umdrehungszahl der Rute Rückschlüsse auf die Tiefenlage z. B. eines wasserführenden Horizontes möglich zu sein, sofern dem Rutengänger feste Vergleichsdaten aus Brunnen oder Geländeaufschlüssen etc. zur Verfügung standen.

4. Beispiele für und wider die Wünschelrute

Die Wünschelrute ist uralte und der Glaube daran war stets geteilt und wird es wohl auch bleiben. Schon PARACELUS (1493–1541) und G. AGRICOLA, der „Vater des Bergbaues“ (1494–1555), lehnten sie beispielsweise ab (G. AGRICOLA: „Der ehrbare Bergmann braucht die Rute nicht“, W. WAGNER, 1956; K. BISTRITSCHAN, 1946). In Freiburger Bergwerksakten aus der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts wird wiederum das hohe Ansehen der vereidigten und verpflichteten Rutengänger erwähnt. Mit der Gründung der Freiburger Bergakademie durch A. v. HEINITZ wurde der Einfluß der Wünschelrute wieder stark zurückgedrängt. Eine kommissionelle Prüfung eines „erfolgreichen“ Rutengehers führte z. B. 1843 zu einem negativen Ergebnis (C. v. KLINCKOWSTROEM & V. MALTZAHN, 1931). In der Frühzeit wissenschaftlich orientierter Wünschelrutenforschung wurden bereits Experimente durchgeführt und Untersuchungskommissionen zur Prüfung der Wünschelrutenfrage eingesetzt. Im folgenden wird ein Überblick über die Erforschung der Wünschelrute seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts gegeben, wobei hauptsächlich auf erdwissenschaftliche Aspekte und ganz untergeordnet auf den medizinischen Aspekt eingegangen wird, soweit er zum Verständnis der Wirkungsweise von Interesse ist.

Der 1912 vom französischen Landwirtschaftsministerium eingesetzten Kommission unter der Leitung des Höhlenforschers MARTEL gehörte auch der Geologe P. LEMOINE an. An einer Kommission der französischen Akademie der Wissenschaften nahm unter anderen auch der Bergingenieur und Paläontologe H. DOUVILLE teil. Besonders diese früher unter wissenschaftlicher Leitung in Frankreich angestellten Versuche haben eindrucksvoll einen Zusammenhang zwischen Rutenausschlägen und Untergrund aufgezeigt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden besonders

in Deutschland, Österreich-Ungarn, Schweiz, Italien, Holland, Frankreich und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika Wünschelrutenuntersuchungen angestellt (Bibliographien, K. C. v. KLINCKOWSTROEM). Ein Aufschwung setzte in Europa mit der Gründung von Vereinigungen ein, die es sich zum Ziel erklärten hatten, den Mißbrauch der Wünschelrute durch „wilde“ Rutengänger zu unterbinden. Dies führte auch zu einer breiteren Auseinandersetzung in Fachkreisen. Ab 1912 erschien die vom „Internationalen Verein der Rutengänger“ herausgegebene Monatschrift: „Die Wünschelrute“. Parallel dazu erschienen ab 1912 auch die „Schriften des Verbands zur Klärung der Wünschelrutenfrage“ in Stuttgart. Ihnen folgten ab dem Jahr 1920 die „Zeitschrift für Wünschelrutenforschung“ als offizielles Organ des „Internationalen Vereins der Wünschelrutenforscher“, mit Sitz in Hannover. Diesem internationalen Verein, dem 1921 offiziell 13 ordentliche, für „alle Forschungen“ anerkannte Mitlieder, und 9 ordentliche, „nur auf Wasser“ geprüfte Mitglieder angehörten, war die Erforschung der Wünschelrutenfrage, ebenso wie dem Verband zur Klärung der Wünschelrutenfrage, ein echtes Anliegen. Ferner wurde eine Zeitschrift: „Der Wünschelrutengänger und Geophysiker“ herausgegeben, in der anlässlich des 3. Internationalen Kongresses der Wünschelrutengänger das Kongreßheft 1934 in Wien erschienen ist. Sowohl nach dem Zeitschriftentitel als auch nach den gemischten Beiträgen wurde der Wünschelrute eine übertriebene Bedeutung beigemessen, bezeichnete sich doch „Der Wünschelrutengänger und Geophysiker“ als „Zeitschrift für Wünschelruten- und Pendelkunde, Radiesthese, Erdstrahlenforschung, Emanations- und Unterstrahlungs-Abschirmungslehre, Erdentstrahlung, Angewandte Geophysik und verwandte Wissensgebiete“. Seit 1935 gab es in Deutschland die „Fachschaft Deutscher Rutengänger“ für jene, die ihre radiästetische Begabung zur Feststellung von Bodenschätzen und der Fixierung pathogener Reizstreifen haupt- oder nebenberuflich auswerten wollten. Diese Fachschaft betrachtete das Rutengehen als Beruf und befaßte sich mit Eignungstests und entsprechenden Schulungen (L. OBERNEDER 1956). Vor dem zweiten Weltkrieg wurden jedenfalls Wünschelrutengänger auf der ganzen Welt regelmäßig beschäftigt und in Deutschland und Frankreich oft auch Geologen vorgezogen (F. WETZEL 1937, S. 19).

Ein großer Prozentsatz von Wünschelrutenarbeiten beschäftigte sich mit der Wassersuche, ferner mit Lagerstätten, wie Erze, Kohle und Erdöl. Von C. BEICHL (1927) stammt beispielsweise eine Untersuchung der Thermen im Untergrund Wiens und F. MUSIL wurde in Rutenkreisen der Verdienst zugesprochen, Erdölfelder in Zistersdorf ausgemutet zu haben (F. DIETRICH 1957).

Negative Rutenergebnisse haben bei den Auftraggebern nur selten den Glauben an Rutenangaben erschüttert, da meist nur „positive“ Ergebnisse Verbreitung gefunden haben. Daß nicht nur in der Entwicklungszeit geophysikalischer Verfahren auch auf die Wünschelrute gesetzt wurde, beweist eine Notiz in der Zeitschrift „Oel und Kohle“ aus dem Jahr 1944 (S. 299): „Fiasko der Wünschelrute“, daß von 3219 Aufschlußbohrungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika im Jahre 1942 von 609 auf Grund nichtwissenschaftlicher Voruntersuchungen angesetzter Bohrungen nur 3,6 % öl- oder gasföndig wurden, während die Erfolgchance bei wissenschaftlich betreuten Bohrungen fünf mal höher lag. Über „erfolgreiche“ Nachkriegsuntersuchungen in der Schweiz auf Wasser mittels des „Wünschelruten-Peilverfahrens“ berichtete L. SCHRÖDER-SPECK (1949). Der Münchner Rechtsanwalt H. DEIBEL (1956) faßte die weltweiten Nachkriegsaktivitäten der Radiästhesie zusammen. Demnach wurde an einer Universität in Kolumbien auch der erste Lehrstuhl für Radiästhesie begründet.

Im Vergleich zu den umfangreichen und auch kritischen Arbeiten der Dreißigerjahre zum Thema „Wünschelrute und Geologie“ haben sich in den letzten Jahrzehnten im deutschsprachigen Raum keine neuen Aspekte aus sogenannten Rutenuntersuchungen ergeben (z. B. Wasser: H. SEWZICK 1957; H. GÄRTKE 1970; G. HÄFNER 1974; z. B. Rohstoffe: W. MESECK 1974, 1975; J. KOPP 1971). Auch die neueren Empfehlungen des englischen Berufsradiästheten T. GRAVES (1985, S. 138 f.) bezüglich Lagerstättensuche demonstrieren eine fachliche Unbekümmertheit, die seit dem Wünschelrutenkongreß 1921 längst überwunden sein sollte. So empfahl er z. B. (l. c.) bei unzutreffenden Rutenangaben über die Wassertiefe, das Bohrloch einfach mit Dynamit zu erweitern (!). W. de BOER (1971) führte als eines der wenigen neueren Experimente wieder Mutungen an Gesteinsproben durch. Vom „Maison de la Radiesthese“ in Paris werden jedenfalls unter anderem auch Mineralien und Gesteine als Testproben für Rutengeher zum Verkauf angeboten.

Radiästhesie ist nach A. KUHN (1970) nicht nur Mutung von Wasser und Erzvorkommen und Feststellung von Reizstreifen sondern auch der Name für die Kunst, Schwingungen oder Ausstrahlungen von belebten und unbelebten Körpern zu empfangen („Radar-Fähigkeit“; RADAR = Radio-detecting and ranging = Funkortung und Messung). In der neueren Literatur wird besonders auf

das Auffinden „geopathischer Störungszonen“ mit der Wünschelrute als Ursache von Schlafstörungen und Krankheiten etc. eingegangen. Über ihre Untersuchungen an den Schlafplätzen von über 11000 Personen und die Ergebnisse eines Forschungsauftrages des Pädagogischen Institutes Salzburg berichtete K. BACHLER 1983. An einem Forschungskreis für Geobiologie arbeiteten z. B. auch das Hygieneinstitut und das Elektrophysikalische Institut der Universität Heidelberg sowie das Elektrophysikalische Institut der Technischen Hochschule München mit (J. KOPP, 1971, S. 123).

An neueren zusammenfassenden Arbeiten über Pendel und Wünschelrute sind z. B. die Werke von G. KIRCHNER (1983) und E. HOCH (1983) erschienen. Letzteres wies wieder (l. c., S. 11) darauf hin, daß auch für den erfahrenen Rutengänger und Pendler viele Möglichkeiten zur Fehldiagnose bestünden, was in anderen Arbeiten nicht immer so freimütig angeführt wurde.

Nachdem sich bisher, wie aus den folgenden Kapiteln hervorgeht, sehr viele Geologen zwar kritisch, aber durchaus wissenschaftlich interessiert mit dem Problem „Wünschelrute“ auseinandergesetzt haben, wäre es durchaus einmal an der Zeit, von Rutengängern eine gründliche geologische Fachausbildung zu verlangen. Vor einem Pseudowissen sei eindringlich gewarnt und es erscheint sehr fraglich, ob die geologischen und geophysikalischen Informationen aus Fern-Lehrkursen für Rutengänger von L. OBERNEDER für den Laien ausreichen, um seine eigenen Rutenausschläge deuten zu können. Auf die Notwendigkeit „reichen geologischen Könnens“ wies etwa auch der Rutengänger A. KURZ (1953, S. 4) hin. 1979 versuchte der damalige Vorstand des Geologischen Institutes der Technischen Universität Wien, G. HORNINGER, um mehr Verständnis für geologisches Wissen in österreichischen Radiästhesie-Kreisen zu werben.

In der Sowjetunion wird heute das Wünschelruten-Phänomen unter dem entmystifizierten Begriff „Biophysikalische Effekte“ wegen einer möglichen praktischen Nutzung weiter auf seine Ursachen hin untersucht (S. OSTRANDER & L. SCHROEDER 1983). So wurde z. B. im März 1971 das 2. wissenschaftlich-technische Seminar der UdSSR in Moskau abgehalten, das dem Problem einer möglichen Anwendung biophysikalischer Effekte für die geologische Kartierung, die Erzlagerstättensuche und Wassersuche gewidmet war, worüber der Leningrader Geologe und Mineraloge N. N. SOCHEVANOW (1973), der selbst Rutengänger ist, berichtete. Wie einer Notiz der Zeitschrift für Radiästhesie (27/2, S. 41 ff.) zu entnehmen ist, berichtete A. G. BAKIROV 1973 auf der 1. Psychotronischen Konferenz in Prag über die geologischen Einsatzmöglichkeiten der biophysikalischen Methode.

In der Zeitschrift für Radiästhesie (1984, 36/2, S. 41) findet sich ferner die Mitteilung, daß an der Ludwig-Maximilian Universität in München und am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen 1983 unter anderem eine 2-stündige Lehrveranstaltung über „Biophysik der Wünschelrute und deren Anwendung in der Geologie, Biologie und Medizin“ abgehalten wurde.

Die angeführten Beispiele lassen bereits erkennen, daß das Problem der Wünschelrute seit Jahrhunderten keine befriedigende Lösung gefunden, aber auch bis heute nichts an Aktualität eingebüßt hat. Es scheint daher von erdwissenschaftlicher Seite angebracht, auf Argumente prinzipieller Befürworter aber auch auf jene zahlreichen Beispiele einzugehen, nach denen die Anwendung der Wünschelrute für angewandte geologische Aufgaben eindeutig abgelehnt worden ist.

4.1. Gegner der Wünschelrute

Etwa in zeitlicher Reihenfolge werden im folgenden einige Fälle angeführt, in denen die Wünschelrute vor allem von geologischer Seite abgelehnt worden ist.

Bereits in den Jahren 1903 und 1911 äußerten sich Direktoren der deutschen geologischen Landesanstalten in offiziellen Stellungnahmen negativ zu Versuchen mit Rutengängern (F. SEEMANN 1912; L. WAAGEN 1918). F. BEYSCHLAG, ehemals Präsident der Preußischen Geologischen Landesanstalt, hatte sich auf die 1920 von der Preußischen Geologischen Landesanstalt mit Rutengängern durchgeführten Versuche bezogen und hielt (1921) manche Wünschelrutengänger wohl zu Recht für geschäftstüchtige „Experten“. Er wandte sich gegen die von Wünschelrutengängern allgemein gebräuchliche Formulierung, daß z. B. eine Wasserader festgestellt werde, wo von einem wirklichen Fundnachweis mit der Rute keine Rede sein könne und begrüßte das

Verbot des Internationalen Verbandes der Wünschelrutenforscher, mit der Rute auch Angaben über die Tiefe zu machen. F. BEYSCHLAG förderte trotzdem weitere Versuche mit erfahrenen und angesehenen Rutengängern, wie dem von der Preußischen Geologischen Landesanstalt (1921) herausgegebenen Merkblatt: „Zur Wünschelrutenfrage“ zu entnehmen ist. In einem weiteren, von der Geologischen Landesanstalt (1922) publizierten Merkblatt wurden sogar die „Grundsätze für die Vornahmen mit der Wünschelrute und dem siderischen Pendel“ verbreitet.

A. SCHMIDT hatte als Vertreter der Geologischen Landesanstalt von Württemberg an der Rutengängertagung des Internationalen Vereins der Wünschelrutenforscher in Nürnberg 1920 teilgenommen und führte (1922) an, daß für die große Mehrzahl der Ausschläge ein Zusammenhang mit den bergbaulichen Aufschlüssen nicht erkennbar war. Er lehnte das Rutenphänomen nicht ab, kritisierte aber, daß den Rutengängern selbst bei einfacher Fragestellung nur in den wenigsten Fällen (8 %) eine richtige Deutung ihrer Ausschläge gelungen sei. Er forderte daher (l. c., S. 463): „ . . . daß überall, wo auf Rutenaussage hin Grabungen, Schürfungen, Bohrungen oder sonstige Aufschlußarbeiten unternommen werden sollten, vor Beginn der Arbeiten ein erfahrener Berufsgeologe, . . .“ befragt werden sollte.

1917 wurde vom U. S. Geological Survey offiziell vor einer Verwendung der Wünschelrute für Untergrund- und Wasseruntersuchungen gewarnt (A. J. ELLIS 1917).

H. CLOOS berichtete 1918 über seine ganz negativen Erfahrungen mit Wünschelrutengängern. Mit positiven Rutenergebnissen konfrontiert, gelangte er (l. c., S. 40) wie E. HENNIG zu dem Schluß, daß eine intensive Materialsammlung und methodische Beobachtung nötig seien.

Der Brüner Geologe A. RZEHAK (1918) stand der Wünschelrutenfrage ebenso ablehnend gegenüber wie G. GÜRICH (1920) vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hamburg.

Der Bergat P. RANGE (1920 a, b) unterzog die von USLAR im ersten Heft der Schriften des Verbandes zur Klärung der Wünschelrutenfrage veröffentlichten Erfolgsmeldungen über die Arbeiten mit der Wünschelrute im ehemaligen Deutsch-Südwestafrika einer kritischen Prüfung. Eine Auswertung der beim Reichskolonialamt befindlichen Bohrergebnisse führte in Vergleich mit den von USLAR gemachten Angaben zu recht unterschiedlichen Ergebnissen, da statt 81 % nur mehr 40 % der mit der Wünschelrute angesetzten Bohrungen wirklich praktische Erfolge hatten. Für die Wünschelrutenarbeiten des Herrn USLAR im Orient fand er (l. c., S. 95 f.), daß nur bei 3/4 aller „Wünschelrutenbohrungen“ Wasser angefahren worden ist, wobei weit weniger als die Hälfte (nur 34 %) auch ein praktisch brauchbares Ergebnis erbrachten.

C. v. KLINCKOWSTROEM (1930) erwähnte z. B. die Mißerfolge von O. GRAEVE bei Untersuchungen für das Bayerische Landesamt für Wasserversorgung. Die Werbeanzeigen des Rutengängers O. GRAEVE, der verschiedentlich als der bedeutendste Wünschelrutengänger Deutschlands bezeichnet worden ist, fanden sich in der Zeitschrift für Wünschelrutenforschung mit folgendem Wortlaut: „Feststellung von Untergrundströmen, Mineral-Gewässern, Blitzschlagstellen und Bodenschätzen wie Oel, Kali, Kohlen, Erze u.s.w. vermittelt Metallwünschelruten“, wobei auf Wunsch sogar eine Garantiebohrung angeboten wurde. Nach O. GRAEVEs eigenen Angaben lag der Erfolg bei 2000 mit der Wünschelrute in aller Welt durchgeführten Untersuchungen bei 93 % mit 91 % genauen Tiefenangaben.

H. H. WENDTE ging in seiner Arbeit (1956, S. 65 ff.) ausführlich auf die Arbeitsweise und die Bedingungen von O. GRAEVE ein. So lautete etwa § 6 der Bedingun-

gen: „Eine Gewähr für Mächtigkeit und Brauchbarkeit übernehme ich nicht“, während sich O. GRAEVE ausdrücklich einen Anteil bei positiven Ergebnissen sicherte. Bei Mißerfolgen wurde aber von ihm jede Schuld auf andere Ursachen abgewälzt und auf den Auftraggeber psychologischer Druck ausgeübt, falls dieser eine Veröffentlichung des Ruten-Mißerfolges angedroht hatte. H. H. WENDTE führte (l. c.), wie schon M. SINGER (1917, S. 232), die Erfolge von O. GRAEVE auf dessen große Erfahrung im Erbohren von Wasser und auf dessen indirekte geologischen Kenntnisse zurück. 1956 faßte der Jurist und Kriminalist H. H. WENDTE die kostspieligen Mißerfolge zusammen, die O. GRAEVE in den Jahren 1919–1942 an amtlichen Mitteln (exklusive Privatfirmen) in der Höhe von 1,5 Millionen Goldmark verschuldet hat (!).

Trotz vereinzelter positiver Ergebnisse über Salzstöcken warnte auch der Bergrat H. WERNER (1928) vor teuren Untersuchungsarbeiten, die nur auf Angaben von Rutengängern beruhten.

Der Abteilungsdirektor an der Preußischen Geologischen Landesanstalt, J. BEHR (1933–1935), wies auf jene Fälle hin, wo Rutengänger einvernehmlich und offiziell z. B. durch die Preußische Geologische Landesanstalt oder durch die Deutsche Gesellschaft für Mineralölforschung etc. überprüft worden sind und stets nur nachprüfbar Mißerfolge oder Scheinerfolge aufweisen konnten. Der Reichsverband für das deutsche Brunnen- und Bohrgewerbe und der Tiefbohrtechnische Verein hatten z. B. vor der Wünschelrute ebenso gewarnt wie das Reichsgesundheitsamt 1933 vor dem Schwindel mit Entstrahlungsapparaten.

Der Geologe J. ANDREE (1933, S. 672) sah trotz einzelner positiver Hinweise noch keine Beweismöglichkeit, daß Rutengänger auf Untergrundeinwirkungen ansprachen.

W. WAGNER (1956) ging hauptsächlich auf geophysikalische Methoden ein und erwähnte eine Statistik aus dem Jahre 1934, wonach bei 243 durch den Rutengänger angesetzten Wasserbohrungen nur 13–23 % Erfolg hatten. Wenn auch bei geophysikalischen Methoden Mängel auftreten könnten, die auf der Unsicherheit in der richtigen geologischen Auswertung der Meßergebnisse beruhten, so umgebe die Geophysik keine psychisch oder physiologisch bedingte Unsicherheit, wie dies bei dem unwissenschaftlichen Verfahren der Wünschelrute der Fall sei.

Der französische Geologe M. GIGNOUX (Universität Grenoble) glaubte überhaupt nicht an den von Rutengängern angegebenen Reizeffekt. Seine persönlichen Erfahrungen (1935, S. 667f.) führten ihn zu der Überzeugung, daß die von den Rutengängern angezeigten „mysteriösen“ Erscheinungen nicht der Wirklichkeit entsprechen.

Der deutsche Geologe F. MICHELS (1934 a, b, 1951) zählte weitere Versuche und wissenschaftliche Überprüfungen von Rutengehern auf, die alle negativ ausgefallen sind. In Serienversuchen hatte sich außer in Deutschland z. B. auch in Neuseeland die Unzuverlässigkeit der Rutengeherei herausgestellt. Nach F. MICHELS (1951) hatten ferner der holländische Geologe M. RUTTEN, der Schwede G. EKSTRÖM und der U.S. Geological Survey (1938) eindringlichst vor einer Wünschelrutengläubigkeit gewarnt.

Argumente gegen die Wünschelrute faßte auch der deutsche Geologe K. v. BÜLOW (1940, 1942) zusammen. Er ließ als einzige Tatsache den Ausschlag selbst gelten, während er den Wunsch des Rutengängers, etwas zu finden, als eigentliche Ursache des Rutenausschlages ansah (vgl. M. SINGER 1917; A. KUMM 1928). K. v. BÜLOW stimmte es mißtrauisch, daß im Laufe der Zeit immer jene Rohstoffe auch mit der Rute gesucht wurden, die gerade am meisten gefragt und daher auch bestens bezahlt

worden sind. Allein die – für den Nichtfachmann – bestechende Aussagegenauigkeit von Rutengängern bezüglich geologischer und hydrogeologischer Angaben mußte dem Geologen, der um alle Schwierigkeiten geologischer Prognosen bescheid wußte, suspekt sein.

W. DIENEMANN, R. HOFFMANN & J. MAUZ (1944 a) lehnten nach zahlreichen Überprüfungen Baugrunduntersuchungen mit der Wünschelrute ab (vgl. auch GASSMANN 1946).

K. F. G. KEIL (1959, S. 130 ff.) warnte trotz manch überraschender Erfolge vor einer Verwendung der Wünschelrute als Allheilmittel und als zuverlässiges Hilfsmittel zum Nachweis von Wasser im Baugrund. Er schrieb (l. c., S. 1312): „Die Geophysiker lehnen eine Wünschelrute entschieden und vorbehaltlos ab“. Eine ähnlich ablehnende Haltung nahm auch H. SCHNEIDER (1973, S. 575 f.) ein.

Über seine negativen Erfahrungen mit Wünschelrutengängern berichtete auch L. BENDEL (1939, 1948, S. 87) und wies auf die krassen Mißerfolge hin, die am Geologischen Laboratorium in Paris bekannt geworden sind.

Wie bereits 1903, 1911 und 1920 lehnten die Landesgeologen in Deutschland auch 1950 die Wünschelrute ab, nachdem in zahlreichen offiziellen Prüfungen ein Zusammenhang zwischen Wünschelruten- bzw. Pendelausschlägen und Untergrund nicht einmal wahrscheinlich gemacht werden konnte (O. PROKOP & W. WIMMER, 1985). Auch eine Kommission zur Untersuchung des Wünschelruten- und Erdstrahlenproblems der Holländischen Akademie der Wissenschaften ist am 20. 3. 1954 zu einem negativen Urteil über die Realität von Rutenausschlägen gekommen (J. WÜST 1954).

A. THURNER (1950, S. 3) berichtete über Erfahrungen, die er als Wehrgeologe im 2. Weltkrieg mit Rutengängern für die Wassersuche gemacht hatte. Wo ihm eine Überprüfung von Wünschelrutenangaben durch Bohrungen möglich war, ergaben die Versuche einwandfrei, daß die Wünschelrute kein verlässliches Instrument zum Aufsuchen von Wasser war. A. THURNER drückte auch 1967 (S. 142) seine negative Einschätzung aus und hielt Vorhersage über Tiefenlage und Ergiebigkeit des Wassers für Phantasie oder Zufallstreffer, führte aber an, daß aufgrund der zahlreichen Versuche die Ausschläge der Wünschelrute selbst nicht geleugnet werden könnten.

A. HAUSER (1953, S. 11 f.) wies darauf hin, daß es bei Fehlangaben von als namhaft bezeichneten Rutengängern 1940 nur deshalb nicht zu gerichtlichen Verurteilungen und Schadenersatzzahlungen gekommen ist, weil die Wassersuche mit der Wünschelrute vor Gericht nur als ein gewagtes Geschäft eingestuft worden ist.

W. E. PETRASCHECK (1970, S. 115) lehnte die Wünschelrute als Mittel einer rationellen oder gar wirtschaftlichen Lagerstättensuche entschieden ab, hielt aber die Gedankenübertragung von Kontrollpersonen als mögliche Erklärung für die bei Kontrollversuchen erzielten positiven Ergebnisse.

Auf juristische Fragen und die Problematik des Betrugsparagraphen in Zusammenhang mit der Radiästhesie wies der Jurist W. WIMMER (O. PROKOP & W. WIMMER 1985, S. 139 ff.) hin.

Das von Wünschelrutengegnern häufig angeführte Argument, daß man beinahe auf jedem Punkt der Erdoberfläche bei ausreichender Bohrtiefe auf Wasser stoßen könne, erklärt aber nicht jene schon früh bekannt gewordenen Fälle, in denen trotz negativer geologischer Gutachten und ergebnisloser Bohrungen trotzdem vom Wünschelrutengeher jene Stellen angegeben worden sind, an denen dann doch Wasser erbohrt worden ist (z. B. "Waterford-Experimente"; C. v. KLINCKOWSTROEM 1912).

Auch die Tatsache, daß der Rutenausschlag jederzeit willkürlich herbeigeführt wer-

den kann, widerlegt nicht jene Fälle, bei denen Rutenausschläge reproduzierbar waren oder bei verschiedenen Rutengängern am gleichen Ort erfolgt sind.

4.2. Kritische Beurteiler der Wünschelrute

Eine Auflistung und Gegenüberstellung der Erfolge und Mißerfolge von Wünschelrutenuntersuchungen hat bisher nicht zur Klärung der Frage beigetragen. Wohl aber reduzieren kritische Analysen der Erfolgsmeldungen und Fehlschläge das Problem auf eine sachliche Ebene. Neben einigen um das Wünschelrutenproblem ernsthaft Bemühten, wie z. B. C. v. KLINCKOWSTROEM oder V. MALTZAHN haben sich auch zahlreiche Geologen mit dem Phänomen der Wünschelrute befaßt, die dem Problem zwar skeptisch, aber doch positiv gegenüber gestanden sind.

Der berühmte Schweizer Geologe A. HEIM formulierte bereits 1903 treffend, daß die Wünschelrute der „Fühlhebel einer nervösen Erregung des Körpers“ sei. Bei einer wissenschaftlichen Untersuchung des Wünschelrutenproblems hätten daher neben Geologen und Hydrogeologen auch Psychologen und Physiker mitzusprechen. Mit den psycho-physischen und biologischen Problemen der Wünschelrute befaßte sich beispielsweise der Arzt R. GRASSBERGER (1917, 1926). Frühe umfassende Arbeiten über die Wünschelrute stammen von A. VOLL (1920) und H. FALKINGER (1923). Der Arzt E. AIGNER, Schriftleiter der Zeitschrift „Die Wünschelrute“, stellte die Wünschelrute (1920, S. 83) bewußt zum Studiengebiet der okkulten Phänomene. Unter diesem Aspekt ist auch die frühe Zugehörigkeit der italienischen Wünschelrutengänger zur „Akademie der okkulten Wissenschaften“ in Neapel verständlich (A. HAUSER 1953, S. 4). Trotz der Nähe von Wünschelrute und Pendel zum Okkultismus sei folgende Meinung des Geh. Hofrates Prof. Dr. S. EXNER aus Wien in Erinnerung gerufen (C. v. KLINCKOWSTROEM 1919, S. 62): „Kein ernster Naturforscher wird heute (= vor rund 70 Jahren, Anm. d. Verf.), nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen, der Radioaktivität, der Umwandlung chemischer Elemente usw., es wagen, eine mit unseren gewohnten Lehrsätzen unvereinbare Erfahrung wegen dieses Umstandes für unmöglich zu erklären. Andererseits aber wird er den strengsten Maßstab wissenschaftlicher Kritik anlegen . . .“. Besonders die frühen Resultate von Wünschelrutenexperimenten in Frankreich sprachen ja erstaunlich für die Glaubwürdigkeit von Rutenausschlägen. Die wichtigsten Versuche wurden dabei von A. VIRE, einem Spezialisten für Höhlenforschung am Naturhistorischen Museum in Paris, unternommen.

Von dem Wiener Geologen L. WAAGEN (1918) wurde über die aus geologischer Sicht positiven Ergebnisse von Wünschelrutenuntersuchungen berichtet.

Der Heidelberger Geologe W. SALOMON akzeptierte bei aller Skepsis gegenüber den Wünschelrutengängern die Ausschläge selbst, da die Versuche des Bergassessors BEHREND mit einem „einwandfreien“ Rutengänger in einem Kaliberwerk bei Hannover Ausschläge bei Gesteinswechsel gezeigt hatten. SALOMON empfahl aber (1916, S. 36 ff.) ausdrücklich, die Wünschelrute nicht als Mittel zum Auffinden von Wasser zu verwenden.

Wohl am eingehendsten mit der Wünschelrutenforschung hat sich C. v. KLINCKOWSTROEM beschäftigt. Gemeinsam mit V. MALTZAHN gab er 1931 das umfassende „Handbuch der Wünschelrute“ heraus. Er vertrat die Auffassung, daß das Wünschelrutenphänomen in erster Linie eine physiologische Erscheinung sei.

Auch der französische Geologe P. LEMOINE hatte sich wiederholt in anerkennen-

dem Sinne über die Wünschelrute ausgesprochen.

P. V. REGNY von der Universität Parma war sogar zu dem Schluß gekommen, daß der Geologe bei Kenntnis der wasserführenden Schichten nicht mit absoluter Genauigkeit den geeigneten Bohrpunkt bestimmen könne, wohl aber der Rutengänger (C. v. KLINCKOWSTROEM 1913, S. 19).

Zum Thema Wünschelrute war auch der im 1. Weltkrieg als Kriegsgeologe eingesetzte E. HENNIG kritisch eingestellt, der sich 1928 ablehnend geäußert hatte.

Wohl einzigartig dürfte die Arbeitsweise des Geologen K. OSSWALD gewesen sein, der seine umfangreichen Erfahrungen als kartierender Geologe systematisch der Deutung seiner Rutenausschläge zu Grunde gelegt hat. Er war in seiner 1928 erschienenen Arbeit über „Geologische Beobachtungen mit der Wünschelrute“ überzeugt, daß geologische Aufnahmen durch vorsichtigen und überlegten Gebrauch der Wünschelrute unterstützt werden könnten. Leider kommt aber in der Legende seiner geologischen Karte der Wendelsteingruppe (1929) nicht zum Ausdruck, daß der Verlauf von Brüchen und tektonischen Grenzen abschnittsweise mit der Wünschelrute ermittelt worden ist. Besonders Aufsehen haben die Arbeiten von K. OSSWALD für eine Stollenprognose in Bayern erregt. Daraufhin wurde von der Bauleitung sogar verkündet, in Zukunft nie wieder einen derartigen Stollenbau ohne entsprechenden Rutengänger durchzuführen (K. OSSWALD 1930, S. 15). Seine Arbeitsweise bestand darin, erst nach Erkundung und Aufnahme der allgemein geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse die dann erzielten Rutenausschläge in das hydrogeologische Bild einzuordnen. Gerade die auf geologischer Grundlage überprüfbaren Aussagen und insbesondere die Prognose der Wassereinbrüche im Mangfall-Stollen haben auch den Landesgeologen W. KRANZ zu einem Umdenken in seiner bis dahin grundsätzlich ablehnenden Haltung gegenüber der Wünschelrute bewogen. K. OSSWALD wies (1937, S. 159) eindringlich auf die Grenzen des Rutengehens hin: „Die Aufgaben der Rute liegen also gerade dort, wo der Geologe wegen der Geringfügigkeit des Objektes nicht zugezogen werden kann, oder wo er aus Mangel an Aufschlüssen keine Entscheidungen mehr zu treffen vermag und der Einsatz geophysikalischer Apparate zu kostspielig und zu langwierig wäre. Der Rutengänger ist demnach weder ein Ersatz für den Geologen noch ein Ersatz für geophysikalische Apparate, . . .“.

Als Landesgeologe wurde W. KRANZ besonders häufig mit kostenschweren Mißerfolgen der Wünschelrute konfrontiert (W. KRANZ 1921, 1922 a, b; 1929; 1930; 1932). Erst nach Kenntnis der Leistungen von K. OSSWALD auf diesem Gebiet hielt W. KRANZ die Rutenausschläge nicht mehr für Autosuggestion und räumte in diesem Fall ein (1932, S. 41): „Daß nicht alles an der Wünschelrute Schwindel oder Selbstbetrug ist, lehrte mich die Prüfung von Dr. Osswald zweifellos. Nur steht er auf dem Sondergebiet der Tektonik mit seinen positiven Erfolgen einsam auf weiter Flur . . .“. Eine gut angelegte Überprüfung der Leistungsfähigkeit einzelner Rutengänger hatte zu verblüffenden Übereinstimmungen der mit der Rute ermittelten Störungslinien mit seinen Kartierungsergebnissen erbracht (W. KRANZ 1931, S. 19 f., Abb. 3 und 4). Während andere Geologen mit der Wünschelrute negative Resultate lieferten, blieb K. OSSWALD ein Sonderfall (l. c., S. 377): „Er besitzt tatsächlich bis zu einem gewissen Grade die Gabe, Gesteinsunterschiede, Störungen und dergleichen gewissermaßen zu „spüren“ oder zu „fühlen“. W. KRANZ betonte aber (1931, S. 41): „Meines Erachtens muß der Geologe, der auch mit der Rute gehen will, doppelt oder dreifach kritisch . . . eingestellt sein“.

Ehrlicherwise sollte daher stets betont werden, daß es sich bei den sogenannten

Feststellungen von Rutengängern zunächst immer nur um unbewiesene Behauptungen handle.

Ähnlich wie W. KRANZ ist auch der spanische Geologe B. DARDER (Universität Terragona) nach anfänglicher Ablehnung auf Grund eigener Erfahrungen und der Versuche des Geologen ROVERETO aus Genua zu einer Meinungsänderung über die Wümschelrute gekommen (K. OSSWALD 1928, S. 18 f.).

Der Geologe J. WALTHER (Universität Halle) ging sehr kritisch auf die Wümschelrutenfrage ein (J. WALTHER 1920; 1921 a, b). Er hatte in der weiteren Umgebung von Halle mit ihm bekannten Rutengängern und mit Hilfe rutenempfindlicher Studenten Versuche zur Klärung der Rutenausschläge unternommen und dabei herausgefunden, daß gewisse Eigenschaften des Bodens das Nervensystem besonders feinfühligere Menschen beeinflussen können, wobei die Rute als mechanisches Hilfsmittel fungierte, die so entstandenen nervösen Reizzustände sichtbar zu machen. Eine Deutung der Ausschläge ohne einschlägige geologische Vorbildung lehnte J. WALTHER ab.

J. STINY, der Begründer der Ingenieurgeologie, hatte in vielen Fällen persönlich das Versagen von Rutengängern feststellen können. Er räumte aber (1933, S. 178 f.) ein, daß die Wümschelrute in der Hand mancher gewissenhafter und geologisch bestens geschulter oder von einem Geologen geführter Rutengänger doch gewisse Erfolge versprechen könnte. Er meinte (l. c.): „Über die Wümschelrute ein abschließendes Urteil zu fällen, ist derzeit noch verfrüht“ und schloß seine kurzen Ausführungen zum Thema mit dem Ausblick, daß Geologen und Rutengänger in einer Arbeitsgemeinschaft zu vertretbaren Ergebnissen gelangen könnten. Seine skeptische Haltung gegenüber der Wümschelrute brachte J. STINY 1953 zum Ausdruck, wobei er aber auch auf persönlich überprüfte Erfolge von Rutenergebnissen zweier Ingenieure der Steirischen Landesregierung hinwies.

Der Bodenmechaniker K. TERZAGHI (K. A. REDLICH, K. TERZAGHI & R. KAMPE 1929, S. 525 f.) machte auf die bemerkenswerten Erfolge der Wümschelrute bei Dichtungsarbeiten, z. B. bei der Talsperre Gotha oder der Bruxer Talsperre, aufmerksam, wo durch denselben Rutengänger die wasserführenden Klüfte konstatiert worden sind (vgl. MARQUART 1926). Auch COLLORIO (1936, S. 747) hob die positive Mitarbeit eines Wümschelrutengehens bei der Feststellung von Sickerverluststellen im Baugrund der Sösetalsperre hervor.

L. WAAGEN (1921) war eigenen Angaben zufolge der einzige Geologe der Geologischen Staatsanstalt in Wien, der mit seinen Fachkenntnissen auch Rutenfähigkeit und -erfahrung vereinte. Ein großer Teil der an der Geologischen Staatsanstalt arbeitenden Geowissenschaftler lehnten die Ausübung einer offiziellen geologischen Gutachtertätigkeit in Verbindung mit der Wümschelrute ab oder äußerten sich kritisch, wie einer in den Verhandlungen der Geologischen Staatsanstalt, im Jahre 1920, erschienenen Stellungnahme zu entnehmen ist. A. THURNER's (1950, S. 3) negative Erfahrungen mit Wümschelrutengängern während des 2. Weltkrieges entgegnete L. WAAGEN (1950), daß die von der Wehrgeologie im 2. Weltkrieg für die Versuche herangezogenen Wümschelrutengänger Dilettanten gewesen sein müßten, da es für einen echten Rutengänger eine Selbstverständlichkeit sei, Kluftwasser, Quellläufe oder gar Erze, Kohle und Erdöl mit der Rute zu unterscheiden (!). L. WAAGEN zitierte auch folgende schriftliche Mitteilung von H. KÜPPER, dem langjährigen Direktor der Geologischen Bundesanstalt: „Die ungünstige Situation in Österreich ist leider die, daß berufenste Rutengänger Ausnahmen sind und die Zahl derjenigen, die einen Einblick in neuere Arbeitsmethoden haben, sehr klein ist“.

Von einer eingehenderen Untersuchung von Erzen in Tirol durch wirklich befähigte Rutengänger versprach sich auch der Geologe G. HRADIL (1951) Vorteile. Nach den Angaben von J. WÜST (1941) hat G. HRADIL in Tirol, im Gnadenwald/Hall, auch selbst Untersuchungen mit der Wünschelrute durchgeführt.

Der Oberbaurat O. EBELT (1952, 1955) wies darauf hin, daß trotz aller ungeklärten Probleme um die Wünschelrute, Menschen, die sich aus Mangel an Wasser in Not befänden, nicht von dem wissenschaftlich-theoretischen Streit abhalten lassen würden, um Hilfe bei einem tüchtigen Rutengänger zu suchen. Auf seine belegbaren Erfolge und dazu positiven Urteile von Geologen (z. B. vom kommissarischen Direktor des Geologischen Landesamtes in Kiel) wies auch V. MALTZAHN (1955, 1959) hin.

A. HAUSER (1953) berichtete über die Erfahrungen des Rutengängers V. ZATLOUKAL, Dozent an der Hochschule für Bodenkultur in Wien: „Ist schon der Empfang des Reizes durch Schwankungen in der Reizursache und Reizempfindlichkeit des Rutengängers mit Unsicherheit behaftet, so liegen in der Auslegung des Rutenausschlages und dessen Beeinflussung durch Autosuggestion weitere Fehlerquellen“. V. ZATLOUKAL war Referent für Wasserversorgung im Amt der Niederösterreichischen Landesregierung und danach im Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau tätig. Nach A. HAUSER hat er jedoch nie die mit der Rute ermittelten Ergebnisse als Grundlage eines Projektes benutzt.

Der Geologe H. H. VOGT (1968) meinte, daß zwar „Erdstrahlen“ als Strahlen im physikalischen Sinne unbekannt geblieben sind, daß aber bestimmte Menschen – ähnlich wie etwa bei der bekannten „Wetterfühligkeit“, auch die Fähigkeit einer bestimmten „Bodenfühligkeit“ besitzen dürften. Gewisse Hinweise darauf hätten sich nämlich z. B. bei einer geophysikalischen Untersuchung sogenannter „Reizzonen“ ergeben, denen auch magnetische Störungen mittels Lokalvariometer und Feldwaage festgestellt werden konnten.

Auch der Montanist W. VOGLHUBER (1973, S. 59) kam zu dem Schluß, daß es sich bei derartigen Erscheinungen um noch unerklärliche Maxima an unterirdischen Spannungsintensitäten unbekannter Art handeln dürfte, die auf den menschlichen Körper in biologischer Art wirkten und eine gespannte Wünschelrute in Bewegung setzten. Sein Urteil beruhte auf umfassendem Beobachtungsmaterial aus seiner vielseitigen und langjährigen Bergbaupraxis in Stein- und Braunkohlengruben sowie Erzbergbauen in Mittel- und Südeuropa. Er hatte Gelegenheit, die Wünschelrute als Hilfsmittel bei Neuaufschlüssen von Lagerstätten zu erproben, wobei nach C. HOCHSTETTER nachweisbar gute Erfolge zu verzeichnen waren. Außerdem wurden große Industrieanlagen, Städte und Ortschaften reichlich mit Trink- und Nutzwasser versorgt und sogar Thermalwässer und Säuerlinge auf Grund seiner Mutungen erschlossen. W. VOGLHUBER wies gerade wegen seiner jahrzehntelangen Erfahrung auf die heikle Situation einer gewissen Propaganda und Gewinnsucht mancher Rutengänger und Pendler hin.

Der holländische Geologe S. TROMP führte umfangreiche experimentelle Versuche zur Klärung des Rutenausschlages durch (O. PROKOP & W. WIMMER 1985, S. 46 ff.) und soll nach S. OSTRANDER & L. SCHROEDER (1983) auch für die UNESCO die Rutengängerei erforscht haben.

4.3. Über die Verwendung der Wünschelrute für angewandte geologische Aufgaben im Krieg

Ebenso unterschiedlich wie in Friedenszeiten war auch die Beurteilung der Wünschelrute für angewandte geologische Aufgaben während des 1. und 2. Weltkrieges.

1. Weltkrieg

Während der Kriegszeit 1914–1918 erschienen häufig in der Zeitschrift „Die Wünschelrute“ Berichte über verschiedenste Rutenerfolge auf Kriegsschauplätzen. Von dem Physiker E. LECHNER (1916) wurde vorgeschlagen, einen Ausschuß von Rutengängern in Verbindung mit dem Militärgeographischen Institut zu bilden, um eine „unterirdische Wasser-Kohlen- und Metallmapping“ vorzunehmen. Vom Mitbegründer der Wiener Poliklinik und Vorstand der Elektromedizinischen Abteilung, M. BENEDIKT, wurde wiederholt die „Kriegsnotwendigkeit der Wünschelrute“ betont (1916 a, b). Besonders nach den verheerenden Erfahrungen mit verseuchtem Trinkwasser wurden die Rutenerfolge des k. u. k. Offiziers C. BEICHL sehr geschätzt. Gemeinsam mit C. BEICHL war auch F. MUSIL mit Wasser-Mutungen befaßt, wobei nach ihren Angaben der im wasserarmen Karst kämpfenden Truppe der k. u. k. Armee Brunnen mit einer Gesamtleistung von 20 Millionen Liter Wasser pro Tag erschlossen worden sein sollen (A. FLACHENEGGER 1953).

P. WINGE (1934, S. 12) berichtete, daß der „Altmeister“ der Wünschelrutentechnik, E. HERZOG, bei der k. u. k. Armee als Wassersucher in wasserarmen Gegenden Quellen gefunden hätte und in der Baufestungsdirektion insgesamt 263 Schüler zu Rutengängern des Heeres ausgebildet habe.

Aus den Zeilen von W. SALOMON (1916, S. 36, Fußnote) geht hervor, daß das Thema Wünschelrute auch auf der Kriegsgeologentagung in Frankfurt/Main, am 7. Jänner 1916, ausführlich behandelt worden war. Auch H. CLOOS hatte während seiner Arbeiten zur Wasserversorgung einer Artilleriebefehlsstelle an der Lothringer Front und 1915 an der Westfront Erfahrungen mit der Wünschelrute gesammelt (H. CLOOS 1918). Wie aus einem Brief des Grafen C. v. KLINCKOWSTROEM an den bei der Vermessungsabteilung 25 als Kriegsgeologe tätigen E. HENNIG vom 9.7.1917 hervorgeht, empfahl ihm C. v. KLINCKOWSTROEM einen ihm bekannten Stadtbaumeister, der gleichzeitig Wasserfachmann und Rutengänger war für eine Bohrkolonie und wies auch auf dessen erfolgreiches Aufsuchen vergrabener russischer Munition und Geschützteile mit der Wünschelrute im Jahre 1916, im Osten, hin.

Wie an fast allen Fronten wurden auch an der Palästina-Front umfangreiche Wassererschließungsversuche mit der Wünschelrute unternommen, wobei P. RANGE, 1915 als Leiter der Wassererschließungsarbeiten an der Sinai- und Palästinafront in türkischen Diensten als Major tätig, eine Statistik über die Erfolgsrate der Wünschelrutenergebnisse aufgestellt hat (P. RANGE 1920). Nach seiner Beurteilung hat zwar z. B. die Wünschelrutentätigkeit des Herrn O. v. GRAEVE in der Sinaiwüste der Armee nur sehr wenig Nutzen gebracht, dafür hatten andere Rutengänger bei der Bohrpunktfestlegung für die militärische Wassererschließung in der Regel Erfolg (l. c., S. 94 ff.). Ein Befehl der Heeresgruppe beinhaltete die Zuteilung eines Quellensuchers (Wünschelrutengängers) zur Erkundung nutzbarer Wasserstellen bei den Divisionen und beim Asienkorps mit dem Auftrag, für die zahlreichen Tiere ebenso Wasser zu schaffen, wie für die in vorderer Linie eingesetzten Kampftruppen.

Nach den Berichten wiesen die zugewiesenen Wünschelrutengänger sowohl Erfolge als auch Mißerfolge auf. P. LANGE (l. c., S. 96) kam zu dem Schluß, daß insgesamt 3/4 aller Wünschelrutenergebnisse Wasser angefahren, aber nur weniger als die Hälfte auch ein praktisch brauchbares Ergebnis geliefert hätte.

Auf die erfolgreiche Verwendung der Wünschelrute für die französische Armee wies z. B. A. VIRE (1935, S. 162 ff.) hin.

2. Weltkrieg

Selbst zu Beginn des 2. Weltkrieges wurden noch durch Divisionsbefehle Wünschelrutengänger von der Truppe freigestellt und für Untergrund- und Wasserfragen eingesetzt, da die Verwendung von Wehrgeologen noch keineswegs selbstverständlich und bei manchen Armeen noch unbekannt

war (G. KNETSCH 1940). Aber auch die Reichsbahndirektion Dresden bediente sich z. B. eines Wünschelrutengängers, der in vielen Fällen unter ziemlich genauer Tiefenangabe Wasser nachgewiesen haben soll (K. F. G. KEIL 1959, S. 1309). Die Wünschelrutentätigkeit war ab 1933 besonders durch das SS-Dezernat „Das Ahnenerbe“ gefördert worden, wobei auch offizielle Rutengängerprüfungen durchgeführt und darüber Zeugnisse ausgestellt wurden (H. H. WENDTE 1956, S. 21). Diese Lehrgangzeugnisse berechtigten zur Ausübung der Rutengängerei als Hauptberuf (O. PROKOP & W. WIMMER 1985, Abb. 9). Wie einer Fußnote der Zeitschrift „Die Bautechnik“ aus dem Jahre 1943 (H. 43/7, S. 285 ff.) zu entnehmen ist, hat der Generalinspekteur für Wasser und Energie mit Runderlaß vom 22. 1. 1943, entsprechend dem Vorgehen anderer oberster Reichsbehörden, die Heranziehung von gewerbsmäßigen Wünschelrutengängern zur Feststellung von unterirdischen Wasservorkommen, zu Baugrunduntersuchungen und sonstigen Zwecken für seinen Geschäftsbereich verboten.

H. H. WENDTE (1956) wies auch auf die Wassersuche von Rutengängern im Rahmen der Wehrmacht, besonders in Nordafrika, hin. Nicht ohne Grund finden sich daher unter den Fachausdrücken des vom Wehrgeologenstab Wannsee (1943) bearbeiteten wehrgeologischen Wörterbuches auch die Begriffe: Pendel, Rutengänger, Wünschelrute und Wünschelrutenuntersuchung.

Der Geologe W. DIENEMANN berichtete über gänzlich unzutreffende Aussagen und „Gutachten“ von Baugrunduntersuchungen mittels der Wünschelrute (W. DIENEMANN et al. 1944 a) und plädierte für einen Erlaß eines allgemeinen gesetzlichen Verbotes der Anwendung der Wünschelrute zur Beurteilung bautechnischer Fragen. Gleichlautend wurde diese Stellungnahme auch von der Zentrale der Bauorganisation Todt verbreitet (W. DIENEMANN et al. 1944 b).

A. HAUSER, der im 2. Weltkrieg als Wehrgeologe tätig war, berichtete (1953, S. 14), daß auch illustrierte Zeitungen öfters Artikel von den Verdiensten der Rute bei der Wassergewinnung für die Truppe gebracht haben. Nach eklatanten Mißerfolgen und auf Grund negativer Forschungsergebnisse der deutschen Gesellschaft für Bodenmechanik (K. F. G. KEIL 1959, S. 1309) wurde aber 1944 die Verwendung der Rute und des Rutenattestes durch öffentliche Ämter im Reichsgebiet verboten.

5. Schlußfolgerungen und Ausblick

Aus den in der Literatur zahlreich angeführten Argumenten pro und contra die Verwendung der Wünschelrute für angewandt geologische Aufgaben kommt der Autor zu dem Schluß, daß aus fachlicher Sicht die geologische und speziell hydrogeologische Deutung von Rutenausschlägen durch den Rutengänger nicht etwa aus Konkurrenzgründen abzulehnen, sondern weil sich gerade der Geologe der Schwierigkeit und Verantwortung geologischer Prognosen bewußt ist, für die ja außer „mente et malleo“ sehr wohl auch exakte Methoden notwendig sind. Folgende Regeln scheinen angebracht zu sein:

- 1) Der unbewußte („echte“) Rutenausschlag eines Rutengehers ist als solcher zu akzeptieren.
- 2) Der Rutengänger sollte aufmerksam gemacht werden, daß er selbst keinerlei auf Rutenergebnissen aufgebaute verbindliche geologische Aussagen machen darf, da es sich bei seinen Mutungen um nicht mehr als Vermutungen handelt. Ferner sei darauf hingewiesen, daß in Österreich Täuschung und versuchte Täuschung unter § 146 und § 147 STGB fallen.
- 3) Die Aussagen von als erfahren bezeichneten Rutengängern sollten gerade von geologischer Seite genauestens überprüft werden.

Auch wenn eines Tages die Reizursachen der Rutenreaktion geklärt werden sollten, läßt sich aus der bisherigen Kenntnis der Funktionsweise schließen, daß dem biophysikalischen Effekt für komplexe angewandt geologische Aufgaben deshalb keine Bedeutung zukommen wird, weil die Reaktionen vom jeweiligen Menschen abhängig und rein subjektiv zu werten sind.

Solange es Rutengänger gibt, werden auch Geologen mit deren Angaben konfrontiert werden. Wichtiger als eine positive oder negative Einstellung zum Wümschelrutenproblem scheint in der Praxis eine entsprechende Aufklärung des Auftraggebers. Auch wenn künftig weiterhin Rutengänger beauftragt werden, sind, wenn schon nicht primär, so doch parallel dazu, Geologen mit geophysikalischen Untersuchungsmethoden heranzuziehen. Die Kostenfrage ist jedenfalls auch unter dem Aspekt der Verantwortung für die entsprechende Untersuchung zu sehen. Die geologische Deutung von Rutenergebnissen sollte vom juristischen Standpunkt aus nicht dem Rutengänger überlassen bleiben! Eine Legalisierung der Rute für angewandte geologische Fragestellungen ist bedenklich.

Das Potential an Hydrogeologen, Baugeologen oder sonst in der Praxis tätigen Geologen zur Bewältigung angewandter geologischer Aufgaben ist jedenfalls in Österreich vorhanden.

Als Entgegnung auf den in Wümschelrutenkreisen immer wieder geäußerten Vorwurf, Geologen würden sich zu wenig mit dem Problem der Wümschelrute beschäftigen, sei abschließend der Geologe F. MICHELS (1951, S. 380) angeführt: „Die Wissenschaft hat wahrlich nichts unversucht gelassen, sich ernsthaft mit dem Problem der Wümschelrute zu beschäftigen, . . .“, was mit diesem Artikel in Erinnerung gebracht werden sollte.

6. Literatur

- AIGNER, E.: Der gegenwärtige Stand der Wümschelrutenfrage. – Die Wümschelrute, 9, Nr. 11, 81–85, Leipzig 1920.
- ANDREE, J.: Die Stellung des Geologen zur Wümschelrute. – Deutsche Medizin. Wochenschr., 59, Nr. 17, S. 672, Stuttgart 1933.
- BACHLER, K.: Erfahrungen einer Rutengängerin. – 8. Aufl., Abbn., Linz (Veritas) 1983.
- BEHME, Fr.: Die Berliner Landesgeologen und die Wümschelrute. – Z. f. Wümschelrutenforschung, 2, Nr. 2, 19–21, Hannover 1921.
- BEHR, J.: Wümschelrute und Erdstrahlen und Geologie. – Deutsche Medizin. Wochenschr., 61, Nr. 3, 81–86, Leipzig 1935.
- BEICHL, C.: Die Thermen im Untergrund Wiens. – Allgem. österr. Chemiker- und Techniker-Zeitung, 45, Nr. 9., 63–68, Karte 1 : 50 000, Wien 1.5.1927.
- BENDEL, L.: Wümschelrute, Pendel und Erdstrahlen. Stand der Meinungen der Befürworter und Gegner. – Gas-Wasser-Abwasser, 19, Monatsbull. Nr. 9, 207–211, Zürich 1939.
- Ingenieurgeologie. – 2. Hälfte, 832 S., 620 Abb., Wien (Springer) 1948.
- BENEDIKT, M.: Die Wümschelrutenfrage. – Die Woche, 18, Nr. 34, 1181–1183, 3 Abb., Berlin 1916 a.
- Leitfaden der Rutenlehre (Wümschelrute). – 80 S., 6 Abb., Wien (Urban & Schwarzenberg) 1916 b.
- BEYSCHLAG, F.: Mein Standpunkt zur Wümschelrute. – Z. prakt. Geol., 29, 129–131, Halle/Saale 1921.
- BISTRITSCHAN, K.: Georg Agricola und die Wümschelrute. – Geologie und Bauwesen, 16, 79–80, Wien 1946.
- BORCHERS, : Mißerfolge von Rutengängern im Sächsischen Erzgebirge. – Z. prakt. Geol., 31, S. 125, Halle/Saale 1923.
- BRAUN-FERNWALD, R.: Untersuchung von Strahlungen mit der Wümschelrute. – Z. Österr. Ingenieur- und Architekten-Verein, H. 37/39, 182–183, Wien 1922.
- BÜLOW, K. v.: Was ist mit der Wümschelrute? – Kosmos, 1940, H. 10, 251–254, Stuttgart 1940.
- Wasseradern. – Pumpen- und Brunnenbau, Bohrtechnik, 1942, Nr. 8, 35 Abb., Berlin 1942.
- CLOOS, H.: Zur Wümschelrutenfrage. Beobachtungen und Versuche. – Centralbl. f. Min. Geol. u. Pal., 1918, 29–40, Stuttgart 1918.

- COLLORIO, H.: Die neuen Talsperren im Harz. Erfahrungen bei Vorarbeiten, Gestaltung, Bau und Betrieb des Söse- und Oderwerkes der Harzwasserwerke. – Die Bautechnik, 14, H. 53, 747–772, Abb. 40–100, Berlin 1936.
- DE BOER, W.: Mutungsexperimente mit Gesteinsproben. – Z. Radiästhesie, 31, H. 2, 50–57, München 1971.
- DEIBEL, H.: Der Stand der Radiästhesie 1956. – Livre des rapports, Congres mondial de radiesthésie Locarno 1956, 325–334, Locarno 1956.
- DIENEMANN, W., HOFFMANN, R. & MAUZ, J.: Baugrunduntersuchung mit der Wünschelrute. – Die Bautechnik, 22, H. 5/8, 32–37, 6 Abb., Berlin 1944 a.
- , HOFFMANN, R. & MAUZ, J.: Baugrunduntersuchung mit der Wünschelrute, Schriften des Frontingenieurs, H. 14, Hrsg.: Organisation Todt, Zentrale, 24 S., 6 Abb., Berlin 1944 b.
- DIETRICH, F.: Erdstrahlen . . . ? – 159 S., Abbn., Villach (M. Stadler) 1952.
- Geleitwort zum 5. Kongreß des Österreichischen Verbandes für Ruten- und Pendelkunde (Radiästhesie). – Z. f. Radiästhesie, 9, Nr. 2, 37–39, Wien 1957.
- EBELT, O.: Nochmals: Das Geheimnis der Wünschelrute. – Die Wasserwirtschaft, 42 (1951/52), 356–357, Stuttgart 1952.
- Der Kampf gegen die Wünschelrute. – Die Wasserwirtschaft, 43 (1954/55), 150–151, Stuttgart 1955.
- EBERT, A.: Über Erdstrahlen und Abschirmapparate. – Die Technik in der Landwirtschaft, 17, Nr. 4, 67–73, 37 Abb., Berlin 1936.
- ELLIS, A.: The divining rod, a history of water witching. – US Geol. Survey, Water-supply pap. 416, 59 S., 4 Abb., Washington 1917.
- FALKINGER, H.: Die Wünschelrute. – Landmanns Praxis, 148 S., Abbn., Wien (Waldheim-Eberle) 1923.
- FLACHENEGGER, A.: Major Dipl. Ing. Friedrich Musil gestorben. – Mitteilungsbl. d. österr. Verb. f. Ruten- und Pendelkunde (Radiästhesie). 1, Nr. 2, 9–10, Wien 1953.
- FRITSCH, V.: Einiges über Ziele und Wege der angewandten Geophysik. – Der Wünschelrutengänger und Geophysiker, 4, H. 2, 14–17, Bildnis, Wien 1934.
- & JELINEK, F.: Beiträge zur Physik der Wünschelrutensfrage. – 191 S., 39 Abb., München (J. C. Huber) 1936.
- GÄRTKE, H.: Erschließung eines starken und tiefen Wasservorkommens. – Z. Radiästhesie, 22, Nr. 2, 53–56, München 1970.
- GASSMANN, F.: Bericht über Versuche mit der Wünschelrute. – Vierteljahrschr. Naturf. Ges. Zürich, 91, 114–122, Zürich 1946.
- GIGNOUX, M.: Enquete sur la radiesthésie: reponses de geologues, d'ingenieurs des mines, etc. – Revue de genie militaire, 43, 687–688, Paris 1935.
- GRASSBERGER, R.: Die Wünschelrute und andere psycho-physische Probleme. – 54 S., 7 Abb., Wien (Selbstverlag) 1917.
- Die Wünschelrute und andere psycho-physische Probleme. Ein Beitrag zur Geschichte der „okkulten Bestrebungen“. – 2. erw. Aufl., 72 S., 4 Abb., 2 Taf., Wien (Deuticke) 1926.
- GRAVES, T.: Pendel und Wünschelrute: Radiästhesie. – 4. Aufl., 189 S., 60 Abb., Augsburg (Goldmann) 1985.
- GÜRICH, G.: Die Wünschelrutensfrage in Hamburg. Untersuchungen und kritische Betrachtungen. – 40 S., 1 Abb., Hamburg (W. Gente) 1920.
- HÄFNER, G.: Gesundes Trinkwasser durch gezielte Erschließung. – Z. f. Radiästhesie, 26, Nr. 3, 86–91, München 1974.
- HÄUSLER, H. & LIVADAS, D.: Bericht über die Lehrveranstaltung „Feldmethoden der Erdwissenschaften“ der Technischen Hochschule Wien. – Vervielfält. Manuskript, 31 S., 13 Abb., 6 Beil., Wien 1975.
- HAUSER, A.: Die Wünschelrute. Berichte und Erfahrungen der letzten Jahrzehnte. – Beitr. zu einer Hydrogeologie Steiermarks, Sdh., 38 S., Graz 1953.
- HEIM, A.: Einige Beobachtungen betreffend die „Wünschelrute“. – Vierteljahrschr. Naturf. Ges. Zürich, 48, 287–306, Zürich 1903.
- HEINE, W.: Der Schermuly-Polarisator in Theorie und Praxis. – Z. prakt. Geol., 36, 89–93, 1 Abb., Halle/Saale 1928.
- HENNIG, E.: Vom Wert der Wünschelrute. – Beilage zum Schwarzwälder Boten, 94, Nr. 300, Oberndorf a. Neckar, 25. Dez. 1928.
- HOCH, E.: Strahlenfähigkeit. – 2. Aufl., 132 S., 25 Abb., Digr., Linz (Veritas) 1983.

- HORNINGER, G.: Vortragsankündigung 22. 6. 1979: „Geologie und Wünschelrute in einem 100-jährigen Krieg“. – Mitteilungsbl. Österr. Verband für Radiästhesie, Wien 1979.
- HRADIL, G.: Neuere Beiträge zur Wünschelrutenfrage. – Innsbrucker Nachrichten Nr. 46, S. 5, Innsbruck 25. Feb. 1936.
- Rutengänger entdecken Erze oberhalb Wiesenschwang. – Tiroler Nachrichten Nr. 112, S. 3, Innsbruck 18. Mai 1951.
- HUG, J.: Stellungnahme zu: F. GASSMANN: Bericht über Versuche mit der Wünschelrute. – Gas-Wasser-Abwasser, 27, Monatsbull. Nr. 1, S. 16, Zürich 1947.
- KEIL, K. F. G.: Geotechnik. – 3. erw. Aufl., 1456 S., 1650 Abb., Tab., Halle/Saale (VEB) 1959.
- KIRCHNER, G.: Pendel und Wünschelrute. – 5. Aufl., 327 S., Abb., Genf (Ariston) 1983.
- KLINCKOWSTROEM, C. v.: Bibliographie der Wünschelrute. – 146 S., München (V. O. Schön-huth Nachf.) 1911.
- Die Wünschelrute und ihre Beweise. – Sonderabdruck aus Zeitschr. d. Vereines der Gas- und Wasserfachmänner in Österreich-Ungarn, 1912, H. 15, 11 S., Wien 1912.
 - Die Wünschelrute im Auslande. – Sonderabdruck aus Zeitschr. d. Vereines der Gas- und Wasserfachmänner in Österreich-Ungarn, 1913, H. 6 und 7, 11 S., Wien 1913.
 - Neues von der Wünschelrute. Theoretisches und Kritisches. – 2. verb. u. erw. Aufl., 72 S., Berlin (Fr. Zillesen) 1919.
 - Die neuere Wünschelrutenliteratur. – Die Wünschelrute, 9(11), 87–89, Leipzig 1920.
 - Zeitschriften-Sammelreferat. – Schriften des Verbandes zur Klärung der Wünschelrutenfrage, H. 13, 62–72, München (R. Oldenburg) 1930.
 - & MALTZAHN, V.: Handbuch der Wünschelrute. – 321 S., 99 Abb., 2 Taf., München (R. Oldenburg) 1931.
- KNETSCH, G.: Unveröffentlichter Briefentwurf, 7 S., O. U., 1. 12. 1940.
- KNOLL, J.: Elektronen-Strahlen-Energie. – 62 S., Abb., Mindelheim (Hundegger) 1932.
- KOENIGSBERGER, J.: Die Verwendung geophysikalischer Verfahren in der praktischen Geologie. – Z. prakt. Geol., 30, 33–41, Halle/Saale 1922.
- KOPP, J.: Der heutige Stand der wissenschaftlichen Erdstrahlenforschung. – Z. f. Radiästhesie, 23, Nr. 4, 121–124, München 1971.
- KRAHMANN, R.: Die Anwendbarkeit der geophysikalischen Lagerstättenuntersuchungsverfahren, insbesondere der elektrischen und magnetischen Methoden. – Abh. prakt. Geol. u. Berg-wirtschaftslehre, 3, 40 S., 37 Abb., Halle/Saale 1926.
- KRANZ, J.: Beiträge zur Klärung der Wünschelrutenfrage. – Z. prakt. Geol., 29, 171–173, Abb. 1, Halle/Saale 1921; 30, 41–47, Abb. 2–4, Halle/Saale 1922 a; 30, 53–58, Abb. 5–6, Halle/Saale 1922 b.
- Wünschelrute und ingenieurtechnische Geologie. – Technisches Gemeindeblatt, XXXII, Nr. 9, 129–133, Berlin 5.5.1929.
 - Zur Tektonik des Blattgebiets Weissach, mit Beitrag zur Wünschelrutenfrage. – Z. dt. geol. Ges., 82, 117–124, 4 Abb., Berlin 1930.
 - Wünschelrutenversuche am Gebirgsbau der Blattgebiete Leonberg und Weißach NW Stuttgart, mit Beitrag zur Baugrundgeologie. – Archiv zur Klärung der Wünschelrutenfrage, 1(1), 3–42, 8 Abb., 2 Taf., Berlin (Oldenburg) 1931.
 - Ein wirklicher geologischer, hydrologischer und Wünschelrutenerfolg beim Mangfall-Stollenbau. – Centralbl. Min., Geol., Pal., 1931, Abt. B, 376–382, Stuttgart 1931.
 - Ein Schein- und ein Mißerfolg der Reutlinger Wünschelrute. – Mitt. der Tierärztl. Ges. zur Bekämpfung des Kurpfuschertums, 7, H. 9/10, 25–28, 2 Abb., Berlin 1932.
- KUHN, A.: Abschrift des Vortrages vom 2. 12. 1970: „Gesundes Bauen durch feinstoffliche Wahrnehmung“. – 19 S., Wien 1970.
- KUMM, A.: Wie entsteht der Ausschlag der Wünschelrute? – Z. dt. geol. Ges., 80, Monatsber., 321–326, 2 Abb., Berlin 1928.
- KURZ, A.: Die Verwendbarkeit der Wünschelrute in der Geologie und Hydrologie. – Mitteilungs-bl. Österr. Verb. f. Ruten- und Pendelkunde (Radiästhesie), 1, Nr. 2, 1–5, Wien 1953.
- LECHNER, E.: Rezension der Arbeit von M. BENEDIKT: „Leitfaden der Rutenlehre (Wünschelrute)“. – Wiener klinische Wochenschrift, 29, Nr. 26, 824–826, Wien 29. Juni 1916.
- MALTZAHN, V.: Wasser, wo keins war. – Die Wasserwirtschaft, 40(1954/55), 151–153, 4 Abb., Stuttgart 1955.
- Wie ist das mit der Wünschelrute? – Die Wasserwirtschaft, 49, 158–161, Stuttgart 1959.
- MARQUARDT, –: Die Sickerungserscheinungen an der Büxer Talsperre und ihre Aufdeckung

- mit Hilfe der Wünschelrute. – Der Bauingenieur, 7, H. 52, 995–1003, 10 Abb., 3 Tab., Berlin 1926.
- MESECK, W.: Was soll man tun gegen Erdölknappheit? – Z. f. Radiästhesie, 26, Nr. 2, 52–53, München 1974.
- Rohstoffsicherung und Rutengänger. – Z. f. Radiästhesie, 27, Nr. 2, 33–41, München 1975.
- MICHELS, F.: Wünschelrute und Wassersuche. – Z. dt. geol. Ges., 85(1933), 501–504, Berlin 1934 a.
- Prüfung eines Wünschelrutengängers durch die Deutsche Gesellschaft für Mineralölforschung. – Öl und Kohle, 1934, H. 1, 15–17, Berlin 1934 b.
- Das Problem der Wünschelrute. – Strasse und Verkehr, 37, Nr. 12, 374–380, Solothurn 1951.
- MUSIL, F.: Die Drehung der „Wünschelrute“ eine Folge von Induktionswirkungen. – 21 S., 35 Abb., Wien (Selbstverlag) 1922.
- OBERNEDER, L.: Der Rutengänger als Fachkraft. – Livre des rapports, Congres mondial de radioesthésie Locarno 1956, 312–316, Locarno 1956.
- OSSWALD, K.: Geologische Beobachtungen mit der Wünschelrute. – Schriften des Verbandes zur Klärung der Wünschelrutenfrage, H. 11, 14–33, 4 Abb., Stuttgart 1928.
- Geologische Karte und Geschichte der Wendelstein-Gruppe. – 122 S., 1 geol. Kt. 1 : 25 000, 1 Profiltaf. 1 : 25 000, 1 tekt. Kt. 1 : 100 000 (J. Lindauersche Universitätsbuchhandlung) München 1929.
- Rutenarbeiten an den Stollen der Mangfall-Überleitung (Oberbayern). – Schriften zur Klärung der Wünschelrutenfrage, H. 13, 3–15, 3 Abb., München 1930.
- Wünschelrute und Untergrund. – Z. f. Wünschelrutenforschung, 18, H. 9/10, 157–168, München 1937.
- OSTRANDER, S. & SCHROEDER, L.: PSI. – 17. Aufl., 384 S., Bern (Scherz) 1983.
- PETRASCHECK, W. E.: Mineralische Bodenschätze. – 128 S., 54 Abb., Frankfurt/Main (Suhrkamp) 1970.
- PETSCHKE, H.: Physikalische Messungen geopathischer Zonen. – Erfahrungsheilkunde, III, H. 12, 13–28, 28 Abb., Ulm/Donau (Haug) 1954.
- PREUSSISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT (Hrsg.): Zur Wünschelrutenfrage 1. Die mit Rutengängern im Dezember 1920 angestellten Versuche der Preußischen Geologischen Landesanstalt. – 20 S., 5 Abb., Berlin (Preuß. Geol. L.-A.) 1921.
- Zur Wünschelrutenfrage. 2. Merkblatt für die Anstellung geologischer Versuche mit Wünschelrute und Pendel. – 5 S., Berlin (Preuß. Geol. L.-A.) 1922.
- PROKOP, O. & WIMMER, W.: Wünschelrute Erdstrahlen Radiästhesie. – 188 S., 18 Abb., 16 Tab., 2. neu bearb. Aufl., Stuttgart (Enke) 1977.
- & WIMMER, W.: Wünschelrute Erdstrahlen Radiästhesie. – 3. neu bearb. Aufl., 225 S., 18 Abb., 16 Tab., Stuttgart (Enke) 1985.
- QUIRING, H.: Wünschelrute und Geophysik. – 70 S., zahlr. Abb., 4 Tab., Orionbücher Bd. 41, München (Sebastian Lux Murnau) 1951.
- RANGE, P.: Die Ergebnisse des Wassersuchens mit der Wünschelrute in Südwestafrika und im Orient. – Die Wünschelrute 9(10), 73–79; 9(11), 89–96, Leipzig 1920.
- REDLICH, K. A., TERZAGHI, K. & KAMPE, R.: Ingenieurgeologie. – 708 S., 417 Abb., Wien (Springer) 1929.
- REITER, R.: Neue Beiträge zum Wünschelrutenproblem. – GWF, 90, H. 20, 539–540, Zürich 1949.
- RIESCH, H.: Die Vertikalrute und ihre physikalischen Zusammenhänge. – Z. f. Radiästhesie, 36, Nr. 2, 35–41, München 1984.
- RZEHAK, A.: Der gegenwärtige Stand der Wünschelrutenfrage. – Sonderabdruck aus: „Mährisch-schlesische Gewerbe-Zeitung“, 51 S., Brünn (Verlag des Mährischen Gewerbevereines in Brünn) 1918.
- SALOMON, W.: Über einige im Kriege wichtige Wasserverhältnisse des Bodens und der Gesteine (Für Geologen, Pioniere, Truppenoffiziere und Truppenärzte). – 50 S., 3 Abb., München (R. Oldenbourg) 1916.
- SCHAAD, W. & HAEFELI, R.: Die Anwendung der Elektrizität zur Entwässerung und Verbesserung feinkörniger Bodenarten. – Strasse und Verkehr 32, Nr. 23/24, 311–316, 2 Abb., Solothurn 1946.
- SCHELENZ, H.: Die Wünschelrute. – Naturwissenschaftl. Wochenschrift, N. F. 16, Nr. 3, 39–42, Jena 21. Januar 1917.

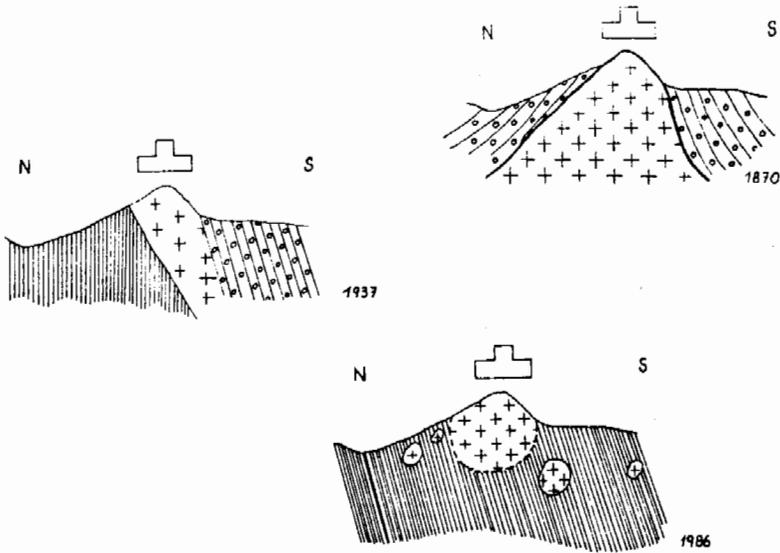
Neuinterpretation des Buchdenkmalgranites

Diskussion alter und neuer Argumente

von

R. W. WIDDER

mit 8 Abb. (excl. Titelbild)



Anschrift des Verfassers:
Rudolf Wolfgang Widder
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7/3
A-1010 Wien

Inhalt

Zusammenfassung, Resume, Abstract	289
1. Einleitung	290
2. Diskussion historischer Argumente zur Interpretation des Leopold v. BUCH-Denkmal Denkmals	291
3. Diskussion mikropaläontologischer und feldgeologischer Untersuchungen	295
3.1. Allgemeine Bemerkungen	295
3.2. Mikropaläontologische Auswertung relevanter Proben	296
3.2.1. Umgebung des L. v. BUCH-Denkmal	296
3.2.2. Top und Basis des Dichlbergergranites	298
3.2.3. Basis des Wiesenbauergranites	300
3.2.4. Umgebung des Blindhofgranites	300
3.3. Tektonik	301
3.4. Ausgewählte Exotika	301
3.4.1. Buchdenkmalgranit	301
3.4.2. Dichlbergergranit	303
3.4.3. Wiesenbauergranit	303
3.4.4. Blindhofgranit	304
4. Literatur	305

: Titelbild: Das L. v. BUCH-Denkmal und seine Interpretation im Wandel der Zeit.



Abb. 1: Das L. v. BUCH-DENKMAL, nach einer Lithographie um 1858 (aus: F. v. HAUER & M. HOERNES, Wien 1858).

Zusammenfassung

Diese Arbeit ist Teil einer Dissertation, die in der Grestener Klippenzone (Ultra-helvetikum) zwischen Pechgraben und Ma. Neustift/OÖ. durchgeführt wird. Eine Besonderheit dieser Region bildet das Auftreten von großen exotischen Blöcken, von denen der Buchdenkmalgranit ein Beispiel par excellence darstellt.

Diese Blöcke wurden bisher immer mit den Grestener Schichten in Verbindung gebracht: Entweder in Form von transgressiv verbundenem kristallinen Basement, oder aber als grobe Gerölle der basalen Grestener Arkosen.

Das L. v. BUCH-Denkmal im besonderen wurde als Schürfling interpretiert, der mit Grestener Schichten in transgressiver Verbindung stehen sollte.

Aufgrund von neuen mikropaläontologischen und feldgeologischen Untersuchungen kann nun gezeigt werden, daß wesentliche Anteile der bisher als Grestener Schichten bezeichneten Vorkommen der paläogenen Entwicklung der Buntmergelserie (BMS) angehören.

Mit den granitischen Gesteinen treten als Besonderheit biogenreiche Seichtwasserkalke malmischen Alters (*Clypeina jurassica* FAVRE) und melanokrate Magmatite auf.

Diese Exotika bilden ein Klastikaensemble, das über das gesamte Pechgrabengebiet verbreitet ist.

Der Granit des L. v. BUCH-Denkmal wird diesem Ensemble zugerechnet.

Das Hüllgestein dieser Exotika ist Buntmergelserie paläogenen, meist eozänen Alters.

Résumé

Une nouvelle interprétation du granit du L. v. BUCH-monument. Discussion des anciens et nouveaux arguments.

La région entre Pechgraben et Ma. Neustift (Haute-Autriche) a été étudiée récemment au cours d'une dissertation à l'université de Vienne.

L'attention spéciale ont attiré les matériaux exotiques et les sédiments dans lesquels ils ont été déposés.

On présumait un contact sédimentaire primaire entre les matériaux exotiques, en particulier le granit du monument de L. v. BUCH, et les Grestener Schichten.

Des études géologiques détaillées et des analyses micropaléontologiques ont montré que des parties importantes de ce qu'on appelait Grestener Schichten font en réalité partie du paléogène de la Buntmergelserie helvétique.

Finalement on peut dire que les roches exotiques font partie d'un ensemble clastique déposé dans un canyon sous-marin lors de la collision éocène des nappes austroalpines et helvétiques.

Abstract

A new interpretation of the L. v. BUCH-Memorial granite. Discussion of old and new arguments.

The area between Pechgraben and Ma. Neustift (Upper Austria) has been recently investigated (1985/86) as part of the fieldwork for a thesis at the University of Vienna.

Special attention is given to the problem of exotic material and the sediments in which they are implaced. The exotic material, especially the granite of the Leopold v. BUCH-Memorial has been interpreted to be in primary sedimentary transgressive contact to the Grestener beds.

Following detailed geological mapping as well as micropaleontological investigations, it is shown that substantial parts of the presumed liassic Grestener beds actually belong to the paleogene development of the ultrahelvetic Buntmergelserie.

A result of these latest scientific findings is that the exotics belong to an ensemble of clastic rocks which can be interpreted as deposits in a submarine canyon during the eocene collision of the austroalpine plates with the european foreland.

1. Einleitung

Leopold von BUCH, dem berühmten Freund von Alexander von HUMBOLDT und Schüler von G. A. WERNER wurde im Jahre 1856 ein großer Granitblock zum Denkmal gewidmet. Dieser exotische Block befindet sich im Pechgraben, etwa 3,5 km NNW von Großraming in Oberösterreich inmitten der Grestener Klippenzone (s. Abb. 2). Die Idee zu dieser Gedenkstätte stammt von dem Linzer Kustos K. EHR- LICH und wurde am 20. September 1856 der allgemeinen Versammlung der Naturforscher und Ärzte in Wien vorgelegt (F. v. HAUER & M. HÖRNES, 1858).

Nach Ausführung dieses Antrages, der weltweit Anteilnahme fand, rückte der B u c h d e n k m a l g r a n i t und in weiterer Folge die Erforschung der näheren Umgebung in das besondere Interesse der Geologen.

Neben der historischen Bedeutung als Gedenkstätte kommt dem Granit wegen seiner außergewöhnlichen Position am Alpennordrand und seinen bedeutenden Dimensionen auch ein besonderes wissenschaftliches Interesse zu.

Insbesondere wurde die Frage der Herkunft und der Modus der Platznahme rege diskutiert. Eng verknüpft damit war die Frage nach der stratigraphischen Stellung der umgebenden Sedimente, die mangels mikropaläontologischer Kenntnisse noch weitgehend mit großen Unsicherheiten behaftet war.

Das Auftreten von exotischen Blöcken ist aus den verschiedensten Abschnitten des Ultrahelvetikums (i. S. von H. HAGN, 1960) bekannt, und an vielen Stellen bereits richtig gedeutet worden.

Warum das nicht auch bereits für die seit langem (A. v. MORLOT, 1847) bekannten Exotika des Pechgrabens durchgeführt wurde, scheint mir in der Arbeit von H. LÖGTERS (1937 a, b) begründet zu sein, die einen sehr fundierten Eindruck macht, aber in grundlegenden stratigraphischen Fragen sehr revisionsbedürftig ist.

Für bekannte Exotikavorkommen des Ultrahelvetikums liegen bereits Untersuchungen vor: H. HARTL (1949), Konradsheimer Kgl.; S. PREY (1953), Schaitten; G. GÖTZINGER & CH. EXNER (1953), Wienerwald-Exotika; W. SCHNABEL (1970), Konradsheimer Kgl.; P. FAUPL (1977, 1978), Schaitten, Konradsheimer Kgl.; G. FRASL (1980 a, b, 1982, 1984), Haunsberg/Szbg. (1984), Achtal; A. BUTT (1981), Eschbannhauser Kgl./Bayern; G. FRASL & E. CH. KIRCHNER (1981), Haunsberg/Szbg.

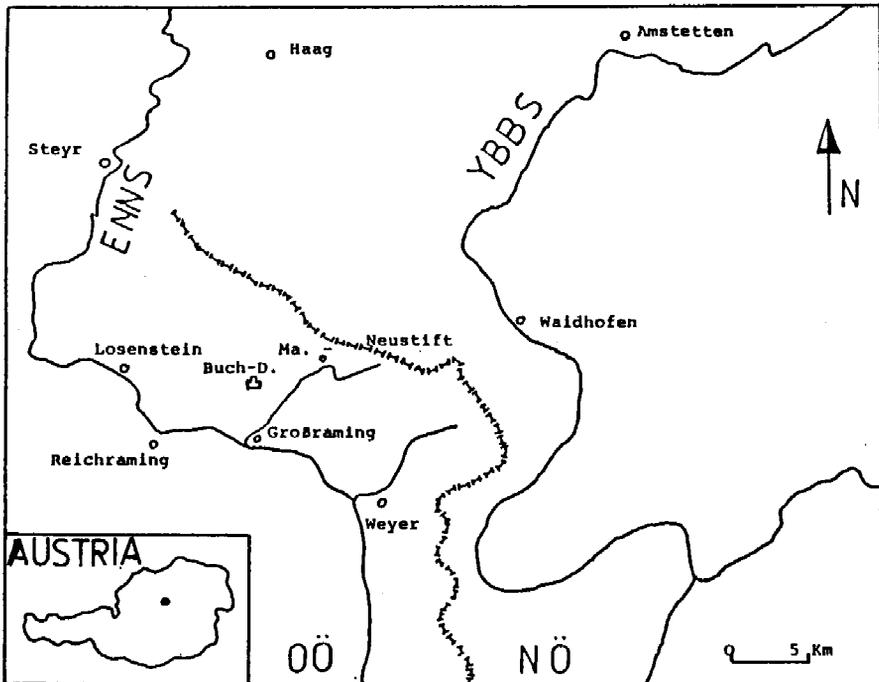


Abb. 2: Topographische Übersicht des Arbeitsgebietes.

Zahlreiche Kristallinfunde, die früher als Schürflinge interpretiert wurden, können heute durch eingehende fazielle Studien (A. BUTT, 1981; P. FAUPL, 1977, 1978) und durch rezente Beobachtungen (R. DÖTT, 1963; J. STANLEY & R. UNRUG, 1974) als sedimentäre Gerölle, Wildflyschkomponenten u. dgl. verstanden werden.

Ein wesentliches Hemmnis für die Interpretation des L. v. BUCH-Denkmal als Klastikakomponente bildete die Vorstellung, daß der Granit mit Grestener Schichten in transgressivem Kontakt stehe (G. GEYER, 1904, 1910; H. LÖGTERS, 1937 a, b etc.).

Unter diesen Gesichtspunkten wurde eine Neubearbeitung durchgeführt. Die Ergebnisse der feldgeologischen und mikropaläontologischen Untersuchungen ermöglichen eine neue Interpretation. Ein Vergleich des Buchdenkmalgranites mit den bemerkenswertesten Exotika des Pechgrabens gibt ein evident Argument für die analoge Interpretation.

2. Diskussion historischer Argumente zur Interpretation des Leopold von BUCH-Denkmal

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Arbeiten, die sich mit der Problematik der geologischen Interpretation des L. v. BUCH-Denkmal und äquivalenter exotischer Kristallinvorkommen im Pechgrabengebiet beschäftigen, diskutiert.

A. v. MORLOT (1847 a, b): Berichtet von exotischen Graniten im Pechgrabengebiet (Blindhofgranit), die zu einem sehr groben Konglomerat des Wiener Sandsteines gehören (1847 b, S. 161); unter Wiener Sandstein versteht A. v. MORLOT an dieser Stelle ein Äquivalent zum alttertiären Flysch. Die exotischen Gesteine sind keine erratischen Blöcke (l. c., S. 161). Erwähnt werden Granitblöcke, die gemeinsam mit einem Glaukonitsandstein beim Kohlenabbau in der Grossau gefunden wurden (l. c., S. 159 f.). Diese Beobachtung relativiert die Aussagen über große Granitgerölle in den Grestener Schichten. Die Erwähnung des Glaukonitsandsteines läßt eine Verschuppung von paläogener Buntmergelserie mit Grestener Schichten vermuten.

A. v. MORLOT gibt außerdem Hinweise auf den Fund eines Nummulitenkalkes aus dem Pechgraben (1847 a, S. 95) und zieht Vergleiche zwischen den exotischen Gesteinen vom Bolgen im Tal von Sonthofen/Bayern (l. c., S. 96). Hinsichtlich der zeitlichen Zuordnung der Exotika, die A. v. MORLOT als sedimentierte Gerölle auffaßt, läßt er die Frage des liassischen oder eozänen Alters offen (l. c., S. 105).

F. v. HAUER, 1858: Die Beobachtungen von MORLOT werden diskutiert. HAUER plädiert für eine eozäne Zuordnung. Ein Argument dafür sind die Nummulitenkalke, die „ . . . ganz nahe bei den Granitblöcken anstehen . . .“, als auch der Vergleich mit Sonthofen (l. c., S. 109). Von den Graniten wird eine petrographische Beschreibung gegeben (durch F. v. HOCHSTETTER) und ein erster Vergleich mit den moravischen Graniten vom Typ Meissau angestellt (S. 110).

F. v. HOCHSTETTER, 1870: Die Granitklippe des L. v. BUCH-Denkmal wird als Auftragung des Grundgebirges betrachtet, die von Grestener Schichten randlich bedeckt ist (S. 91).

E. TIETZE, 1885: Der Buchdenkmalgranit wird als Geröll interpretiert, das in liassische Schichten einsedimentiert wurde (S. 387). Außerdem wird auf die tektonische Verfrachtung der exotischen Blöcke, im Verband mit den Hüllgesteinen, hingewiesen (S. 389). Bewiesen konnte diese Feststellung für das Buchdenkmal nicht werden, doch folgerte TIETZE aus analogen Verhältnissen in Bayern und aus dem Karpatenraum.

C. DIENER, 1903: Die exotischen Gerölle des Pechgrabens werden als direkt anstehende Reste des kristallinen Basements aufgefaßt (S. 348).

G. GEYER, 1904: Gründlich fundierte Auseinandersetzung mit dem Problem der Exotika in den Externiden von Frankreich, Schweiz, Bayern, Österreich und den Karpaten. Vergleichende Diskussion mit den Vorkommen von Gschlieffgraben, Achtal, Hindelang, Bolgen/Bayern und dem Habkerntal/Bern.

Der Buchdenkmalgranit wird als südlichster Ausläufer der Böhmisches Masse interpretiert, der von den Grestener Schichten transgressiv überlagert wird. Diese Vorstellung geht nach G. GEYER auf E. v. MOJSISOVICS (1893, S. 14) zurück.

Allerdings lassen die in der Nähe des Granites von J. CZJZEK aufgefundenen Nummulitenschichten beim Autor leichte Zweifel an dieser Idee aufkommen (l. c., S. 383). G. GEYER gibt außerdem den Fund eines grünlichen Transgressionskonglomerates mit Granitkomponenten aus der unmittelbaren Umgebung des Denkmals an (l. c., S. 366). Für die Buntmergelserie wird neokomes Alter angenommen (S. 368; vgl. auch H. LÖGTERS, 1937 a, b).

F. TOULA, 1905: Die ausführliche Arbeit von G. GEYER (1904) über die Exotika ließ die Interpretation des L. v. BUCH-Denkmal in einem sehr populären Licht erscheinen. F. TOULA veröffentlichte daraufhin einen kurzen Passus, um in Erinnerung zu bringen, daß die Priorität dieser Feststellung seinem verehrten Lehrer F. v. HOCH-

STETTER (1870) gebührt und nicht E. v. MOJSISOVICS (1893), wie G. GEYER (1905, S. 366) meinte.

G. GEYER, 1910: In dieser Arbeit wird der Neufund eines Konglomerates erwähnt, das 200 m NE des L. v. BUCH-Denkmal einen Granituntergrund überkrustet (S. 45).

Durch die neuesten Aufnahmen (1985/86) konnte gezeigt werden, daß es sich hierbei um Eozänablagerungen handelt.

A. SPITZ, 1916: SPITZ ist KOBER-Schüler und in seinen Vorstellungen gegenüber dem eher antinappistisch denkenden G. GEYER weitaus mobiler. Das starke Absinken des Böhmisches Grundgebirges gegen Süden läßt ihm die Vorstellung von G. GEYER nicht plausibel erscheinen und er plädiert für die Interpretation des Buchdenkmalgranites als einen tektonischen *Schürfling* (S. 37). Damit offenbart sich das Dilemma dieser Auffassung, die ihren Ursprung in einem falschen tektonischen Konzept der Ostalpen hatte!

Nach diesem Konzept wurde die Grestener Klippenzone als tiefste ostalpine Schuppe angesehen (A. SPITZ, l. c., S. 93; KOBER, 1938, S. 125 ff.). Dieser Vorstellung zufolge schien eine Abscherung von granitischem Kristallin beim Deckenschub über die Zentralalpen eine befriedigende Interpretation zu bieten. Diese irrije Meinung über die tektonische Stellung der Klippenzone zu den Kalkalpen einerseits und zu der Flyschzone andererseits, die danach ja unter die Klippenzone nach Süden abtauchen sollte, hielt sich mehrere Jahrzehnte lang.

P. SOLOMONICA, 1933: Der Autor betont ausdrücklich, daß die Flyschzone mit deutlichem Südfallen der Klippenzone vorgelagert ist (l. c., S. 207). Diese Feststellung ist deshalb so interessant, weil gerade im Bereich nördlich des L. v. BUCH-Denkmal ein klares Bild des Abtauchens der Klippenzone nach Norden unter die Flyschzone gegeben ist. Lediglich weiter gegen Osten zeigt sich bisweilen eine Überkippung der Flyschzone gegen Süden und eine sekundäre Aufschuppung der Grestener Klippenzone.

Eine wichtige Feststellung ist jedoch die, daß der Buchdenkmalgranit wahrscheinlich nur eine Blockwerkseinstreuung der Flyschzone (= Buntmergelserie) darstellt, und nicht zum anstehenden Untergrund der Grestener Schichten zu zählen ist (S. 208). Die Flyschhülle (= Buntmergelserie) wurde wie bei G. GEYER (1904) als Neokom betrachtet (l. c.).

H. LÖGTERS, 1937 a: Die Arbeit dieses Autors, der ein Schüler von O. BRINKMANN war, stellt zweifellos einen großen Fortschritt für die tektonische Gliederung der Grestener Klippenzone dar.

Die entscheidenden Strukturen sind richtig gedeutet (mit Ausnahme der Randcenomanzone).

Das Gebiet östlich des Höhenberges (Hechenberg) wird in mehrere Ost-West streichende Schuppen zerlegt, die aus Grestener Schichten, Flysch und höherem Jura bestehen und zum Teil durch schmale Späne von Buntmergelserie (hier als Neokom bezeichnet) getrennt werden (S. 384). Die Annahme neokomen Alters für die Buntmergelserie geht bereits auf P. SOLOMONICA 1933 und G. GEYER 1904 (l. c.) zurück.

Den Großteil des Gebietes zwischen Höhenberg und Pechgraben nehmen nach LÖGTERS Grestener Schichten ein. Aufgrund der neuen Kartierung dieses Gebietes konnte durch Mikrofossilien für den überwiegenden Anteil dieser Abschnitte jedoch paläogenes Alter belegt werden. Der tektonischen Gliederung liegt die Annahme zugrunde, daß die Schuppen mit Grestener Schichten beginnen, an deren basalen Ab-

schnitt noch teilweise granitische Gesteine vom Typ des Buntmergelgranites zu beobachten (S. 398).

Diese Interpretation ist angesichts der nun durchgeführten mikropaläontologischen Einstufung nicht mehr haltbar.

H. LÖGTERS weist ausdrücklich auf das Anstehen der Granite hin (S. 395), und zeigt in seinen Profilen (Abb. 9, 10) die direkte Überlagerung durch Grestener Schichten an.

Diese Feststellung des direkten Verbandes konnte H. LÖGTERS bei allen im Pechgrabengebiet anstehend gefundenen Graniten (5) machen. Zwei Beispiele werden besonders hervorgehoben und in Spezialprofilen dargestellt. Das L. v. BUCH-Denkmal (Abb. 9): gerade bei diesem Granit ist die Überlagerung durch Grestener Schichten keineswegs durch Fossilbelege gesichert.

Die Interpretation dieser klassischen Lokalität, die uns hier ja besonders interessiert, wird lediglich durch Literaturzitate gestützt (S. 396). Eigenartig ist auch die Beobachtung von steilem W-Fallen der Buntmergelerde unmittelbar westlich und nördlich des BUCH-Denkmal (S. 397), wo doch auf seiner tektonischen Übersichtskarte generelles Ost-West-Streichen verzeichnet ist (Abb. 3, S. 384).

Tatsächlich ist an mehreren Aufschlüssen rund um das L. v. BUCH-Denkmal E-W bis ENE-WSW-Streichen meßbar. Damit ist allerdings nur eine Beobachtung bestätigt, die bereits F. ABERER (1951, S. 49) machen konnte.

Die Konsequenz der Lagerungsverhältnisse liegt auf der Hand: Der Granit des L. v. BUCH-Denkmal befindet sich in streichender Erstreckung der Buntmergelerde!

Im Detail läßt sich bei allen Schichten, die H. LÖGTERS den Grestener Schichten zugeordnet hat, und die unmittelbar die granitischen Exotika überlagern sollen, paläogenes, meist eozänes Alter nachweisen. Tertiäre Vorkommen sind nach H. LÖGTERS (1937 a, S. 403; 1937 b, S. 97) aus dem Pechgrabengebiet nicht bekannt.

Seit A. v. MORLOT (1847) und F. v. HAUER (1858) wissen wir allerdings bereits um das Auftreten von Nummulitenkalken aus dem Pechgraben, und P. FAUPL (1978) hat ja auch in neuerer Zeit darüber berichtet. Das Konradsheimer Konglomerat, das G. GEYER aufgrund von Nummulitenfunden richtigerweise in das Eozän einstuft, wurde von H. LÖGTERS für Cenoman gehalten (S. 403). Diese Disposition ist wichtig für das Verständnis seiner Arbeit.

F. ABERER, 1951: Auch diese Arbeit ist unter dem Gesichtspunkt zu verstehen, daß der Klippenzone eine höhere tektonische Position gegenüber der Flyschzone zukomme (vgl. A. SPITZ, 1916; P. SOLOMONICA, 1933). Die Granitfelsen im Pechgraben interpretierte F. ABERER im Sinne von H. LÖGTERS als „... bei der Faltung der Grestener Schichten, also durch einen tektonischen Vorgang vom kristallinen Untergrund abgehoben und emporgeschuppt...“ (S. 49).

Neben dieser Zuordnung der granitischen Gerölle, die eine offensichtliche Anlehnung an das überzeugende tektonische Konzept von H. LÖGTERS (1937 a, S. 384) darstellen, unterscheidet F. ABERER in dem von ihm weiter im Osten untersuchten Gebiet noch zwei weitere Typen exotischer Assoziationen: die in Gesellschaft mit den Grestener Schichten auftretenden Exotika, und solchen, die in roten und grauen Mergeln der oberkretazischen Klippenhülle (= Buntmergelerde) vorkommen (S. 59).

S. PREY, 1953: Diese Arbeit stellt eine gezielte Auseinandersetzung mit dem Problem der Scherlinge dar. In dieser Studie weist S. PREY auf das interessante Phänomen der ambivalenten Interpretation der Exotika hin, die oft nur aufgrund ihrer Sphärizität in Anwendung gebracht wird.

Nach S. PREY (S. 145) sollte die Zuordnung zu einem sedimentären Geröll oder zu einem Scherling nicht von der Gestalt der Blöcke abhängig gemacht werden. Er betont, daß es Willkür wäre „... dem einen oder anderen Block eine Sonderstellung als „Scherling“ gegenüber den sedimentären Komponenten einräumen zu wollen“ (S. 144).

G. ROSENBERG, 1955: berichtet über das Anstehen von Buntmergelserie cenomanen und turonen Alters aus dem Bachlauf unmittelbar N des L. v. BUCH-Denkmal (S. 147).

P. FAUPL, 1972: Diese Studie gibt einen ersten genauen petrographischen Überblick vom Granit des L. v. BUCH-Denkmal und weist darauf hin, daß eine starke lithologische Affinität zu moravischen Granitoiden bestehe (S. 4; vgl. F. v. HAUER 1858, S. 110).

P. FAUPL, 1978: Aus dem Pechgrabengebiet werden Brekzien und Konglomerate untereoazänen Alters angegeben (S. 17 ff., S. 20 ff.), die auch Kristallin vom Typus des Buchdenkmalgranites führen.

S. PREY, 1980: „... Als echten Scherling wird man vermutlich den vergneisten Granit des L. v. BUCH-Denkmal bei Großraming nennen können...“ (S. 198), von dem man annimmt, daß er mit Grestener Schichten verbunden ist (S. 206). In der Darstellung in Profil 4 (S. 203) (von W. SCHNABEL, 1978; cit. in: R. OBERHAUSER, 1980) wird der Granit jedoch als frei in der Buntmergelserie schwimmend gezeichnet, womit sich der Autor offensichtlich von der Interpretation im Sinne von H. LÖGTERS, 1937 distanzieren möchte. In diesem Profil findet außerdem die Bohrung Kürnberg Eingang, die deutlich zeigt, daß die Flyschzone auf Buntmergelserie des Ultrahelvetikums auflagert, und damit anschaulich die Vorstellung von A. SPITZ 1916, P. SOLOMONICA 1933 und F. ABERER 1951 widerlegt.

W. SCHNABEL, 1980: Der Granit des L. v. BUCH-Denkmal wird konsensgemäß als ein Schürfling der kristallinen Basis der Grestener Schichten vorgestellt (S. 159), wobei im Sinne von P. FAUPL (1972, S. 4) eine Mindestdislokation im Ausmaß von 40 km von Süden gegen Norden angenommen wird. Jedenfalls stellt diese Interpretation eine deutliche Modifikation der Schürflingstheorie im Sinne von F. ABERER 1951 und A. SPITZ 1916 dar, die offensichtlich an eine Abscherung eines wesentlich weiter südlich gelegenen Grundgebirges dachten, da sie ja über die tektonische Stellung der Grestener Klippenzone noch eine gänzlich andere Vorstellung vertraten (s. l. c.).

3. Diskussion mikropaläontologischer und feldgeologischer Untersuchungen

3.1. Allgemeine Bemerkungen

Für die stratigraphische Gliederung in den terrigen beeinflussten Sedimenten der Buntmergelserie ist die Untersuchung der Mikro- und Nannofossilien von entscheidender Bedeutung. Häufig sind die Sedimente der Buntmergelserie im unmittelbaren Bereich der Exotika siltig sandig, zum Teil überwiegend tonig ausgebildet. Aus solchen Abschnitten sind nur wenige Nannopräparate auswertbar.

Die Schlammproben sind durchwegs als fossilreich zu bezeichnen (5–30 Vol.% des Schlammrückstandes).

Sandschalerfaunen überwiegen. Plankton ist in den meisten Proben vorhanden, allerdings mit stark wechselnder Quantität.

Überwiegend ist U-M eozänes Alter festzustellen. Das gilt jedoch nur für die Proben, die im Zusammenhang mit den Exotika genommen wurden. Eine Ausnahme bildet das Vorkommen von Buntmergelserie cenomanen und oberkretazischen Alters unmittelbar nördlich und westlich des L. v. BUCH-Denkmal (vgl. G. ROSENBERG, 1955, S. 147; W. SCHNABEL, 1971, A79). Dieses Vorkommen ist jedoch flächenmäßig nur von geringer Bedeutung. Umgeben werden diese älteren Mergel allseits von paläogenen Sedimenten.

Die Deutung dieser kretazischen Buntmergelserie als olistolithisches Komponenten wäre eine mögliche Interpretation.

Zu den Exotika ist zu sagen, daß sie sich am ehesten mit der Schaittener Fazies im Sinne von P. FAUPL (1978, S. 22 ff.) vergleichen lassen. Typisch ist die Geländesituation der Blöcke, die im allgemeinen nur isoliert und ausgewittert aufzufinden sind. Darauf weist bereits S. PREY (1953, S. 141) hin, und auch G. FRASL (1982, S. 68) sieht den Grund dafür in der bereits primär fehlenden Matrix der recht ähnlichen Exotikavorkommen vom Haunsberg/Szbg.

Als sedimentäres Environment ist für das grobe Blockmaterial ein submariner Rinnebereich (Canyon) vorstellbar, wie dies für vergleichbare Vorkommen in der Literatur bereits festgestellt worden ist (A. BUTT, 1981, S. 27 f.; P. FAUPL, 1978, S. 34; G. FRASL, 1984, S. 48).

Für Blöcke vom Ausmaß des „Dichlbergergranites“ und des Buchdenkmalgranites ist durchaus an submarine Felsstürze zu denken, die mit der erhöhten Krustenmobilität während der Kollision der ostalpinen Platten mit dem Helvetikum (s. l.) im Eozän in kausale Beziehung zu bringen sind (A. BUTT, 1981, S. 24).

3.2. Mikropaläontologische Auswertung relevanter Proben

Die topographische Position der im folgenden besprochenen Proben findet sich auf Abb. 4.

3.2.1. Umgebung des L. v. BUCH-Denkmal

Probe 1 a: Buntmergelserie, graublau, künstlicher Aufschluß, Tiefe 1,10 m, 40 m südlich L. v. BUCH-Denkmal.

Fauna: Seeigelstacheln
 Fischzähnen
Ammodiscus cretaceus REUSS
Ammodiscus sp.
Bathysiphon sp.
Dendrophyra sp.
Dorothia oxycona (REUSS)
Glomospira charoides (JONES & PARKER)
Glomospira charoides corona CUSHMAN & JARVIS
Glomospira cf. *gordialis* (JONES & PARKER)
Gaudryinella sp.
Haplophragmoides sp.
Heterohelix sp.
Reophax cf. *diffflugiformis* BRADY

Reophax duplex GRZYBOWSKI
Recurvoides sp.
Saccammina placenta (GRZYBOWSKI)
Spiroplectammina cf. *carinata* (d'ORBIGNY)
Spiroplectammina navarroana CUSHMAN
Textulariella sp.
Tritaxia sp.
Trochamminoides cf. *conglobatus* (BRADY)

PLANKTON:
Globigerina linaperta FINLAY
Globigerina cf. *triloculinooides* PLUMMER
Globigerina sp.
Globigerina cf. *eocaena* GUEMBEL
Morozovella sp.

Alter: (M-) Eozän.

Probe 182: Buntmergelserie, graue gefleckte Kalkmergel, im Steinbauergraben 50 m nördlich L. v. BUCH-Denkmal, anstehend.

Fauna: diverse *Rotalipora*, u. a. *Rotalipora oppenninica* (RENZ), *Rotalipora reicheli* MORNOD.
 Alter: Cenoman.

Probe 183: Buntmergelserie, blaugrau, Steinbauergraben, 100 m nordöstlich L. v. BUCH-Denkmal.

Fauna: großwüchsige Sandschaler, mehr als 50 % der Individuen entfallen auf *Bathysiphon* und *Rhabdammina*; Fischzähne, Seeigelstacheln
Ammosphaeroidina pauciloculata MJATLIUK
Bathysiphon sp.
Dendrophyra sp.
Dorothia oxycona (REUSS)
Glomospira charoides (JONES & PARKER)
Glomospira gordialis (JONES & PARKER)
Gyroidina sp.
Haplophragmoides sp.
Hormosina ovulum (GRZYBOWSKI)
Nodellum velascoensis (CUSHMAN)
Recurvoides sp.
Reophax sp.
Rzehakina epigona (RZEHAK)
Saccammina sp.
Soiroplectammina cf. *lanceolata* HUSS
Spiroplectammina navarroana CUSHMAN
Trochammina ex. gr. *globigeriniformis* PARKER & JONES
 Aufgearbeitete Oberkreide: Globotruncanen, Hedbergellen,
Reussella szajnochae (GRZYBOWSKI)

Alter: Paleozän-(U-)Eozän

Probe 188 a: Buntmergelserie, graugrün, 150 m südwestlich L. v. BUCH-Denkmal, künstlicher Aufschluß.

Fauna: ca. 80 % Plankton
Ammodiscus sp.
Glomospira charoides (JONES & PARKER)
Hormosina ovulum (GRZYBOWSKI)
Spiroplectammina sp.

PLANKTON:
Globigerina linaperta FINLAY
Globigerina sp.
Morozovella sp.

Alter: (M-O-) Eozän

Probe 284: Buntmergelserie, graugrün, 200 m nordwestlich Gratschen, künstlicher Aufschluß.

Fauna: Großwüchsige Sandschaler
 Alter: Paläogen

Probe 285 a: Buntmergelserie, graugrün, 100 m westlich Gratschen

Fauna: Großwüchsige Sandschaler, Fischzähnnchen, wenig Plankton.
 Alter: M. Eozän

3.2.2. Top und Basis des Dichlbergergranites

Probe 96: Buntmergelserie, grau, 250 m südöstlich Waldbauer/Pechgraben, Basis der Exotika

Fauna: Sandschaler, wenig Plankton, Glaukonitsteinkerne von kleinen Gastropoden, Schwammnadeln.

Ammobaculites sp.
Ammodiscus cf. *gaultinus* BERTHELIN
Ammodiscus sp.
Bathysiphon sp.
Dorothia oxycona (REUSS)
Gaudryinella sp.
Glomospira charoides (JONES & PARKER)
Glomospira sp.
Hormosina ovulum (GRZYBOWSKI)
Nodellum velascoensis (CUSHMAN)
Paratrochamminoides sp.
Recurvoides ex. gr. *walteri* GRZYBOWSKI
Reophax sp.
Rhabdammina sp.
Rzehakina epigona (RZEHAKE)
Saccammina placenta (GRZYBOWSKI)
Tritaxia sp.

PLANKTON:
Globigerina ex. gr. *eocaena* GUEMBEL
Globigerina cf. *triloculinoides* PLUMMER
Globorotalia sp.
Morozovella sp.

Alter: (M) Eozän

Die Sandschalerfaunenassoziation alleine wäre kein zwingender Hinweis für Eozän, spricht aber sehr wohl für Paläogen: *Hormosina ovulum* GRZYBOWSKI findet sich auch in der Oberkreide des Flysch und Helvetikum (R. NOTH, 1951, Taf. 6) und im Paleozänflysch der West-Karpaten (J. SALAJ & O. SAMUEL, 1966, S. 50).

Glomospira charoides corona CUSHMAN & JARVIS beschreibt L. MARTIN (1964, S. 46) auch aus der Oberkreide von Trinidad.

Nodellum velascoensis (CUSHMAN) ist ebenfalls aus der Oberkreide bekannt (R. NOTH, 1951, S. 26), wird aber häufig auch aus dem Paleozän der Karpaten beschrieben (O. SAMUEL & J. SALAJ, 1968, S. 30, 42).

Probe 277 a: Buntmergelserie, grünblau, 250 m südöstlich Waldbauer, Basis der Exotika.

Fauna: Großwüchsige Sandschaler, sehr gute Erhaltung.

Fischzähnen

Ammodiscus sp.

Bathysiphon sp.

Glomospira charoides (JONES & PARKER)

Glomospira charoides corona CUSHMAN & JARVIS

Glomospira cf. *gordialis* (JONES & PARKER)

Haplophragmoides sp.

Hormosina ovulum (GRZYBOWSKI)

Nodellum velascoensis (CUSHMAN)

Rzehakina complanata (GRZYBOWSKI)

Rzehakina epigona (RZEHA)

Recurvodes cf. *globulosus* (GRZYBOWSKI)

Reophax duplex GRZYBOWSKI

Saccamina cf. *placenta* (GRZYBOWSKI)

Spiroplectamina sp.

Trochammina cf. *globigeriniformis* (PARKER & JONES)

Trochamminoides sp.

PLANKTON:

Globigerina linaperta FINLAY

Globigerina cf. *triloculinoides* PLUMMER

Alter: Eozän

Probe 277: Buntmergelserie, blaugrau, 250 m östlich Waldbauer, Top der Exotika

Fauna: *Ammodiscus* cf. *cretaceus* REUSS

Bathysiphon sp.

Entosolenia sp.

Gaudryina sp.

Glomospira charoides (JONES & PARKER)

Glomospira cf. *charoides* (JONES & PARKER)

Haplophragmoides sp.

Lenticulina sp.

Nodosaria div. spec.

Nodosarella sp.

Recurvodes sp.

Reophax cf. *diffflugiformis* BRADY

Rhabdammina sp.

Tritaxia sp.

PLANKTON:

Globigerina linaperta FINLAY

Globigerina sp.

Globorotalia sp.

Morozovella subbotinae (MOROZOVA)

Morozovella sp.

Alter: (U-M-) Eozän.

3.2.3. Basis des Wiesenbauergranites

Probe 199: Buntmergelserie, grau, 170 m südöstlich Wiesenbauer, Pechgraben

Fauna: Sandschaler, arm, schlecht erhalten

Bathysiphon sp.

Glomospira gordialis (JONES & PARKER)

Hormosira ovulum (GRZYBOWSKI)

Recurvoides cf. *globulosus* (GRZYBOWSKI)

Rhabdammina sp.

Saccamina sp.

PLANKTON:

Aufgearbeitete Oberkreide: Globotruncanen, Globorotalien

Alter: Oberkreide-Eozän

Aufgrund von Faunenvergleichen wird paläogenes Alter angenommen (L. MARTIN, 1964; O. SAMUEL & J. SALAJ, 1968).

3.2.4. Umgebung des Blindhofgranites

Probe 207: Buntmergelserie, grau und rot, 250 m südwestlich Blindhof, Hüllgestein von Granit (208).

Fauna: *Ammodiscus* sp.

Bathysiphon sp.

Dorothia sp.

Entosolenia orbignyana (SEGUENZA)

Glomospira cf. *gordialis* (JONES & PARKER)

Gyroldina

Osangularia cf. *velascoensis* (CUSHMAN)

Ovuloides sp.

Recurvoides sp.

Rotaliida div. spec.

Saccamina sp.

PLANKTON:

Globigerina eocaena GUEMBEL

Globigerina linaperta FINLAY

Globigerina cf. *triloculinoides* PLUMMER

Globigerina sp.

Globorotalia div. spec.

Alter: (M-)Eozän.

Probe 205: Blindhofeozän, 150 m südlich Blindhof/Pechgraben, 150 m nordöstlich Blindhofgranit (208), (s. Abb. 8).

Von P. FAUPL wurde dieses Vorkommen als Biogen-Kalkrudit und Kalkarenit bezeichnet (1978, S. 20 f.).

Fauna: Großforaminiferen, u. a. *Assilina laxispira* (DE LA HARPE), glaukonitisierte Steinkerne kleiner Gastropoden etc. div. Lageniden und Globigerinen finden sich in zwischengeschlatteten grauen Mergeln, u. a. *Globigerina linaperta* FINLAY.

Alter: (U-M ?)-Eozän.

3.3. Tektonik

Im Pechgrabengebiet zeigt die Grestener Klippenzone einen N–NW vergentem Schuppenbau. Das tiefste Element bildet die Moosbodeneinheit. Sie ist steilstehend, streicht Ost–West und zeigt intensive Deformation. Mitunter sind Flysch und Klippenspäne eingeschuppt. Von einem Schuppenbau im Sinne von H. LÖGTERS (1937) kann jedoch keine Rede sein.

Eine genaue Aussage über den Modus der Platznahme dieser fremden Schichtglieder kann noch nicht gemacht werden. Zum Teil sprechen Argumente für Gleittektonik im Paläogen.

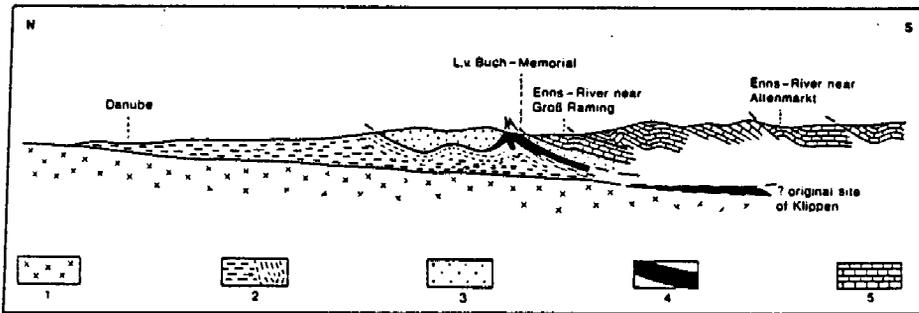


Abb. 3: Schnitt durch den nördlichen Teil der Ostalpen im Meridian des L. v. BUCH-Denkmal. 1 = Kristallingesteine der Böhmisches Masse; 2 = Molassezone, ungefalted/gefaltet; 3 = Flyschzone, 4 = Grestener Klippenzone, 5 = Nördliche Kalkalpen (nach W. SCHNABEL, 1980, S. 159).

Die nächsthöhere Einheit bildet die Höhenbergschuppe (n. n.). Diese Schuppe überlagert die Moosbodeneinheit im Osten mit Nordwestvergenz mittelsteil, im Süden mit Nordvergenz steil.

Der stratigraphische Umfang reicht von Lias – Neokom.

Die Grestener Klippenzone bildet im Pechgrabengebiet eine aufgewölbte Schuppenzone, die im Norden unter die Flyschzone, im Süden unter die Randcenomanzone abtaucht. Trennendes Element zwischen allen tektonischen Einheiten ist die Buntmergelserie.

3.4. Ausgewählte Exotika

Einen Überblick der regionalen Verbreitung der Exotika gibt Abbildung 4.

3.4.1. Granit des L. v. BUCH-Denkmal (1)

Allgemeine Bemerkungen: Dieser Granit stellt den größten bekannten Kristallblock der Grestener Klippenzone dar.

Die oberflächlich freiliegende Kalotte hat einen maximalen Durchmesser von ca. 20 m. Um die Hauptmasse gruppieren sich zahlreiche kleinere Blöcke, die nach Norden hin bis in den Steinbauergraben hinab verstreut sind. Das Grundstück des Denkmals gehörte früher zum Gehöft des Holzbauer. Das unmittelbar südlich an den Gra-

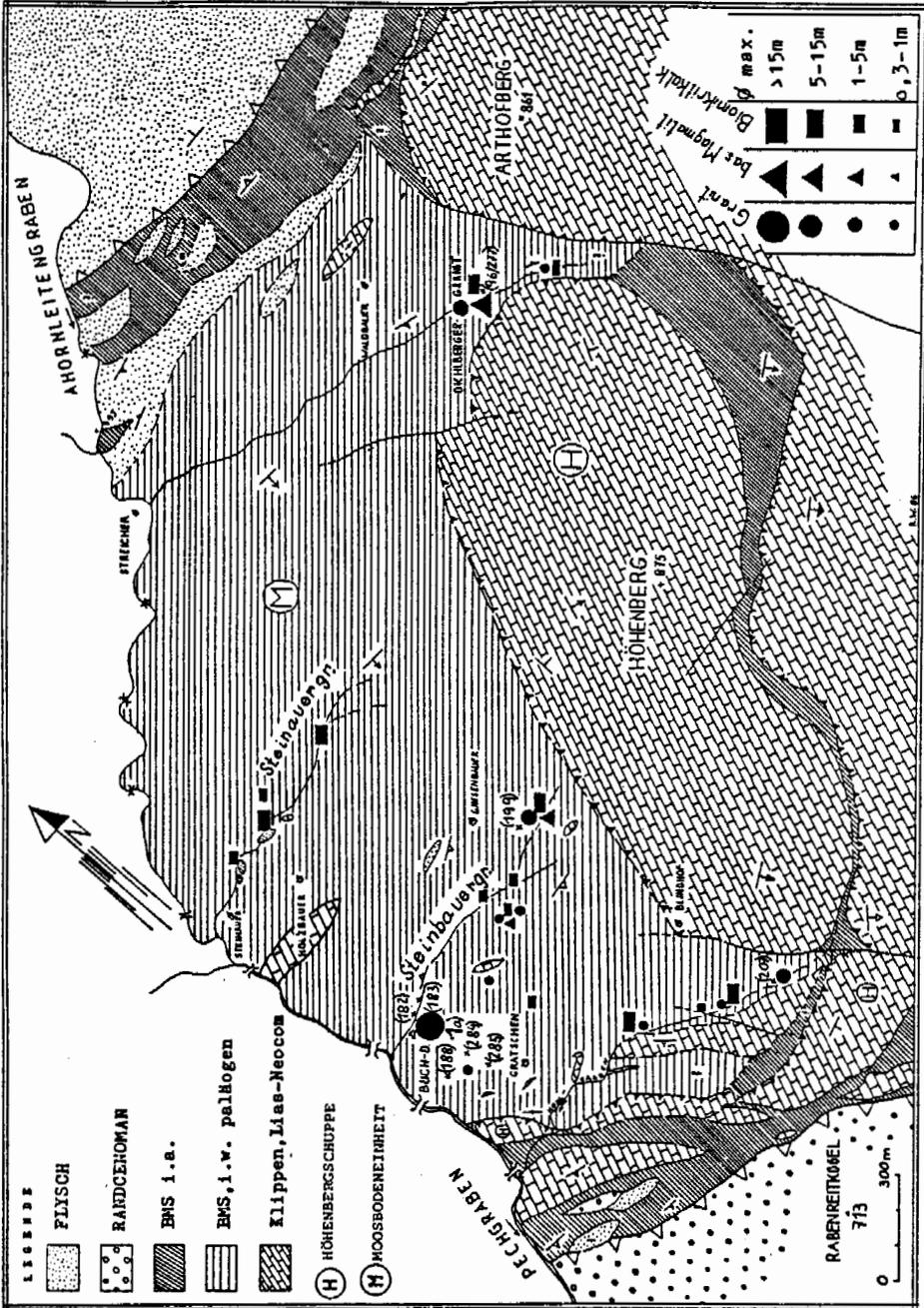


Abb. 4: Tektonische Übersicht des Pechgrabengebietes mit der Verbreitung der exotischen Gerölle.

nit angrenzende Wiesengelände ist im Besitz vom Gehöft Mair/Pechgraben, 200 m SW des L. v. BUCH-Denkmal.

In den 60-er Jahren wurde dieses Wiesengelände drainagiert, wobei einige Granitblöcke zum Vorschein kamen, die sich in einem blauen „Schlier“ (= Buntmergelse-rie) befanden. Bei dem in späteren Jahren durchgeführten Straßenbau wurden im Bereich zwischen Gratschen und L. v. BUCH-Denkmal ebenfalls Granitblöcke zutage gefördert (pers. Mitt. des Grundstückbesitzers).

Diese Aussagen stimmen mit eigenen Beobachtungen überein; durch einen künstl. Aufschluß konnte 40 m südlich des L. v. BUCH-Denkmal aus 1,10 m Tiefe eine relativ frische Probe graublauen Tonmergels geborgen werden. Alter: Eozän (Probe 1a).

Damit ist nun auch an der klassischen Lokalität der Pechgrabenexotika das liassische Alter und damit auch die Theorie der vielzitierten „transgressiven Überlagerung von Grestener Schichten auf Granit“ im Sinne von F. v. HOCHSTETTER 1870 a, G. GEYER 1910, H. LÖGTERS 1937 u. a. widerlegt.

Besondere Hinweise: Lithologie: Granit-Granodioritgneis; Petrographie: siehe P. FAUPL, 1972; Hüllgesteinsalter: Paleozän–Eozän; Buntmergelse-rie Proben (1 a, 182, 183, 188a, 284, 285a).

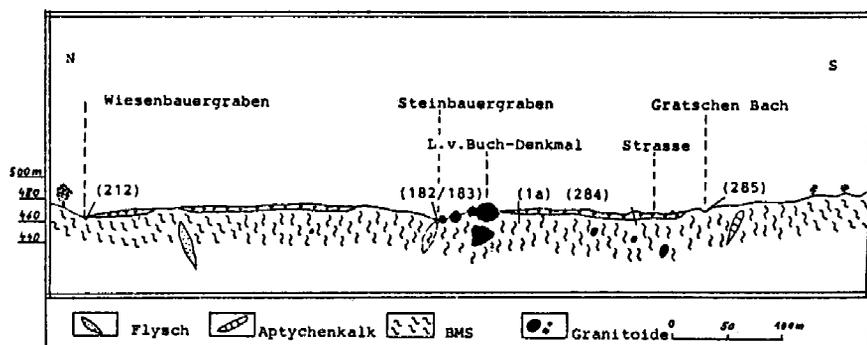


Abb. 5: N–S Schnitt durch das L. v. BUCH-Denkmal.

3.4.2. Dichlbergergranit (94)

Lokalität: 250 m SE Waldbauer, Pechgraben, OÖ. (s. Abb. 6).

Lithologie: Grobkörniger Granit-Granodiorit, Typ Buch-Granit, nicht geschiefert.

Hüllgesteinsalter: Eozän.

Buntmergelse-rie Proben: (96, 277, 277a); Blockgröße: $\phi > 4$ m.

3.4.3. Wiesenbauergranit (198)

Lokalität: 170 m SE Wiesenbauer, Pechgraben, OÖ.

Lithologie: Grobkörniger Granodioritgneis, schwach verschiefert, Typ Buch-Granit.

Hüllgesteinsalter: Paläogen

Buntmergelse-rie Proben: (199); Blockgröße: $\phi > 1,5$ m.

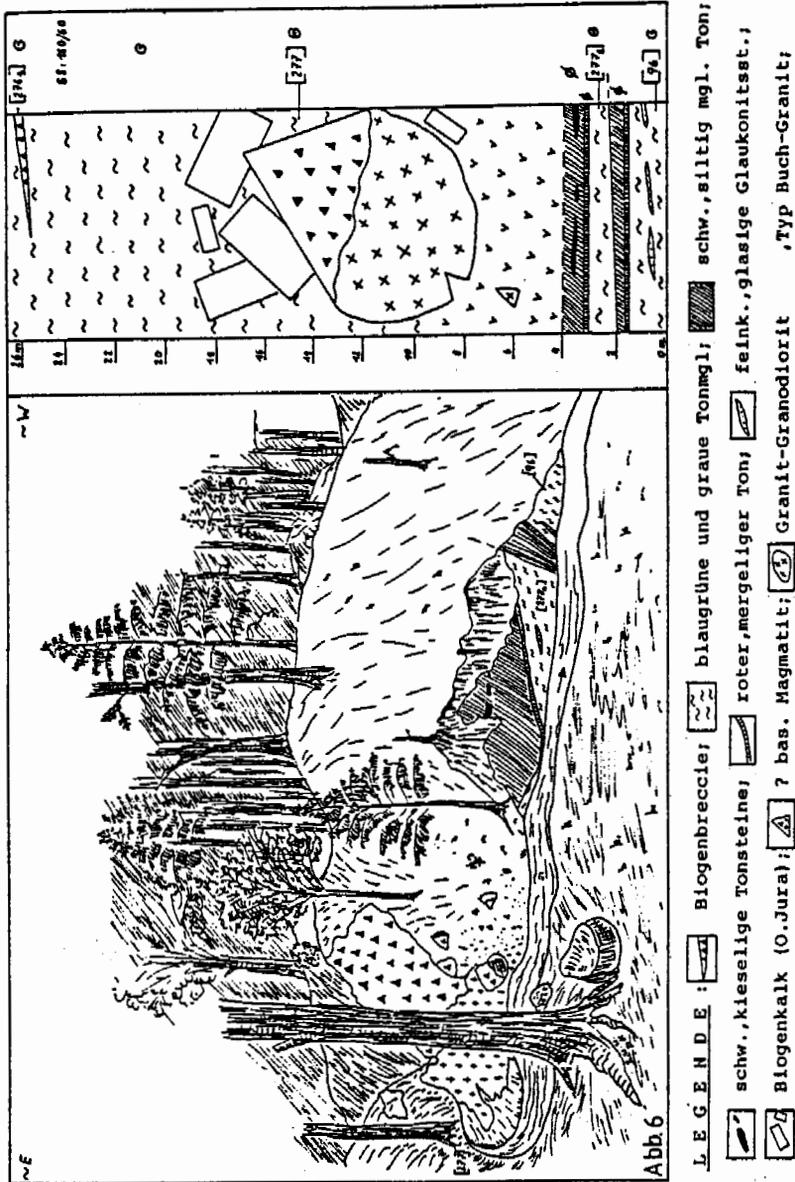


Abb. 6: Ansicht der Exotika im Dichtberger-Waldgraben, 250 m SE Waldbauer, Pechgraben, OÖ.

3.4.4. Blindhofgranit (208)

Lokalität: 250 m SW Blindhof, Kohlgraben, Pechgraben, OÖ.
 Lithologie: Grobkörniger Granit-Granodiorit, geringe Deformation.
 Hüllgesteinsalter: (M-)Eozän
 Buntmergelserie Probe (207); Blockgröße: $\phi > 1,5$ m.

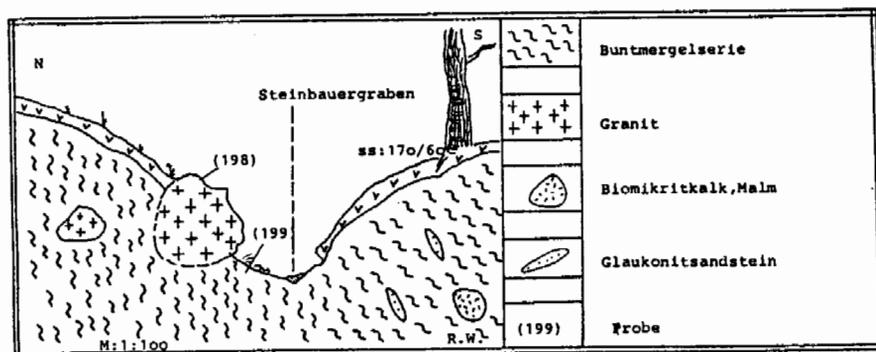


Abb. 7: Profil durch den Wiesenbauergranit, 170 m SE Wiesenbauer, Pechgraben, OÖ.

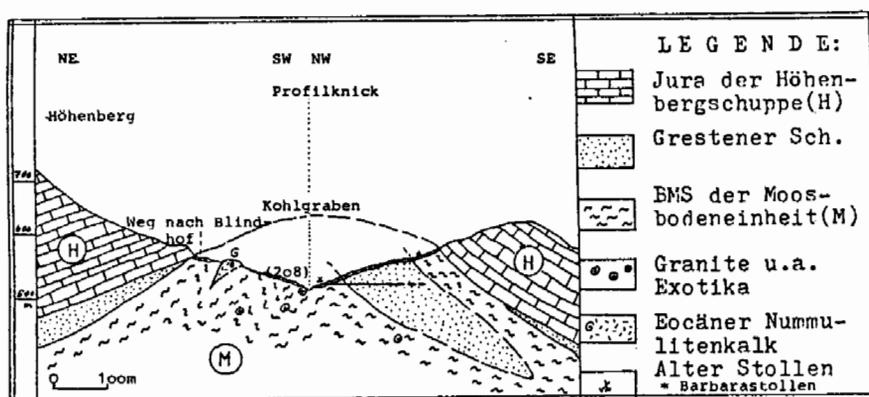


Abb. 8: Profil durch den Blindhofgranit im Kohlgraben, 250 m SW Blindhof/Pechgraben, OÖ.

4. Literatur

- ABERER, F.: Beiträge zur Stratigraphie und Tektonik der Randzonen der nördlichen Kalkalpen zwischen Neustift und Konradshaim. – Mitt. Geol. Ges. Wien, 39–41 (1946–1948), 1–73, 3 Taf., Wien 1951.
- BOLLI, H. M. et al. (ed.): *Plankton Stratigraphy*. – VIII, 1032 pp., 502 figs., Camb. Earth Sci. Series, Cambridge 1985.
- BUTT, A.: Depositional Environments of the Upper Cretaceous rocks in the northern part of the Eastern Alps. – *Cush. Found. For. Res., Spec. Publ.*, 20, 121 pp., 20 pls., 33 figs., 9 tables, Washington 1981.
- DIENER, C.: Die nordalpine Flyschzone. – [in:] *Bau und Bild Österreichs* (Diener C. et al., Hrsg.). – 1110 S., 250 Abb., 4 Titelb., 8 Kt., Wien (Tempus-Freytag).
- DOTT, R. H., Jr.: Dynamics of subaqueous gravity depositional processes. – *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 47, 104–128, Tulsa 1963.

- FAUPL, P.: Der Granit des Leopold von Buch-Denkmales. — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 109(1972), 158–164, Wien 1973.
- Untersuchungen an terrigenen Gesteinen der paläogenen Buntmergelserie der östlichen Ostalpen (Vorbericht). — Verh. Geol. B.-A., 1977, 13–15, Wien 1977.
 - Faziestypen der paläogenen Buntmergelserie der östlichen Ostalpen. — Mitt. österr. Geol. Ges. Wien, 68 (1975), 13–38, 10 Abb., 5 Tab., Wien 1978.
- FRASL, G.: Zur Verbreitung der tonalitisch-quarzdioritischen Blöcke vom Typus Schaitten am Nordrand der Ostalpen (Beitrag zur Kenntnis des versenkten helvetischen Kristallins). — Mitt. österr. Geol. Ges., 71/72, 323–334, Wien 1980 a.
- Die Suche nach Vulkaniten im Flysch von Salzburg und Oberösterreich insb. im Haunsberggebiet. — Jber. 1979, Hochschulschwerpkt. S 15, 68–74, Leoben 1980 b.
 - Zur Stellung der basischen Vulkanitblöcke vom Haunsberg (Salzburg) im Grenzbe-
reich Rhenodanubischer Flysch/Buntmergelserie. — Jber. 1981, Hochschulschwer-
pkt. S 15, 61–70, Leoben 1982.
 - Die ursprüngliche Basis von Flysch und Ultrahelvetikum in der Umgebung von
Salzburg. — Jber. 1983, Hochschulschwerpkt. S 15, 37–65, Leoben 1984.
 - & KIRCHNER, E. Ch.: Frühalpine basische und ultrabasische Eruptiva aus den
Nördlichen Kalkalpen und dem Raum Helvetikum–Klippenzone. — Jber. 1980,
Hochschulschwerpkt. S 15, 81–90, Leoben 1981.
- GEYER, G.: Über die Granitklippe mit dem Leopold von Buch-Denkmal im Pechgra-
ben bei Weyer. — Verh. Geol. B.-A., 1904, 363–390, Wien 1904.
- Über Schichtfolge und den Bau der Kalkalpen im unteren Enns- und Ybbstale. —
Jb. Geol. R.-A., 59, 29–100, Wien 1910.
- GÖTZINGER, G. & EXNER, CH.: Kristallingerölle und -scherlinge des Wienerwald-
flysches und der Molasse südlich der Donau. — [in:] Skizzen zum Antlitz der Er-
de, 81–106 (Hollinek) Wien 1953.
- HAGN, H.: Die stratigraphischen, paläogeographischen und tektonischen Bezieh-
ungen zwischen Molasse und Helvetikum im östlichen Oberbayern. — Geol. Bavarica,
44, 3–208, München 1960.
- HARTL, H.: Das Konglomerat von Konradsheim. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 1/
3, 31–33, Wien 1949.
- HAUER, F. v.: Über die Eocängebilde im Erzherzogtum Österreich und in Salzburg.
— Jb. Geol. R.-A., 9, 103–137, 10 Abb., Wien 1858.
- & HÖRNES, M.: Das Buch-Denkmal. — 34 S., 3 Abb. (Zamarski), Wien 1858.
- HOCHSTETTER, F. v.: Bericht über die Excursion der Ingenieur Schule etc. (un-
publ.). — Verh. Geol. R.-A., 1870, S. 91, Wien 1870.
- KOBER, L.: Der geologische Aufbau Österreichs. — 204 S., 20 Abb., 1 Taf. (Sprin-
ger), Wien 1938.
- LÖGTERS, H.: Zur Geologie der Weyerer Bögen, insbesondere der Umgebung des
Leopold von Buch-Denkmales. — Jb. Oberösterr. Musealver., 87, 371–437, 15
Abb., 1 geol. Kte., Linz 1937 a.
- Oberkreide und Tektonik in den Kalkalpen der unteren Enns (Weyerer Bögen —
Buch-Denkmal). — Mitt. Geol. Staatsinst. Hamb., 16, 86–116, 5 Abb., 12 Prof.,
1 geol. Kt., Hamburg 1937 b.
- MARTIN, L.: Upper Cretaceous and Lower Tertiary Foraminifera from Fresno
County, California. — Jb. Geol. B.-A., 1964, Sdb. 9, 128 S., 4 Abb., 16 Taf., 13
Beil., Wien 1964.

- MOJSISOVICS, E. v.: Aufnahmsbericht über die nordalpine Flyschzone. – Verh. Geol. R.-A., 1893, 13–14, Wien 1893.
- MORLOT, A. v.: Erläuterungen zur geologischen Übersichtskarte der nordöstlichen Alpen. – 212 S. (Braumüller), Wien 1847 a.
- Mitteilung über die Gegend von Grossau und vom Pechgraben etc. – [in:] W. HAIDINGER (Hrsg.): Ber. Mitt. Freunde d. Naturwiss., 2(1846), 157–163, Wien 1847 b.
- NOTH, R.: Foraminiferen aus Unter- und Oberkreide des österreichischen Anteils an Flysch, Helvetikum und Vorlandvorkommen. – Jb. Geol. B.-A., 1951, Sdb. 3, 41 S., 9 Taf., 2 Tab., Wien 1951.
- PREY, S.: Streiflichter zum Problem der „Scherlinge“ in der Flyschzone. – Verh. Geol. B.-A., 1953, 138–145, 1 Abb., Wien 1953.
- Helvetikum, Flysche und Klippenzonen von Salzburg bis Wien. – [in:] R. OBERHAUSER (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs, XIX, 699 S., 164 Abb., 2 Kten. (Springer), Wien 1980.
- ROSENBERG, G.: Einige Beobachtungen im Nordteil der Weyerer Struktur (Nördliche Kalkalpen und Klippenzone). – Sitzungsber. österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Abt. I, 164, 145–161, 1 Abb., Wien 1955.
- SALAJ, J. & SAMUEL, O.: Foraminifera der Westkarpaten Kreide. – 291 S., 18 Abb., 48 Taf., 37 Tab., Bratislava 1966.
- SAMUEL, O. & SALAJ, J.: Microbiostratigraphy and Foraminifera of the Slovak Carpathian Paleogene. 232 S., 51 Abb., 31 Taf., 30 Tab., Bratislava 1968.
- SCHNABEL, W.: Zur Geologie des Kalkalpennordrandes in der Umgebung von Waidhofen/Ybbs, Niederösterreich. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 19, 131–189, 2 Taf., 2 Tab., Wien 1970.
- Bericht 1970 über geologische Aufnahmen auf Blatt Großraming (69). – Verh. Geol. B.-A., 1971, A79, Wien 1971.
- Leopold v. Buch Memorial. – [in:] A. MATURA & H. SUMMESBERGER: Geology of the Eastern Alps (A Review). – Abh. Geol. B.-A., 26e C.G.I., 34, 103–170, Wien 1980.
- SOLOMONICA, P.: Geologische Untersuchungen im Gebiete des Buch-Denkmal. – Mitt. Geol. Ges. Wien, 26, 207–211, Wien 1933.
- SPITZ, A.: Tektonische Phasen in den Kalkalpen der unteren Enns. – Verh. Geol. B.-A., 1916, 88–93, Wien 1916.
- STANLEY, S. D. & UNRUG, R.: Moderne Flysch sedimentation in a Mediterranean Island Arc setting. – [in:] R. H. DOTY & R. H. SHAVER (eds.): Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. – Soc. Econ. Paleontolog. and Mineralog. Spec. Publ., 19, 240–259, Tulsa 1974.
- TIETZE, E.: Zur Frage der exotischen Blöcke in den Karpathen. – Verh. Geol. R.-A., 16/17, 379–390, Wien 1885.
- TOULA, F.: Über die Granitklippe mit dem Leopold von Buch-Denkmal im Pechgraben bei Weyer. – Verh. Geol. R.-A., 4, 89–90, Wien 1905.

Manuskript eingelangt am 29. Juli 1986

angenommen am 4. August 1986

ZUSAMMENFASSUNGEN
der bis Ende des Sommersemesters 1986 approbierten Dissertationen
am Institut für Geologie der Universität Wien

MARSCH, Friedrich: Geologische und geotechnische Bearbeitung der Nördlichen Kreuzeckgruppe (Frässtollen Wöllabachbeileitung) mit besonderer Berücksichtigung der Störungszonen.

Begutachter: FRANK, RIEDMÜLLER

Promoviert am 14. Jänner 1986

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer Kartierung des mittleren Mölltales/Kärnten sowie einer detaillierten Stollenaufnahme in der Nördlichen Kreuzeckgruppe. Die Untersuchungen erfolgten in den Jahren 1981–1984 am Institut für Geologie der Universität Wien sowie am Institut für Technische Geologie, Petrographie und Mineralogie der Technischen Universität Graz.

Entlang des genannten Profilstreifens werden die Ergebnisse der Untersuchungen diskutiert und es wird eine Gegenüberstellung mit der Entwicklung am Südrand der Hohen Tauern gegeben. Als Ergebnis können im ostalpinen Altkristallin vier petrographische Serien unterschieden werden.

Im geologischen Längenschnitt ist das Faltungsprinzip erkennbar und es können zumindest drei Einheiten unterschiedlichen Baustils abgetrennt werden: Die im Norden lagernde Eklogitamphibolit-führende Paragneisserie bildet eine Antiklinale (Polinikzone) um eine WNW-streichende \pm horizontale Großfaltenachse. Sie ist über ca. 4 km aufgeschlossen. Die südlich anschließende Granatglimmerschieferserie bildet scheideltvergente, aufrecht stehende Falten, deren Achsen im untersuchten Gebiet um die W–E-Richtung pendeln und flach liegen oder unterschiedlichen Abtauchwinkel haben. Deren nördlicher Bereich, aufgeschlossen über ca. 3 km, wurde vom Stollen durchteuft. Literaturangaben zufolge erstreckt sich dieser Faltenbau jedoch noch weiter nach Süden.

Der Übergangsbereich zwischen diesen beiden Baustilen – der auch als petrographisch-lithologischer Übergang betrachtet werden kann und Gebirgsabschnitte trennt, die unterschiedlicher Metamorphosestufe ausgesetzt waren – ist über mehrere Kilometer aufgeschlossen. Der Übergang zwischen beiden Einheiten erfolgt allmählich, wobei in dieser Zone Orthogneise häufig auftreten (orthogneisreiche Serie).

An der Basis des ostalpinen Altkristallins – aufgeschlossen im äußersten Norden und obertags bearbeitet – überwiegen Diaphthorite und quarzreiche Phyllonite. Diese zeigen markante Umschieferung und scheinen dem Bauplan der Hohen Tauern weitgehend tektonisch angepaßt (Diaphthorit-Quarzphyllonit-Serie).

Aus der Analyse der Metamorphosegeschichte, sowie ihrer Korrelation mit plastischer und rupturreller Deformation ergibt sich der relative Ablauf der Entwicklungsgeschichte. Es wurde versucht, diesen Ablauf mit den bisher bekannten orogenetischen Schemata zu korrelieren:

Einer älteren – als präkretazisch angesehenen – Strukturprägung können Granat und teilweise Staurolith führende Gesteine zugeordnet werden. Sillimanit führende Gneise sowie Eklogitamphibolite sind darin als Relikte erhalten. Lokal erkennbar sind isoklinale Falten mikroskopischer Dimension, die meist komplett durchschiefert sind. Diese Phase war durchgreifend prägend und hat das gesamte Gebirge erfaßt.

Gegenübergestellt werden kann ein jüngeres – als kretazisch angesehenes – Geschehen, das lokal prägend gewesen ist: Wiederfaltung unterschiedlicher Dimension ist bereichsweise aufgeschlossen und läßt die S–N-gerichtete Einengung erkennen. Die charakteristischen Mineralassoziationen sind retrograd und erfolgen auf epizonaler Stufe. Nur bereichsweise dürfte diese Metamorphose die Mesozone erreicht haben. Ausgeprägt ist dieses Geschehen nahe der Basis oder auch entlang von Scherzonen im Gebirge.

Nicht in jedem Fall ist der jungalpidische Anteil klar abtrennbar: Es handelt sich hauptsächlich um ein Weiterwirken und Herausmodellieren kretazischer Ereignisse – aufgeschlossen in jungen Störungszonen. Markant ist die Kinkung von Einzelkristallen der Glimmer. Diese Ereignisse wirken lokal und überprägen ältere Gefüge. Auffällig ist weiters die intensive rupturale Zerlegung des Gebirges, teilweise verbunden mit sekundären Veränderungen (Karbonatisierung, Tonmineralbildung etc.) der umgebenden Gesteine. Jüngstes Glied ist die hangtektonische Zerlegung, die bedeutendes Ausmaß erreicht hat.

Besondere Berücksichtigung wurde aus wissenschaftlichen und baueologischen Gründen der Bearbeitung geologischer Störungszonen gewidmet: Bau und geologische Entwicklung werden anhand von Untersuchungen im makroskopischen, megaskopischen und mikroskopischen Bereich diskutiert. Unterschieden werden Blastomylonite, Pseudotachylite, Kataklastite und tonige Mylonite. Die Mineralumwandlung bzw. -neubildung umfaßt Quarz, Plagioklas, Serizit, Chlorit, Tonminerale und manche Akzessorien. Einen wesentlichen Beitrag für die Interpretation leistet die Untersuchung des Quarzgefüges: Schief- bzw. Kreuzgürtel überwiegen. Scharfe Regelung mit Aktivierung der Rhomben- und Prismengleitung ist auf einen Bereich extremer Deformation beschränkt. Plättung infolge Basalgleitung stellt den jüngsten Akt dar. Häufig ist beginnende feinkörnige Rekristallisation des Quarzes erkennbar. Überdauert die Kristallisation die Deformation, können ältere Gefüge überprägt und so verwischt werden.

ESTERLUS, Michael: Kristallisationsgeschichte und Strukturprägung im Kristallin E des Grazer Paläozoikums.

Begutachter: FRANK, RICHTER

Promoviert am 14. Jänner 1986

Das Kristallin im E des Grazer Paläozoikums kann folgendermaßen untergliedert werden: Als höchste Einheit findet man eintönige Glimmerschiefer- und Phyllitserien, die als „Heilbrunner Phyllite“ teilweise noch zum Grazer Paläozoikum, als (Granat-)Glimmerschiefer zum Angerkristallin gezählt werden. Im Liegenden folgt eine bunte Kristallinserie mit Einschaltungen von karbonatischen Gesteinen, die ebenfalls zum Angerkristallin gezählt wird, und S Anger einen sedimentären Zusammenhang durch Verfaltung mit der Schöckelkalkserie des Grazer Paläozoikums aufweist (NEUBAUER 1981). An der Basis dieses bunten Kristallinstockwerkes befindet sich ein schmaler, nach N auskeilender Streifen eintöniger metapelitischer Paragesteine mit für die Koralmgesteine typischen Haufwerksdisthenaggregaten.

Darunter folgt das unterostalpine Kristallin mit phyllitischen Glimmerschiefern und mittelkörnigen Gneisen der Grobgnaisseerie, das durch eine tektonische Grenze vom ostalpinen Kristallin getrennt ist.

Durch die Kartierung konnte festgestellt werden, daß der basale Anteil von Koralmgesteinen eindeutig durch (ältere) Verfaltung und eine (ältere) gemeinsame Metamorphoseentwicklung mit dem Angerkristallin verbunden ist.

Es wurden insgesamt drei mittelgradige Metamorphosezyklen (analog zur zentralen Koralm) unterschieden. Dabei ist die erste andalusitbildende Metamorphose nur an der Basis des ostalpinen Kristallins in den Paragneisen und sehr selten auch in den Glimmerschiefern der bunten Serie entwickelt. Die darauffolgende amphibolitfaziale Metamorphose in Barrowzonierung ist im gesamten zusammenhängenden Metamorphoseprofil bis in das Grazer Paläozoikum hinein wirksam. In den basalen Anteilen des Kristallins kam es zu einer Disthenbildung auf Kosten von Andalusit. In den Metapeliten sproßten rasch große Porphyroblasten von Staurolith, Granat, Chloritoid, Biotit. Die Entwicklung dieser ersten Barrowmetamorphose ist sehr gut in den Porphyroblasten dokumentiert: Mehrphasige Granatblasten mit einem „Sterngranat“-Kern und pigmentreichen Anwachssäumen deuten auf ein zuerst bei vorhandener thermischer Struktur rasch erfolgtes Granatwachstum hin, das dann langsamer weiterlief und die deformierten Pigmentzüge einschloß. In den tieferen Anteilen der bunten Serie wird neugebildeter Staurolith progressiv in Disthen umgewandelt. An der Obergrenze der Staurolithzone findet man reliktsch die Gleichgewichtsparagenese Chloritoid–Staurolith, die das Einsetzen der Amphibolitfazies kennzeichnet.

Das dritte Metamorphoseereignis ebenfalls in Barrowzonierung, vor dem es zu einem Temperaturabfall gekommen war, korreliert mit lokalen retrograden Erscheinungen im Metamorphoseprofil, wobei die Zonierung schräg zu den alten Metamorphosegrenzen verläuft. Während im höheren Bereich die Hellglimmer stabil bleiben und nur teilweise Granat und Biotit chloritisiert werden, kommt es im tieferen Profilbereich zur Rekristallisation der Hellglimmer und Biotit, sowie zur Bildung einer dritten Granatgeneration. Staurolith bleibt nur in „geschützten“ Bereichen stabil. Im allgemeinen ist jedoch die Neubildung von Mineralparagenesen insgesamt deutlich geringer als bei der alten Hauptmetamorphose in Barrowzonierung, da es sich wahrscheinlich um fluidärmere Verhältnisse gehandelt hat.

Gleichzeitig mit diesen zwei zuletzt genannten Metamorphosen kommt es auch zu den zwei entscheidenden Hauptstrukturprägungsphasen. Beide sind mit einer intensiven Durchbewegung im Kornbereich verbunden. Die alte Hauptstrukturprägung erzeugte liegende Isoklinalfalten und eine beträchtliche räumliche Verkürzung des Profils. Die Kristallisation überdauerte die Deformation. Dies ist in den Gefügebildern deutlich sichtbar: sie ergeben im allgemeinen schlecht geregelte, rhombische Quarzgefüge. Diese sind reliktsch in Pegmatiten und Quarziten zum Teil noch vorhanden.

Bei der jungen Hauptstrukturprägung werden an der Basis des Kristallins schmale, E- bis NE-vergente Scherhorizonte ausgebildet. Ursache dafür ist die im relativ fluidarmen Kristallin wirksam gewordene Plattengneisdeformation. Diese stellt eine Blastomylonitbildung dar, bei der sich durch mega-, makro- und mikroskopische Beobachtungen, sowie die Asymmetrie der Quarzgefüge eine simple-shear-Deformation parallel I („a-Tektonit“) nachweisen läßt. Die Quarzgefügemessungen zeigen in den etwas älteren Scherhorizonten Gleitsysteme, die für höhere Temperaturen charakteristisch sind (Prismen- und Rhombengleitung), außerhalb in späten Scherzonen Gleitsysteme des niedrigen Temperaturbereiches (Basalgleitung). Dies spricht dafür, daß es sich bei der Plattengneisdeformation um einen lang andauernden Prozeß gehandelt hat, der bei relativ hohen Temperaturen begonnen hat und dann bis in ein niedrigtemperiertes Stadium weitergelaufen ist. Diese Scherhorizonte stellen wahrscheinlich eine Fort-

setzung der W des Grazer Paläozoikums unter dieses eintauchenden Blastomylonitgesteine der Gradener Serie dar (KROHE 1984). Außerhalb der Bereiche mit Plattengneisdeformation ist eine offene Faltung mit meist steiler Achsenebene vorherrschend. Es ist eine E-Vergenz dieser Falten festzustellen.

Im Gegensatz zum ostalpinen Kristallin weist das unterostalpine Kristallin eine deutlich andere Entwicklungsgeschichte auf: Reliktisch ist ein älteres, vermutlich mittelgradiges Metamorphoseereignis erkennbar, das in engem genetischen Zusammenhang mit der Intrusion eines Granites („Grobgneis“) steht. Eine jüngere, wesentlich niedriggradigere Metamorphose hat zu retrograden Erscheinungen („Diaphthorese“) im Kristallin geführt. Da beim jüngeren Ereignis die Kristallisation die Deformation überdauert hat, ist wenig über die Kinematik der begleitenden Strukturprägung bekannt.

Geochronologische Daten, sowohl aus dem ostalpinen Kristallin, als auch aus dem unterostalpinen Kristallin, belegen in beiden tektonischen Einheiten eine kretazische Metamorphose. Damit stellen die Scherhorizonte an der Basis des Angerkristallins, die praktisch nicht überprägt werden, eine kretazische Strukturprägung dar. Hier wurden sicherlich Temperaturen der höheren Grünschieferfazies erreicht. Eine Berechnung mittels Granat-Biotit-Thermometer ergab sogar Temperaturen bis mindestens 600°C , d. h. der Bereich der Amphibolitfazies könnte erreicht worden sein.

Während die K/Ar-Hellglimmerlater im tieferen Kristallin vollständig auf kretazische Alterswerte verjüngt sind, findet man in den phyllitischen Gesteinen im Bereich Heilbrunn – E Gasen etwas erhöhte K/Ar-Hellglimmerlater um 100 (– max. 130) my. Diese Alter sind wahrscheinlich dadurch entstanden, daß in den Hellglimmern kein vollständiger Austausch von Ar^{40} stattfand.

Im unterostalpinen Kristallin liegen die Alterswerte etwa bei 75 my, hier hat das thermische Ereignis der kretazischen Metamorphose etwas länger ange dauert als im ostalpinen Kristallin.

RAITH, Johann: Scheelitvererzungen in Marmoren und Kalksilikatgesteinen des Kristallins östlich der Hohen Tauern, Österreich.

Begutachter: SCHROLL, FRANK

Promoviert am

Im Verlauf mehrerer Prospektionskampagnen auf Stahlveredelungsmetalle, insbesondere auf Wolfram, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Wolframerzvorkommen in allen tektonischen Einheiten der Ostalpen nachgewiesen. Im Rahmen dieser Dissertation wurden einige dieser wirtschaftlich uninteressanten Vorkommen in Teilen des Kristallins E' der Hohen Tauern detailliert bearbeitet.

Drei Typen von Scheelitvererzungen, die genetisch miteinander verknüpft sind, konnten unterschieden werden:

- schichtgebundene, oftmals von Turmalingesteinen begleitete Vererzungen in Kalksilikatgesteinen (Typ Stub-, Korralpe)
- schichtgebundene, teilweise stratiforme Vererzungen in Marmoren (Typ Gstoder)
- mobilisierte Vererzungen in Quarz-, Quarz-Feldspatmobilisaten und Pegmatoiden.

In der Stubalpe setzen sich scheelitführende Kalksilikatgesteine hauptsächlich aus Klinozoisit/Zoisit, Grossular-Almandin, Quarz, Plagioklas, Amphibolen, Kalzit und untergeordnet aus Glimmermineralen, Graphit, Apatit, sowie Titanmineralen zusam-

men. Es konnte nur eine einzige Generation der Kalksilikatminerale nachgewiesen werden. Granat ist normal zonar gebaut und ist vergleichbar mit Granat aus Metapeliten, der unter prograden Metamorphosebedingungen gebildet worden ist. Diese Paragenesen bildeten sich unter Bedingungen der unteren Amphibolitfazies, sind mit einer intensiven Deformation (Isoklinalfaltung etc.) verbunden und werden in Anlehnung an andere Bearbeiter dem variszischen Akt zugeordnet. Die alpine Metamorphose, bis in die untere Grünschieferfazies reichend, ist mit einer Rekrystallisation des alten Mineralbestandes, in die auch Scheelit einbezogen wird, und mit einer anderen Art der Deformation (Crenulation, offene Stauchfaltung) zu korrelieren.

In Kalksilikatgesteinen der Koralpe sind zusätzlich Klinopyroxen und Kalifeldspat stabil. Zwei Generationen von Klinopyroxen, Granat und Epidotmineralen sind zu trennen und weisen darauf hin, daß sowohl die variszische als auch die alpine Metamorphose bis in die obere Amphibolitfazies gereicht haben. Die Bildung der jungen Mineralgeneration steht strukturell mit einer intensiven, alpinen simple-shear-Deformation (Plattengneistektonik) in Zusammenhang. Abkühlende Metamorphosebedingungen werden auch durch die inverse Elementverteilung der Grossulare, die maximal 40 Mol % Almandinkomponente aufnehmen, belegt. Die Klinopyroxene sind als diopside Salite, die Minerale der Epidotgruppe als eisenarme Klinozoisite/Zoisite bestimmt. Die Paragenesen belegen extrem niedere CO_2 -Partialdrücke und grob abgeschätzte Temperaturen von etwa 630°C . Geochemisch unterscheidet sich dieser Kalksilikatgesteinstyp und die sie begleitenden Marmore durch eine Verarmung an Alkalien und einer Erhöhung von Mangan und Phosphor von den häufigeren, scheelitfreien, oder nur akzessorisch scheelitführenden, Kalksilikatgesteinen.

Turmalingesteine – schichtige Turmalinite, Turmalin in Mobilisaten und Pegmatoiden – konnten erstmals über weite Bereiche des Kristallins in Verbindung mit scheelitführenden Kalksilikatgesteinen nachgewiesen werden. Turmalinite mit einem Mineralbestand, bestehend aus mehr als 20 % Vol Turmalin, neben wechselnden Mengen von Quarz, Plagioklas, Granat, Muskowit, Biotit, Ilmenit, Rutil, Titanit, Graphit etc. zeigen leicht erhöhte Gehalte an Wolfram und sind selten, wie im Kristallin von Anger, mit syngenetischen Sulfidvererzungen verknüpft. Turmalin-(Quarz)-Feldspat-Mobilisate sind in einigen Fällen mit Scheelit vererzt. Turmalin wurde bereits prä- bis synkinematisch gebildet. Diese anomalen Gesteine werden ausgehend von petrographischen, strukturellen und geochemischen Untersuchungen als klastische Sedimente gedeutet, die bereits prämetamorph, wahrscheinlich schon im sedimentär-diagenetischen Stadium, mit borreichen Lösungen reagiert haben.

Die Turmaline dieser Turmalinite und der von ihnen abzuleitenden Mobilisate sind als intermediäre bis schwach magnesiumreiche Glieder der Dravit-Schörl-Reihe bestimmt. Turmalin aus Metapegmatiten steht dagegen dem Schörlendglied nahe. Die Turmalinzusammensetzung der Turmalinite stimmt mit bekannten Daten von Turmalin aus schichtgebundenen, massiven Sulfidlagerstätten überein. Diese Beobachtungen ergeben gute Argumente die Genese der Vererzungen als syngenetisch/syndiagenetisch-exhalativ angelegt zu deuten.

In den Scheelitvererzungen des Typs Gstoder, in den schwächer metamorphen Serien des Kristallins der Murtaler Berge, erreichte die variszische und alpine Metamorphose maximal Bedingungen der oberen Grünschieferfazies. Kalzit-Dolomit-Thermometrie ergab Temperaturen von 450°C . Die schichtgebundene, teilweise stratiforme Natur der Vererzung ist noch gut erhalten. Die Vererzung, in Kalk-Dolomit-Marmor liegend, ist in mehrphasige Deformationsereignisse miteinbezogen. Geochemisch

unterscheiden sich die vererzten Marmore durch höhere Gehalte an Natrium, Strontium und Phosphor von unvererztem Material. Hinweise auf vulkanogene Aktivitäten sind, im Gegensatz zu einzelnen Vorkommen der Koralpe, auch in Lösungsrückständen von Marmoren nicht zu bestätigen. Dieser Vererzungstyp zeigt auffällige Ähnlichkeiten mit einzelnen Vererzungen des Unterostalpins.

Eine exhalative Zufuhr von Bor, Wolfram, Mangan und Phosphor wird für die Genese der Scheelitvererzungen diskutiert. Eine genetische Assoziation von salinaren Lösungen mit den Vererzungen des Typs Gstoder kann nicht völlig ausgeschlossen werden. Kohlen- und Sauerstoffisotopendaten weichen aber nicht von den übrigen Daten aus scheelitführenden Marmoren, die weitgehend denen mariner altpaläozoischer Marmore entsprechen, ab.

Eine direkte genetische Verbindung zu Magmatiten konnte nicht beobachtet werden. Metabasite der Stub-, Koralpe und der Wölzer Tauern, die sich großräumig in den Schichtverband einschalten, wurden großteils als alkalische, ozeanische Intraplattenbasalte charakterisiert. Eine kleinere Anzahl von Proben aus der Koralpe zeigt tholeiitischen MORB-Charakter. Die Metabasite, die keine Vererzungen beinhalten, werden als Ausdruck krustendehrender Prozesse und eines erhöhten geothermischen Gradienten aufgefaßt. Diese Bedingungen begünstigten in den altpaläozoischen Sedimentationsräumen die Ausbildung geothermaler Systeme, die für die Zufuhr der Metalle und Bildung der Vererzungen von entscheidender Bedeutung waren. Die Wolframmineralisationen des Kristallins dürfen nicht isoliert von metallogenetischen Vorgängen in den übrigen altpaläozoischen Sedimentationsräumen betrachtet werden. Die Bildung der schichtgebundenen und stratiformen Sulfidvererzungen der Grauwackenzone und der schichtgebundenen Pb/Zn-Lagerstätten des Grazer Paläozoikums verlief, wie die Metabasite zeigen, unter ähnlichen geologischen Gegebenheiten.

Im Verlauf der variszischen und alpinen Metamorphoseereignisse wurden die schichtgebundenen Mineralisationen des Kristallins mehrfach mobilisiert. Scheelit kristallisierte in Kalksilikatgesteinen und Marmoren um – in Einzelfällen sind zwei Generationen von Scheelit zu trennen – wurde noch während der variszischen Metamorphose in Quarz-, Quarz-Feldspat-Mobilisate umgelagert und ist auch in alpinen Quarz-Scheelit, Quarz-Scheelit-Turmalin-Klüften und -Gängen anzutreffen. Lokale metasomatische Stoffumsätze ließen Reaktionsskarne an Karbonat-Pelit-Kontaktzonen entstehen.

Die Reaktionsskarnbildung könnte auch für die Anreicherung von Wolfram in diesen alkaliverarmten Kalksilikathorizonten verantwortlich sein. Im gesamten bearbeiteten Gebiet liegen keine Hinweise auf das Vorhandensein magmatogener Verdrängungsskarne vor.

NOWAK, H. Wilhelm: Kristallisations- und Deformationsgeschichte am S-Rand der Gurktaler Decke (Ostalpen/Österreich).

Begutachter: FRANK, RICHTER

Altpaläozoische Gesteine unterschiedlichen Metamorphosegrades (niedrigste Grünschieferfazies bis höchste Amphibolitfazies) wurden anhand zweier Profilschnitte vom hoch metamorphen Kristallin ausgehend bis in die Gurktaler Decke untersucht.

Die von FRANK et al. 1983, auf Grund von Untersuchungen in der Koralpe, vorgenommene Dreigliederung des Metamorphosegeschehens in zwei, wahrscheinlich in-

einander übergelende variszische (K_1 temperaturbetont, K_2 druckbetont) und eine alpine (K_3 druckbetont) amphibolitfaziale Kristallisationsphasen, konnte für die S-Saualpe und für das Kristallin am SW-Rand der Gurktaler Decke bestätigt werden.

Der gesamte Gesteinsstapel der S-Saualpe, von den Gneisen bis zu den schwach metamorphen Tonschiefern, wird vermutlich schon variszisch gemeinsam metamorphisiert. Der thermische Höhepunkt von K_2 wird im schwach metamorphen Paläozoikum mit der Bildung von Bi I und Akt, in den Phylliten mit Hbl I und Ga I und in den Glimmerschiefern und Gneisen mit Stau I und/oder Di I erreicht. Die Homogenisierung der Elementverteilung in Ga I zeigt, daß Temperaturen über 640°C in großen Teilen der Glimmerschiefer-Gruppe und deren Liegendem vorlagen.

Im Zuge der aufsteigenden alpinen Metamorphose erfolgen kräftige Deformationen (D_3) im Gestein. Der syndeformativ sprossende Ga II, kann, gestützt auf detaillierte chemische Ga-Analysen, mit der syn- bis posttektonisch gewachsenen „Ga II/III“-Generation des Plattengneishorizontes der Koralpe (WIMMER-FREY 1984) korreliert werden. In der S-Saualpe entsteht noch Stau II, der wie Ga II mit der synmetamorph ablaufenden Deformation D_3 in den Glimmerschiefern der S-Saualpe interferiert und sie zum Teil überdauert.

Der kretazische Metamorphosehöhepunkt wird in der Saualpe in den Gneisen mit über 600°C , in den Glimmerschiefern mit etwa 600°C (Stau II), im Liegendsten der Phyllit-Gruppe bei 530°C (Hbl II) und im schwach metamorphen Paläozoikum mit etwa 350°C erreicht. In diesem schwächsten metamorphen Abschnitt wurden alpin geringfügig beeinflusste variszische K/Ar-Hgl-Alter von 276 ± 14 my ermittelt.

Der thermische Höhepunkt ist im Gerlitz-Profil im Liegenden der Glimmerschiefer bei etwa 570°C , im „Grenzquarzit“ bei etwa 500°C und am Gerlitzengipfel bei etwa 350°C erreicht. Geochronologische Daten ergaben hier im Hangendsten verjüngte variszische K/Ar-Hgl-Alter von 225 ± 11 my.

Die synkristallin ablaufende gefügeprägende Deformation D_3 (WNW–ESE-Linearre) war in der Saualpe vor dem Kristallisationshöhepunkt (Ga II und Stau II) zum Stillstand gekommen. Für die Gerlitz ist dies auf Grund nachfolgender retrograder Bedingungen nicht feststellbar. D_3 führte zu enormen aber gleichmäßigen Mächtigkeitsreduktionen des gesamten Profils (thermischer Gradient $30^\circ\text{C}/100$ m in den Glimmerschiefern der S-Saualpe, $15^\circ\text{C}/100$ m im Gerlitz-Profil). Nur in wenigen, zum Hangenden hin seltener werdenden Horizonten, die durch lithologische Wechsel und/oder kritische Temperaturbereiche (etwa 300°C – Qu-Gl-Rakristallisation, etwa 500°C – Fsp-Rekristallisation) während der aufsteigenden alpinen Metamorphose gekennzeichnet sind, ergeben sich noch weiter erhöhte Deformationsraten. Bei niedriger werdenden P/T-Bedingungen der ausklingenden alpinen Metamorphose verursacht stauende N–S-Einengung offene Fältelung bis Faltung (B_4). Weiter ins Hangende reagiert das Gestein spröde und bruchhaft. Späte Dehnungen führen zu E bis S abscheidenden Flächen (s_5), die das bestehende s zerschneiden oder flachwellig verbiegen. Großräumige Einengungsvorgänge (B_6 -Falten, „Saualpensüdrand-Flexur“) verstellen das Gefüge dann noch einmal. Danach ist noch jungalpidische Bruchtektonik (Störungssysteme) in intensiver Weise gegeben.

Es wurde auch eine Diplomarbeit abgegeben:

MITTERLEHNER, Wolfgang: Begleitstrukturen, Bewegungssinn und Beanspruchungsplan der Windischgarstener Störungszone zwischen Steyrtal und Admonter Höhe.
Begutachter: TOLLMANN

Dieser Arbeit liegt die angewandte Zielsetzung zugrunde, mit der Methode der Feldgeologie und unter Zuhilfenahme von Luftbildern und einem Satellitenbild Hinweise auf horizontale Bewegungen entlang der Windischgarstener Störung zwischen dem Steyrtal und der Admonter Höhe zu erarbeiten.

In diesem Abschnitt stellt die Windischgarstener Störung ein komplexes Störungssystem dar. Einerseits ist das an einer steilen Verwerfung getrennte Nebeneinander von verschiedenen tektonischen Einheiten ohne vertikale Bewegungen nicht vorstellbar. Andererseits wird die Störung von konjugierten Scherflächen (Fiederspalten i.w. S.) gefolgt, deren Geometrie und Bewegungssinn den Schluß auf linkslaterale, WNW-gerichtete Bewegungen nahelegen.

Die synthetischen Störungen in diesem System verlaufen WNW–ESE und E–W, ihre Nordflügel sind nach Westen bewegt. Die antithetischen Störungen sind NE bis N gerichtet und enthalten eine dextrale Verschiebungskomponente.

Durch die Vernetzung konjugierter Störungen werden östlich Windischgarsten steilgestellte Faltenzüge teleskopartig ineinander geschoben.

Weiters weisen Querbrüche an den Schnittpunkten mit streichenden Störungen Verstellungen auf. Strukturknicks – das generelle WNW-Schichtstreichen im Höhenzug des Tamberg, im Flyschfenster und westlich des Zeitschenberges erfährt durch Schleppung an der Störung eine Ablenkung in eine SW–NE Richtung – liefern Anhaltspunkte für eine horizontale Verschiebung.

Der sinistrale Verschiebungsvorgang wird auf ein WNW–ESE, gegen den Uhrzeigersinn wirkendes Scherkräftepaar zurückgeführt. Diese Beanspruchung resultiert aus der Überlagerung der generellen N–S Kompression des Kalkalpins durch eine kräftige E–W Einengung.

Der NW-Ast von Diagonalstörungen des Untergrundes, welche bereits in variszischer Zeit angelegt und auch später wiederbelebt wurden, kann das Aufreißen der Windischgarstener Störung im Alttertiär begünstigt haben (vgl. Donaustörung und Pfahlstörung). Ebenso ist der Einfluß eines ausgerpägten Untergrundreliefs auf die vertikalen Bewegungen der Störung vorstellbar. Schwächezonen in Folge von Deckengrenzen oder Erosionsflächen können ebenfalls den Verlauf der Störung mitbestimmen haben.

Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den west-überschobenen Weyerer Bögen (E–W Einengung) und der Windischgarstener Störung erscheint realistisch.

BUCHBESPRECHUNGEN

LEHMANN, U.: Paläontologisches Wörterbuch. – 3., überarb. u. erw. Aufl., 439 S., 112 Abb., 4 Taf., Enke Stuttgart, 1985. DM 28,80 ISBN 3-432-83573-6

Im vorliegenden „Paläontologischen Wörterbuch“ findet der Fachmann wie auch der interessierte Laie einen unschätzbaren Begleiter durch den oft undurchdringlichen Dschungel wissenschaftlicher Fachausdrücke.

Die Übersetzung und Erklärung der griechischen und lateinischen Worte, die den Begriffen zugrunde liegen, eröffnet auch dem humanistisch weniger Gebildeten eine neue Dimension des Verstehens. Die zahlreichen Verweise innerhalb der Erklärungen vermitteln Klarheit und decken Zusammenhänge auf, sodaß der Umfang des vorliegenden Werkes weit über ein „Wörterbuch“ im eigentlichen Sinne hinausgeht. Auch sind die einzelnen Teilgebiete der Paläontologie, wie etwa Mikropaläontologie, Paläobotanik, Paläozoologie der Wirbeltiere etc. vorbildlich berücksichtigt und gleichwertig behandelt.

Besonderes Lob verdienen die – leider zu spärlichen – Stammbäume (z. B. Fische p. 137, Reptilien p. 318), die sehr informativ und übersichtlich gestaltet sind. Dasselbe trifft auch für die Abbildungen zu, die zum Verständnis des Textes wesentlich beitragen, wobei zu hoffen bleibt, daß in einer nächsten Auflage ihre Anzahl erhöht wird. Besonders bei der Erklärung von wissenschaftlichen Fachausdrücken sagt oft ein Bild mehr als tausend Worte.

Am Ende des Buches befinden sich drei Tafeln über die geologische Verbreitung von Pflanzen, Wirbellosen und Wirbeltieren, sowie eine Zeittafel, in der neben den chronologischen Einheiten bis hinunter zur Abteilung auch die Lebewelt und Fossilfundstellen von überregionaler Bedeutung angeführt sind. Auf den letzten 19 Seiten findet man ein umfassendes „System der Organismen“, das die systematischen Kategorien bis zu den Ordnungen – fallweise bis zu den Unterordnungen – anführt.

Eine interessante Neuerung dieser Auflage ist die Angabe des grammatischen Geschlechts bei Substantiva. Grundsätzlich ist diese Einführung im Sinne einer Vereinheitlichung begrüßenswert, jedoch werden manchmal Genera gefordert – in Anlehnung an das Geschlecht des fremdsprachigen Lehnwortes, – die in Österreich zumindest ungewohnt sind (z. B. der Biotop).

Zusammenfassend darf festgestellt werden, daß das vorliegende Wörterbuch hinsichtlich seines Inhaltes und seiner Ausführung als beispielhaft bezeichnet werden muß und von jedem Erdwissenschaftler sicherlich mit Freude, Interesse und Gewinn verwendet werden wird.

T. Ehrendorfer

GOODMAN, R. E., SHI, G.-H.: Block Theory and Its Application to Rock Engineering. – 338 S., New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1985, DM 1.760,-. ISBN 0-13-078189-4.

Ausgehend vom Trennflächengefüge in einem Felskörper und von der Raumstellung künstlicher freier Oberflächen zeigen die beiden Autoren eine Methode auf, mit deren Hilfe jene Klufkörper (und eventuell erforderliche Stützmittel) ermittelt werden können, deren Entfernung aus einer Böschung, einer Baugrubenwand oder aus einer Tunnelleibung durch Auslösung einer Art Kettenreaktion zum Zusammenbruch des Verbandes führt. Diese Klufkörper werden „key blocks“ genannt (vergleichbar einem Schlußstein eines Gewölbes). Den Untersuchungen werden folgende vereinfachende Annahmen zugrunde gelegt:

- Die Trennflächen sind Ebenen.
- Die Trennflächen sind vollständig durchgerissen (Durchtrennungsgrad = $\kappa_e = 1$)
- Die Klufkörper sind starr und unzerstörbar (Bruch von Klufkörpern wird nicht berücksichtigt).
- Streubereiche der Raumstellungen werden nicht betrachtet (entweder Ermittlung der ungünstigsten Konstellation oder Monte-Carlo-Technik).

Hilfsmittel zur Bestimmung der „key blocks“ sind die Lagenkugel in stereographischer (winkeltreuer) Projektion für graphische Lösungen einerseits und Vektoranalysis (unter Beachtung

"computerfreundlicher" Formulierungen) für rechnerische Lösungen andererseits. Besonderes Augenmerk wird dabei darauf gelegt, daß graphische und rechnerische Methoden in jeder Phase der Untersuchung gegeneinander ausgetauscht werden können, was die Anschaulichkeit der Lösungswege hebt und die Anwendungsmöglichkeiten vervielfacht.

Der stereographischen (winkeltreuen) Projektion, die in einem eigenen Kapitel ausführlich behandelt wird, wird der Vorzug gegeben, weil Schnittkreise auf der Lagenkugel als Kreise abgebildet werden und daher für die graphischen Lösungen kein Netz aus Längen- und Breitenkreisen erforderlich ist. Anstelle einer Halbkugel wird die ganze (Lagen-)Kugel betrachtet und die Projektion erfolgt von unten nach oben. Diese im deutschsprachigen Raum eher unübliche Methode zeigt, wie wichtig es ist, bei Gefügediagrammen zumindest die zur Darstellung herangezogenen Teile der Lagenkugel zu vermerken (z. B. U. H. für „untere Halbkugel“; auch die Projektionsart sollte angegeben werden). Das Lagenkugelkonzept, das eigentlich nur zur Darstellung räumlicher Beziehungen gedacht war, entfernt sich mit der "block theory" wieder ein Stück von dieser ursprünglichen Absicht. Es wird immer mehr ein Werkzeug für Spezialisten und andere Darstellungsmethoden werden daher in zunehmendem Maße angewendet werden müssen, um branchenfremde Probleme, die sich im Felsbau aus dem Flächengefüge ergeben, zu erläutern.

Dem Kapitel über Klufkörperformen und über die Entfernbarkeit von Klufkörpern aus einem Verband folgt ein Abschnitt über die Beschreibung von Klufkörpergeometrien nach elementaren topologischen Grundsätzen.

Aufbauend auf den ausführlich und sowohl für Ingenieure als auch für Geologen verständlich dargelegten Grundlagen der stereographischen Lagenkugelprojektion und der Vektorrechnung werden graphische und rechnerische Lösungswege zur Ermittlung von "key blocks" in Felsböschungen, in Kavernen sowie in Tunneln und Schächten (mit besonderem Augenmerk auf die Bestimmung des größtmöglichen "key blocks" und auf Probleme in Portalbereichen!) aufgezeigt. Während der Großteil des Buches rein kinematische Untersuchungen bringt, behandelt besonders das abschließende Kapitel die Bewegung von Klufkörpern unter der Einwirkung von Kräften (z. B. Gleiten, Hebung).

Alle Überlegungen, Konstruktions- und Rechengänge sind in Prof. Goodmans bekannt klarer und übersichtlicher Art dargelegt und leicht nachzuvollziehen. Darüber hinaus heben illustrative Beispiele am Ende jedes Kapitels die Verständlichkeit.

Wie schon aus den vereinfachenden Annahmen hervorgeht, ist die "block theory" einerseits ein Schritt zu noch mehr Abstraktion (der Begriff „Fels“ wird auf ein System starrer Klufkörper reduziert, die an vollständig durchgerissenen Trennflächen ideal zusammengefügt sind). Sie kann wie jede andere falsch verwendete Methode zu folgenschweren Trugschlüssen führen. Prof. Goodman selbst hat beim 34. Geomechanik-Kolloquium gezeigt, daß ein nach der "block theory" bestimmter "key block" kein wirklicher "key block" sein muß. Andererseits gibt es nun aber endlich eine klare Methode, mit der geklüftete Körper nach ihrer inneren Gestalt bzw. nach der geometrischen Beziehung zwischen innerer und äußerer Gestalt (Klufkörper-freie Oberfläche) untersucht werden können. Die "block theory" ist eine (besonders wichtige!) von vielen Anschauungsweisen, und erst eine dem Problem gerecht werdende Zusammenschau verschiedener Methoden und Modelle kann ein richtiges Bild vermitteln.

R. Poisel

PETRASCHECK, W. E. & HAMANN, G. [Hrsg.]: Franz von Hauer-Reiseberichte 1848. – Sitzber. österr. Akad. Wiss., phil.-hist. Kl., Bd. 461, 87 S., 1 Abb., Wien 1985. 24 x 15 cm; Paperback öS 98,-.

Im äußerst bewegten Revolutionsjahr von 1848 unternahm der 26-jährige Franz v. Hauer, im Auftrage von Wilhelm von Haidinger, gemeinsam mit seinem Kollegen Moritz Hoernes eine Reise nach Deutschland, Frankreich, England, Schottland und der Schweiz. Zweck dieser Reise war es, Basiswissen zur geplanten Gründung einer geologischen Reichsanstalt zu sammeln, die ja auch dann im darauffolgenden Jahre 1849 nach englischem Vorbild unter dem Direktor W. v. Haidinger gegründet wurde.

Die Gedanken und Erlebnisse dieser ungemein interessanten Reise teilte F. v. Hauer seiner in

Wien lebenden Schwester Josephine in sehr gewinnenden und aufschlußreichen Briefen mit.

Zu diesen Briefen (21) liegen uns von den Herausgebern einführende und erläuternde Worte vor, die den kulturpolitischen Hintergrund dieser Zeit sowie die sozialen Verflechtungen Hauers mit zahlreichen berühmten Persönlichkeiten der Politik und Wissenschaft aufzeigen.

Mit dieser Edition, in der uns ein so intimer und unmittelbarer Eindruck von dieser fünf Monate dauernden Reise gegeben wird, läßt uns W. E. Petrascheck am geistigen Erbe seines berühmten Ahnen teilnehmen.

Die Zeit, die uns in diesen Briefen entgegentritt, ist aus dem Gesichtspunkt der ausbrechenden Nationalitätenkämpfe zu verstehen, die eine Antwort auf die verfehlte Entscheidung in der Schlußakte des Wiener Kongresses von 1815 sind, als auch in der politischen Bedeutung des aufkommenden Proletariats der großen Industriestaaten. Dem gegenüber stehen die gleichzeitigen gigantischen Entwicklungen der Naturwissenschaften und der zunehmenden Technisierung.

Erst mit dem Ausgang der Märzrevolution von 1848, die Metternich zum Rücktritt zwang, war der Weg für den intellektuellen Liberalismus frei. Mit der Aufhebung der Zensur und des Versammlungsverbotcs tritt nun eine rege wissenschaftliche Tätigkeit ein; es ist jene Epoche, in der die österreichische geologische und paläontologische Forschung in der vordersten Reihe in Europa stand.

Mit dieser Zeitspanne, und mit vielen bekannten Naturforschern wie L. v. Buch, A. v. Humboldt, E. de Beaumont, D'Orbigny, R. Owen und zahlreichen anderen Persönlichkeiten bringen uns diese Briefe in Kontakt.

Für Hauer, der aus einer hochangesehenen Wiener Familie stammte, war es aufgrund seiner aristokratischen Manieren und einer Anzahl von Empfehlungsschreiben ein Leichtes, sich den Zugang zu den prominentesten Häusern zu verschaffen.

Wir dürfen hierbei jedoch nicht übersehen, daß zur Zeit seiner Reise nicht nur immer gefährliche Situationen als Nachspiel der Revolution auftraten, die ein hohes Maß an diplomatischem Einfühlungsvermögen notwendig machten, als auch durchaus die Reisebedingungen dieser Zeit zum Großteil äußerst beschwerlich waren und Hauer des öfteren von langen Fahrten bei schweren Regenfällen auf Pferdefuhrwerken oder auf abgedeckten Eisenbahnwaggons berichtet, die er in Anbetracht der geringen zur Verfügung stehenden Mittel immer dritter Klasse benützte.

Während er in Deutschland nur kurze Zeit verweilte, war er in Frankreich etwa einen Monat und unternahm mit E. de Beaumont mehrere Exkursionen und genoß schon bald die Annehmlichkeiten des Pariser Lebensstiles. D'Orbigny scheint ihn sehr zu beeindruckern, er schreibt: . . . „er trägt eine etwas phantastische Frisur und macht mir ein wenig Eindruck eines sehr perfektionierten – was? – Windbeutel –? nein, das wäre zu viel, aber etwas ähnliches“.

In London besuchte Hauer neben einer stattlichen Anzahl von Sammlungen auch den im Exil lebenden Fürsten Metternich und gibt eine ausführliche Beschreibung von diesem Zusammentreffen, das trotz des konträren politischen Standpunktes recht amüsant verlief. Zu Metternich bestand bereits eine gewisse Beziehung, da Hauer in einer früheren Arbeit Ammoniten aus dessen bekannter Sammlung beschrieben hatte.

Neben all den Erwähnungen berühmter Fundstellen, Besuchen großer Sammlungen und Besichtigungen der größten Bergwerke in England und Wales, galt aber sein Augenmerk ebenso dem gesellschaftlichen Leben, und er erwähnt neben den landschaftlichen Reizen auch die der hübschen Pariserinnen; das freundliche Zulächeln der Mädchen war ihm jedoch bald dadurch verleidet, als er merkte, daß er wegen seines Vollbarts ausgelacht wurde.

Ist auch heute das Interesse für die Naturwissenschaften nicht mehr ein so allgemeines, wie es uns im vorigen Jahrhundert bis zu den einfachsten Bevölkerungsschichten hin entgegentritt, so kann sich doch kein historisch und geisteswissenschaftlich interessierter Mensch dem zeitgeschichtlichen Dokumentationswert dieser Reiseberichte entziehen.

Den Abschluß des Büchleins bildet ein Personenregister.

TUREKIAN, Karl K.: Die Ozeane. – Übersetzt aus dem Englischen von Schöttle, M. – 202 S., 104 Abb., 18 Tab., Stuttgart (Enke) 1985. – Karton, DM 19,80; ISBN 3-432-94321-0.

Der Band 8 der Reihe „Geowissen kompakt“ wird diesem Namen gerecht, denn bei knappstem Seitenumfang gelingt es dem Autor, eine umfassende und leicht verständliche Einführung in die Ozeanographie zu bieten, wobei auch petrologisches, geologisches und geophysikalisches Grundwissen wiederholt wird. Schwerpunkte dieses empfehlenswerten Taschenbuches sind: Topographie und Struktur der Ozeanbecken (18 S.), Sedimente und deren Transport (20 S.), Tiefsee-Sedimente und aus deren Untersuchung gewonnene Erkenntnisse (68 S. – Flachwassersedimente bleiben unter Verweis auf andere Taschenbücher dieser Reihe ausgeklammert), Bewegung der Ozeane (35 S.), Geochemie des Meeres (30 S. – viele Beziehungen von geochemischen zu sedimentologischen Prozessen werden aufgezeigt), Geschichte der Ozeane und Ozeanbecken (20 S. – samt einführenden plattentektonischen Erklärungen). Seinen geringen Umfang verdankt das Buch nicht zuletzt den 104 besonders anschaulichen Abbildungen, darunter 38 Karten, 16 Profile, 8 Blockbilder, die z. T. „berühmten“ Artikeln der späten 50er und frühen 60er Jahre entnommen sind. Ein kleiner Schönheitsfehler ist die Abbildung 7.7 – Erdbebenherde entlang Tiefseegräben – leider falsch und unvollständig beschriftet.

In der Einführung wird zwar als Hauptgrund für die ozeanographische Forschung das reine Streben nach Wissen angeführt, ein näheres Eingehen auf die vielfältigen wirtschaftlichen Interessen (z. B. Kohlenwasserstoffe in tieferen Sedimenten) und militärischen Aktivitäten (das Erwähnen von Manganknollenbildung um Artilleriegranatensplitter (S. 63) kann angesichts der Kernwaffentests nicht befriedigen) wäre in einer Neuauflage wünschenswert. Ebenso müßte die anthropogene Sedimentation und die gleichzeitige Verwendung des Meeres als Nahrungsquelle und Mülldeponie stärker berücksichtigt werden – vom Versenken hochgiftiger Abfälle bis zu den massenhaft und (!) verdünnt angelieferten Schadstoffen. Eine sprachliche Kritik zum Abschluß: Warum eigentlich nennt man – im Buch leider unerwähnt – unbeabsichtigte Schadstoffbelastungen beim Namen („Ölpest“, „Tankerkatastrophe“), während die absichtliche Vergiftung schamhaft unterschrieben wird („Verklappen“)? Auch der Übersetzer benützt hier leider die „Neusprache“.

R. Lahodynsky

HENNINGSEN, D.: Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. – 3., neu bearb. Aufl., VIII + 132 S., 20 S. Farbanhang, 69 Abb., 5 Tab., Stuttgart (Enke) 1986, kartoniert DM 14,80 – ISBN 3-432-88513-1.

Daß vorliegendes Büchlein nun bereits in seiner dritten Auflage erscheint, zeugt einerseits vom großen Interesse an einer kurzen, einfachen, dem Laien verständlichen Zusammenfassung der Geologie der Bundesrepublik Deutschland und andererseits davon, daß diese „Einführung“ besagtem Interesse entgegenkommt.

So wie in den ersten beiden Auflagen (1976, 1981) werden die verschiedenen geologischen Landschaften der Bundesrepublik in Form einer Zusammenfassung zu größeren Gruppen dargestellt, wobei die einzelnen Baueinheiten nach dem Alter ihrer Entstehung geordnet wurden. Deren Beschreibung erfolgt stets in ähnlicher Weise: geographische Lage, Lagerung und stratigraphische Einstufung der diversen Gesteine, deren Verbreitung sowie Auswirkungen auf die Morphologie werden geschildert. Relativ ausführlich wird jeweils auf die Lagerstätten (im weiteren Sinn) eingegangen, auch wenn sie nicht mehr im Abbau stehen. Nützlich sind in dieser Auflage erstmalig den meisten Abschnitten beigefügte einfache stratigraphische Tabellen.

Ein so umfassendes Stoffgebiet auf 118 Textseiten in Taschenbuchformat zu komprimieren beinhaltet naturgemäß eine gewisse Problematik hinsichtlich wissenschaftlich richtiger Aussage auf der einen und leichter Verständlichkeit auf der anderen Seite. Obwohl sich der Autor, Professor am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, dessen dem Vorwort zufolge durchaus bewußt ist, schlichen sich durch die geraffte Darstellung dennoch Verfälschungen und kleine Fehler ein. So werden beispielsweise auf Seite 10 f. Anatexite zeitbezogen auf das ältere Paläozoikum definiert. Weiters liegen das Fichtelgebirge und die Münchberger Gneismasse nicht am Nordost- sondern am Nordwestrand der Böhmisches Masse (S. 19) etc.

Auf Ursachen des geologischen Werdeganges der Bundesrepublik wird nicht näher eingegangen – das Wort „Plattentektonik“ wird kein einziges mal erwähnt. Obwohl der Autor versuchte möglichst wenig Fachausdrücke zu verwenden, wird der mit Geologie nicht so vertraute Leser – und für ihn ist dieses Buch gedacht – nicht ohne geologisches Wörterbuch auskommen.

Das Bemühen eine einfache, leicht verständliche Sprache anzuwenden führte leider oft zu einem stilistisch unvorteilhaften und z. Bsp. auf Seite 35, oben, falschen Satzbau.

Im Anhang werden 32 Farbblätter von typischen Landschaften oder Aufschlüssen geboten. Deren Qualität in bezug auf Schärfe und Aussagekraft läßt zwar in einigen Fällen zu wünschen übrig, was jedoch durch den relativ geringen Preis entschuldigt werden kann.

Nicht zuletzt die vielen Ortsangaben besonderer Aufschlüsse, alter Bergbaue etc. (mit Ortsregister !) verleihen dem Büchlein insgesamt den Charakter eines „kleinen geologischen Reiseführers“ für Deutschlandsbesucher, die keine besonderen fachspezifischen Vorkenntnisse mitzubringen brauchen.

H. Frimmel

AUST, H. und BECKER-PLATEN, J. D.: Angewandte Geowissenschaften in Raumplanung und Umweltschutz. – 136 S., 57 Abb., davon 14 farbig, 26 Tab., Stuttgart (Enke-Verlag) 1985. 29,80 DM, Format 17 x 24 cm. ISBN 3 432 94811 5.

Dem notwendigerweise steigenden Interesse am Umweltschutz und an einer weiter in die Zukunft blickenden Raumplanung entsprechend, wurde aus F. BENDERS „Angewandte Geowissenschaften“, Band III das Kapitel 4 als Sonderausgabe gedruckt und somit einem breiten Interessenskreis leichter zugänglich.

In prägnanter Form wird ein weit gefächertes Fachgebiet vorgestellt. Der dargebrachte Stoff ist in zwei Großkapitel gegliedert. Das erste behandelt die „Geowissenschaften in der Raumplanung“ (von J. D. BECKER-PLATEN, mit einem Beitrag von H. PREUSS), das zweite betitelt sich mit „Geowissenschaften im Umweltschutz“ (von H. AUST, mit Beiträgen von H. BEIERSDORF, F. GRÜNEBERG, W. JARITZ, B. KEMPER & K. KREYSING). Begriffsdefinitionen leiten das erste Kapitel ein. Danach folgen kurze Ausführungen über Datenakquisition und Verarbeitung, wobei auch auf die elektronische Datenverarbeitung und deren Problematik eingegangen wird. Den Großteil dieses Kapitels füllen die vorbildlich ausgeführten farbigen Kartenbeispiele mit ausführlichen Legenden. Trockengefährdung, landwirtschaftliches Ertragspotential, Grundwassergefährdung, Grundwassernutzung, usw. werden kartennmäßig erfaßt. Für die Bauplanung sind Baugrundkarten von großer Wichtigkeit; sie sollen Raumplanern und Bautechnikern eine überblicksmäßige Information bieten. Die Grenzen der Aussagefähigkeit solcher Karten müssen kritisch geprüft werden. Eine zukunftsorientierte Raumplanung erfordert die Freihaltung der Rohstoffvorkommen von Besiedelung und Verkehrswegen. Rohstoffsicherungskarten sollen dies gewährleisten.

Im zweiten Kapitel werden zuerst die geogenen Gefährdungen wie Erdbeben, Vulkanismus Rutschungen, natürliche Strahlenbelastung, usw. beschrieben. Es wird unter anderem auf die Problematik der Düngung und des Einsatzes von Pestiziden in der Landwirtschaft eingegangen, weiters auf die Auswirkungen von Bergbauen auf die Umwelt, die Endlagerung von radioaktiven Abfällen, um nur einige Beispiele zu nennen. Probleme wie Abwässer, Verschmutzung der Meere, Mülldeponien und Ähnliches werden zum Schluß aufgezeigt.

Es gehört zu den wichtigen und schwierigsten Aufgaben die gestiegenen Nutzungsansprüche an die Erde in Einklang mit der Lebensqualität zu bewältigen. Die Geowissenschaften können dazu einen erheblichen Beitrag leisten.

Insgesamt gibt das Buch einen guten Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten der Geowissenschaften in bezug auf Umweltschutz und Raumplanung. Leider fielen die Beiträge teilweise sehr knapp aus. Ein in Themenkreise unterteiltes Schriftenverzeichnis erleichtert das Auffinden weiterführender Literatur.

M. Rockenschaub

STUDER, J. A., ZIEGLER, A.: Bodendynamik. – Grundlagen. Kennziffern. Probleme. Hochschultext. XIII + 230 S., 142 Abb., Springer, Berlin–Heidelberg–New York 1986. Broschiert 400 g, öS 546,– (DM 78.–), ISBN 3–540–16382–4.

Das vorliegende Buch entstand auf Grundlage der Vorlesung „Bodendynamik“ an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Es werden die Erfahrungen der Autoren als Wissenschaftler und in der Praxis tätigen Ingenieure bei der Darlegung der Bodendynamik im nichtmilitärischen Bereich zusammengefaßt. Der angesprochene Leserkreis setzt sich aus Studenten des Bauingenieurwesens und bereits tätigen Ingenieuren, aber auch Geowissenschaftlern zusammen.

Die Gliederung des Buches erfolgt in sieben Kapitel. Am Beginn fällt eine Zusammenstellung der verwendeten Symbole, die die Anwendung sehr erleichtert, positiv auf. Im ersten Abschnitt werden die Unterschiede zwischen klassischer Bodenmechanik und Bodendynamik aufgezeigt. Im zweiten Kapitel werden die Grundlagen der Schwingungslehre am Beispiel des einfachen Einmassenschwingers dargestellt. Bei dieser Modellwahl ist es möglich, die wichtigen Begriffe der Schwingungslehre darzustellen, und andererseits die Abschätzung bodendynamischer Fragestellungen (z. B. Bemessung von Maschinenfundamenten) durchzuführen.

Im dritten Kapitel wird auf die eindimensionale und dreidimensionale Wellenausbreitung eingegangen. Dabei wird auf die Unterschiede zwischen theoretischen Lösungen der Elastizitätstheorie und der Wellenausbreitung in einem realen Boden hingewiesen.

Im vierten Kapitel werden die Bodenkennziffern für Lockergesteine und Fels in der heute verwendeten Form dargestellt. Fels wird dabei als „Felsmatrix“ ohne Berücksichtigung des Trennflächengefüges und der Kluffüllungen aufgefaßt. Auf die Notwendigkeit der Beachtung der Trennflächen und Füllungen bei der Modellerstellung wird aber hingewiesen. Die zur Bestimmung der Bodenkennziffern notwendigen Feld- und Laborversuche, sowie deren Auswertung werden in den Grundzügen behandelt, die Deformations- und Festigkeitseigenschaften der einzelnen Bodentypen sind getrennt dargestellt.

Das fünfte Kapitel behandelt die in der Praxis häufigsten Erschütterungsprobleme (Ausbreitung, Beurteilung und Reduktion von Erschütterungen).

Im sechsten Kapitel werden die klassischen Theorien zur Berechnung von Maschinenfundamenten behandelt, sowie die neue Berechnungsmethode mit Impedanzfunktionen dargestellt.

Im siebenten Kapitel werden eine Einführung in die geotechnischen Probleme des Erdbebeningenieurwesens gebracht. Dabei werden die wichtigsten Fachbegriffe eingeführt und die Grundlagen zur Beurteilung des Einflusses der Geologie auf Erdbebenerschütterungen aufgezeigt. Anschließend werden die Problemkreise der Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk, sowie der Bemessung der Erdbebensicherheit von Dammbauwerken behandelt.

Die Gliederung des abschließenden Literaturverzeichnisses erfolgt in weiterführende Fachbücher und Textzitate. Dieses sehr komprimiert gestaltete Handbuch ist als gut gelungene Einführung in die Bodendynamik aufzufassen. Die Ausführung mit einem strapazfähigeren Einband wäre bei diesem hohen Preis – besonders für Studenten ein bitterer Tropfen – sicherlich keine übertriebene Forderung.

W. Leithner

HINWEISE FÜR DIE AUTOREN

1. Allgemeines:

Die Zusendung von Manuskripten samt dazugehörigen Abbildungen bzw. Beilagen bitten wir direkt an die folgende Adresse zu richten:

Schriftleitung der Gesellschaft der Geologie-
und Bergbaustudenten in Österreich
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7/III, A-1010 Wien

Mit der Übersendung des Manuskriptes bekundet der Autor sein Einverständnis, daß die Redaktion eventuell sein Manuskript an einen Begutachter weiterleitet. Nach erfolgter Begutachtung entscheidet ein Redaktionskomitee über die Aufnahme der Arbeit in die Zeitschrift. Angenommen werden nur Originalarbeiten, die einen druckreifen Zustand aufweisen, d. h. gut leserlich, einseitig und in Zweizeilenabstand mit Maschine geschrieben sind und auf einer Seite einen ca. 3 cm breiten Korrekturrand aufweisen.

Hinsichtlich der Rechtschreibung und Zeichensetzung richte man sich nach dem Duden. Es soll im Manuskript u. a. klar zwischen Gedankenstrich (—) und Bindestrich (-) (z. B.: NW—SE, dagegen NW-Richtung), sowie zwischen „ss“ und „ß“ unterschieden werden.

2. Gliederung:

Titel (fett), Vor- und Zuname des Verfassers, Zahl der Abb. oder Taf.; Anschrift des Verfassers auf der 1. Seite unten; Inhaltsverzeichnis; Zusammenfassung — Abstract — Résumé (ist vom Autor zu erstellen); Text; alphabetisch geordnetes Schriftenverzeichnis; Abbildungstext und Tabellen.

- 2.1. **Titel:** Der Titel soll kurz und bezeichnend sein. Sehr spezielle Begriffe oder Lokalnamen im Titel sollen durch Ergänzungen in Klammer erläutert werden. Eine englische Übersetzung des Titels der Arbeit ist zwecks Aufnahme in das Inhaltsverzeichnis erbeten.
- 2.2. **Zusammenfassung:** Jeder Arbeit ist verpflichtend eine kurze Zusammenfassung in deutscher und englischer Sprache voranzustellen. Weitere fremdsprachliche Kurzfassungen (französisch, italienisch, spanisch usw.) sind möglich.
- 2.3. **Kapitelgliederung:** Das Manuskript hat eine klare Unterteilung in Kapitel aufzuweisen. Diese sind durchzunummerieren, wobei die Zusammenfassung stets als erstes Kapitel geführt wird.
- 2.4. **Einleitung:** In der Einleitung soll eine kurze Darlegung der Problemstellung erfolgen. Auch kann diesem Abschnitt gegebenen-

falls eine Lageskizze des Arbeitsgebietes beigelegt werden. Eventuelle Danksagungen sind entweder in der Einleitung oder am Ende des Artikels zu bringen.

2.5. Auszeichnung der Schriften:

- ===== doppelte Unterstreichung = **fett** (für freistehende Titel und Überschriften sowie für hervorzuhebende Stellen im Text).
- einfache Unterstreichung = **gesperrt** (z. B. für hervorzuhebende Worte im Text oder für Unterabschnittstitel).
- — — — unterbrochene Unterstreichung = **KAPITÄLCHEN** (bei Personennamen. Dabei sind Genetiv- und Adjektivendungen zwecks Vermeidung von Verwechslungen in gewöhnlichen Buchstaben hinzuzufügen: zum Beispiel SPENGLERS, SPENGLERSche usw.).
- geschlängelte Unterstreichung = **kursiv** (bei allen Gattungs- und Artnamen, wenn ohne Flexionsendungen). weniger wichtige Teile des Manuskriptes werden in Kleindruck (= Petit) gesetzt. Sie sind vom Autor durch eine randliche Wellenlinie kenntlich zu machen.

2.6. Literaturzitate:

Literaturzitate im Text: z. B. ... O. AMPFERER (1931, S. 300) oder ... (O. AMPFERER 1931, S. 300). Bei gemeinsamen Arbeiten zweier oder mehrerer Autoren sind die Autorennamen durch „&“ zu verbinden. Bei mehreren Arbeiten eines Autors in einem Jahr unterteilt man diese mit a, b usw.

Schriftenverzeichnis: Alle angeführten Schriften sind ausnahmslos am Ende der Arbeit nach Autoren alphabetisch geordnet zusammenzustellen.

Reihenfolge der Literaturangaben bei Zeitschriften: AUTOR (Erscheinungsjahr): Titel. — Zeitschrift (abgekürzt nach internationaler Norm), Bandzahl oder Jahrgang (doppelt unterstrichen = Fettdruck), Seitenzahl (z. B. ..., 116—128, ...), Zahl der Abb., Taf., Tab., Erscheinungsort.

Reihenfolge der Angaben bei Einzelwerken: AUTOR (Erscheinungsjahr): Titel. — Seitenzahl, Zahl der Abb., Taf., Tab., Erscheinungsort (Verlag).

3. Illustrationen:

Bei allen Illustrationen sind für eine gute Reproduktion Originalvorlagen bzw. bei Fotos Hochglanzabzüge notwendig.

Bevorzugt werden schwarz-weiße Strichzeichnungen, in Tusche angefertigt, möglichst in 1,5- bis 3-facher Größe der späteren Wiedergabe.

Fotografische Abbildungsvorlagen müssen mindestens 20 Prozent größer als die geplante Wiedergabe sein.

Die im Text eingefügten Bild Darstellungen werden als **Abbildungen** bezeichnet und sind durchlaufend zu numerieren. Die Abbildungsvorlagen sind getrennt vom Text dem Minuskript beizulegen. Am Rande des Manuskripttextes ist deutlich zu markieren, an welcher Stelle die Bilder nach Möglichkeit eingeschaltet werden sollten.

Abbildungen, die auf Tafeln stehen, welche dem Text nachgeordnet sind, werden als **Figuren** bezeichnet; ihre Numerierung beginnt bei jeder Tafel neu (z. B. Taf. 1, Fig. 1 oder Taf. 3, Profil 1).

Die Vorlagen der Textabbildungen sind dem **Satzspiegel** (11,8 × 18,6 cm) anzupassen. Abbildungsvorlagen, die im Druck über das Satzspiegelformat hinausreichen sollen, können nur ausnahmsweise — und zwar auf Kosten des Autors — entgegengenommen werden. Dagegen wird auf die Möglichkeit verwiesen, großformatige Abbildungen bzw. mehrere Abbildungen zusammen auf Tafeln unterzubringen, welche — getrennt vom Text — in einem eigenen, dem Textteil des Bandes folgenden, Beilageteil zusammengefaßt sind.

Es ist zu achten, daß die **Beschriftung** der Abbildungen bei Verkleinerung auf Satzspiegelformat nicht kleiner als 1 mm werden soll. Die Erläuterungen (Unterschriften) zu den Abbildungen, welche nach Möglichkeit zweisprachig (deutsch — englisch) sein sollen, werden hingegen gesetzt; sie sind auf einem Blatt gesammelt den Abbildungen beizulegen.

Signaturen: Bei der Verwendung von Rastern als Flächensignaturen ist auf eine ausreichende Hell-Dunkel-Abstufung zu achten. Strichsignaturen sollen möglichst der geologischen Erscheinung (Streichen und Fallen) angepaßt sein, weshalb starre Schraffen tunlichst zu vermeiden sind.

Allen Abbildungen ist ein direkter **Maßstab** in Form einer Maßleiste beizufügen. Bei Karten ist die Nordrichtung zu kennzeichnen. Bei Profilen sind Himmelsrichtung sowie Höhen- und Horizontalmaßstab anzugeben.

Die Abbildungsvorlagen müssen rückseitig oder randlich einen mit Bleistift und in Druckschrift ausgeführten Vermerk bezüglich Autor, Abbildungsnummer und Orientierung der Abbildung (Pfeil nach oben) aufweisen.

Tafeln: Es besteht die Möglichkeit, großformatige Abbildungen als Falttafeln getrennt vom Text beizulegen. Die geplante Anzahl von Tafeln ist wegen der dadurch verursachten Mehrkosten einzuschränken. **Farbtafeln** können nur bei maßgeblicher Kostenbeteiligung des Autors gedruckt werden.

4. Korrektur:

Insgesamt sind zumindest zwei Korrekturen vorgesehen.

Für die Korrektur sollen die im Duden veröffentlichten Korrekturzeichen verwendet werden.

Die korrigierten Fahnen sind termingemäß zu retournieren; andernfalls kann ein nicht rechtzeitig zurückgelangter Artikel für einen späteren Band zurückgestellt werden.

Nach der ersten Korrektur sind Änderungen gegenüber dem Manuskript nur dann zulässig, wenn unter Beibehaltung der Zeilenlänge nicht mehrere Zeilen oder gar ein ganzer Absatz neu gesetzt werden müssen. Alle darüber hinausgehenden Änderungen gehen auf Kosten des Autors.

Bei der Umbruchkorrektur (= 2. Korrektur) sind im Inhaltsverzeichnis die Seitenzahlen und allfällige Seitenhinweise im Text einzutragen. Andere Korrekturen außer Druckfehlerberichtigung sind in diesem Stadium zu vermeiden. Wenn aus Termingründen nötig, übernimmt die Schriftleitung die Durchsicht der Umbruchkorrekturen.

5. Sonderdrucke:

Jeder Autor erhält von der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten insgesamt 50 Freiexemplare; diese Anzahl bleibt auch bei mehreren Autoren dieselbe. Weitere Exemplare können gegen Bezahlung bezogen werden. Eine diesbezügliche Bestellung ist rechtzeitig (bei Rücksendung der ersten Korrektur) zu tätigen. Spätere Bestellungen können bei fortgeschrittener Druckarbeit nicht berücksichtigt werden.

Bisher in dieser Reihe erschienene Bände mit Kurztiteln der Arbeiten

Die von Jahrgang 1 (1949) bis Jahrgang 24 (1977) erschienenen Arbeiten sind zuletzt im 30./31. Band aufgelistet.

1978 Band 25

COLINS, E. & NACHTMANN, W.:

Geologische Karte der Villacher Alpe.

GROTTENTHALER, W.:

Die Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen zwischen Salzach und Pyhrnpaß.

LIEBERMAN, H. M.:

Carnitza Formation – ein neuer Begriff für oberkarnische Beckenkalke der südlichen Kalkalpen bei Raibl (Cave del Predil, Italien).

BECKER, L. P.:

Über das Bruchverhalten und Bruchgefüge bei einfacher Druckbeanspruchung in der tektonischen Geologie.

FAUPL, P.:

Zur räumlichen und zeitlichen Entwicklung von Breccien- und Turbiditserien in den Ostalpen.

MOSTAFAVI, M.:

Die Neogenentwicklung am Nordrand des Oberpullendorfer Beckens (Burgenland).

TICHY, G.:

Ammonitenfunde aus dem Wettersteinkalk des Dobratsch (Kärnten, Österreich).

FLÜGEL, E., LEIN, R. & SENOWBARI-DARYAN, B.:

Kalkschwämme, Hydrozoen, Algen und Mikroproblematika aus den Cidarisschichten (Karn, Obertrias) der Mürztaler Alpen (Steiermark) und des Gosaukammes (Oberösterreich).

SENOWBARI-DARYAN, B.:

Ein neuer Fund von *Placklesia multipora* BILGÜTAY aus den Kössener Schichten des Feichtensteins bei Hintersee (Salzburg, Österreich).

LEIN, R. & SIBLIK, M.:

A brachiopod fauna from the Spielkogel (Mürztaler Alpen, Styria): New data concerning the stratigraphic emplacement of *Tetractinella* (?) *dyactis* (BITTNER).

GAITANAKIS, P. & TSAILA-MONOPOLIS, St.:

Neue Daten zur Geologie und Stratigraphie der Insel Aegina (Griechenland).

LUEGER, J. P., WIRIBAL, J. & LEBEDA, M.:

Tabellen zur Rückkipfung einfach gekippter Schrägschichtungen.

EHRENBERG, K.:

Othenio Abels Werden und Wirken. Eine Rückschau zu seinem 100. Geburtstag am 20. Juni 1975.

1980 Band 26

Professor Dr. Eberhard Clar zum 75. Geburtstag.

KERN, A.:

Bericht zur Kartierung des Mittagkogel-Gebietes.

POHL, W. & NIEDERMAYR, G.:

Geology of the Mwatate Quadrangle (Sheet 195/2) and the Vanadium Grossularite Deposits of the Area.

- HORKEL, A., NAUTA, W. J., NIEDERMAYR, G. et al.:
Geology of the Taita Hills (Coast Province/Kenya).
- KAISER, J.:
Baugeologische Beschreibung des Dalaaser Tunnels der Arlberg Schnellstraße S 16 in Vorarlberg.
- RECH, W.-D.:
Scheitelfalten und scheidellose Falten.
- KOHLBECK, F., RIEHL-HERWIRSCH, G. et al.:
In situ Spannungsmessungen an der Periadriatischen Naht in der Ebriachklamm bei Eisenkappel (Kärnten, Österreich).
- DULLO, W.-C.:
Über ein neues Vorkommen von Tisovec-Kalk in den südwestlichen Gesäuse-Bergen (Admont, Steiermark).
- GRUBER, B., LEIN, R. & SEEGER, M.:
Ein karnischer Tisovec-Kalk mit *Halobia* (?) *clari* n. spec. aus den St. Pauler Bergen.
- SENOWBARI-DARYAN, B.:
Neue Kalkschwämme (Sphinctozoen) aus obertriadischen Riffkalken von Sizilien.
- SENOWBARI-DARYAN, B. & DULLO, W.-C.:
Cryptocoelia wurmi n. sp., ein Kalkschwamm (Sphinctozoa) aus der Obertrias (Nor) der Gesäuseberge (Obersteiermark/Österreich).
- STEIGER, T.:
Geologische Aufnahme des Zauchenbachtals und des Krahstein-Massivs am Südrand des Toten Gebirges N' Bad Mitterndorf (Nördliche Kalkalpen, Steirisches Salzkammergut, Österreich).
- THÖNI, M.:
Zur Westbewegung der Öztaler Masse. Räumliche und zeitliche Fragen an der Schlingüberschiebung.
- TROLL, G., BAUMGARTNER, S. & DAIMINIGER, W.:
Zur Geologie der südwestlichen schobergruppe (Osttirol, Österreich).

1981 Band 27

- HÄUSLER, H.:
Militärgeologie – ein Tätigkeitsbereich der angewandten Geologie.
- BECKER, L. P.:
Die baueologische Aufnahme der Sperrenaufstandsfläche beim Bau der Bogenstau-mauer Sölk/Stmk.
- BAUMGARTNER, P.:
Erd- und Schuttströme im Gschlifegraben bei Gmunden am Traunsee (OÖ). Zur Geologie, Entstehung, Entwicklung und Sanierung.
- SCHWINGENSCHLÖGL, R.:
Geologie der Kalkvorlpen und der subalpinen Zone im Raum Kirchberg/Pielach in Niederösterreich.
- HABART, F.:
Zur Geologie und Hydrogeologie des Unteren Pittentales (Niederösterreich).
- KUNZ, F.:
Baugeologische Beschreibung der Ostseite des Arlberg-Straßentunnels.

HÄUSLER, H.:

Über die Einstufung der Hallstätter Schollen im Bereich der westlichen Lammermasse (Salzburger Kalkhochalpen).

PROCHASKA, W.:

Einige Ganggesteine der Rieserfernerintrusion mit neuen radiometrischen Altersdaten.

SCHARBERT, S.:

Untersuchungen zum Alter des Seckauer Kristallins.

GÖD, R.:

Ein Beitrag zur Petrographie und Geochemie des Bergbaurevieres Schellgaden.

SADATI, M.:

Bacinella bicellularis n. sp., eine Alge (?) aus dem obertriadischen Riffkalk der Hohen Wand (Nieder-Österreich).

LEIN, R.:

Deckschollen von Hallstätter Buntkalken in Salzbergfazies in den Mürztaler Alpen südlich von Mariazell (Steiermark).

1982 Band 28

LEIN, R.:

Herrn Dr. Benno Plöchinger zum 65. Geburtstag.

THÖNI, M.:

Der Einfluß der kretazischen Metamorphose im Westabschnitt der ostalpinen Einheit: Interpretation geochronologischer Daten.

ROSSNER, R. & SCHWAN, W.:

Zur Natur der südvergente Deformationsstrukturen im NW-Teil des Tauernfensters (Tirol, Österreich).

MANDL, G. W.:

Jurassische Gleittektonik im Bereich der Hallstätter Zone zwischen Bad Ischl und Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich).

SENOWBARI-DARYAN, B.:

Cystothalamia GIRTY, eine häufige Schwamm-Gattung aus dem Karn von Slowenien (Jugoslawien) und Hydra (Griechenland).

HENRICH, R. & MIRSAI, I.:

A comparative study of the Supratidal and Basin Dolomites in the Anisien and Ladinian Carbonates of the "Hochstaufen Massif" (Northern Limestone Alps).

CERNY, I.:

Fazies und Pb-Zn-Vererzungen in den hangenden Raibler Schichten der Draukalkalpen.

LEIN, R.:

Vorläufige Mitteilung über ein Vorkommen von flyschoider Gosau mit Komponenten paleozäner Riffkalke in den Mürztaler Alpen.

SEIFERT, P.:

Sedimentologie und Paläogeographie des Eozäns der Waschbergzone (Niederösterreich).

BROSCH, F. J.:

Zur Baugeologie des Kalcherkogeltunnels (Pack, Steiermark/Kärnten).

WEISS, A.:

Die Anfänge der geologischen Durchforschung der Steiermark.

HÄUSLER, H. & SCHWINGENSCHLÖGL, R.:

Dissertationsverzeichnis des Institutes für Geologie der Universität Wien (1872–1981).

1983 Band 29

Herrn Prof. Dr. Erich Schroll zum 60. Geburtstag.

LOBITZER, H., GIACOMINI, R., MÜLLER, H. W., NÖTSTALLER, R. & SCHWAIGHOFER, B.:

Geology and Utilization of the "Pugu Hills" Kaolin Deposit, Tanzania.

EXNER, CH.:

Erläuterungen zur Geologischen Karte der Hafnergruppe (Blatt Muhr, Ö. K. 156 – Südteil, 1 : 25.000).

KOLLER, F., GRUNDMANN, G., WEINKE, H. H. & KLUGER, F.:

Geochemische Variabilität von Biotit- und Chloritschiefern aus Ultrabasiten der Habachformation (Tauernfenster).

EBNER, F.:

Erläuterungen zur geologischen Basiskarte 1 : 50.000 der Naturraumpotentialkarte „Mittleres Murtal“.

PAVUZA, R. J.:

Karsthydrogeologische Untersuchungen in den Kalkvoralpen S Waidhofen/Ybbs (Niederösterreich).

TRAINDL, H.:

Hydrogeologie der Kalkvoralpen im Raum Waidhofen/Ybbs – Weyer (NÖ, OÖ).

GÖTZINGER, M. A. & PAK, E.:

Zur Schwefelisotopenverteilung in Sulfid- und Sulfatmineralen triadischer Gesteine der Kalkalpen, Österreich.

Nachruf: Adolf Papp

1984 Sonderheft 1

HAGENGUTH, G.:

Geochemische und fazielle Untersuchungen an den Maxerbänken im Pb-Zn-Bergbau von Bleiberg-Kreuth/Kärnten.

1984 Band 30/31

Herrn Univ.-Prof. Dr. Helfried Mostler zum 50. Geburtstag.

SCHWINGENSCHLÖGL, R.:

Tektonische Großstrukturen der Erde und ihre Bedeutung bei der Projektierung und Ausführung von Großbauvorhaben.

NOWY, W. & LEIN, R.:

Zur Geologie des Bosruck-Autobahntunnels (Pyhrnautobahn, Österreich).

HESS, R. & ROSSNER, R.:

Die Lithofazies der Salberg-Schichtenfolge (Permoskyth) im Bereich Liezen–Admont (Steiermark, Österreich).

STINGL, V.:

Lagerungsverhältnisse des Permoskyth im Stanzertal, West-Tirol (Österreich).

MANDL, G.:

Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes – ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich).

LEITHNER, W. & KRYSSTYN, L.:

Paläogeographie, Stratigraphie und Conodonten-Biofazies des Westlichen Mitterberges (Trias, Niederösterreich).

GRUBER, B.:

Bemerkungen zur Morphologie und Ökologie von *Otapiria marschalli alpina* (ZAPFE) aus den Zlambachmergeln (Obertrias) von Österreich).

DULLO, W.-Ch. & TIETZ, G. F.:

Kalzitische Whisker- und Dendritenkristalle als Vorstufe zur Füllung von Klüften in Kalken.

POPP, F.:

Stratigraphische und tektonische Untersuchungen in der Schieferhülle der Hohen Tauern im Gerlostal (Tirol).

SONDERMANN, K. & VOGGENREITER, W.:

Strukturanalyse des Weißenecks in den S'Radstädter Tauern (Lungau, Österreich).

HEJL, E.:

Geochronologische und petrologische Beiträge zur Gesteinsmetamorphose der Schladminger Tauern.

GRATZER, R.:

Ein Beitrag zur Petrologie der Rieserferner Intrusion in Ost- und Südtirol.

1986 Band 32

Professor Dr. Christof Exner zum 70. Geburtstag.

Verzeichnis der wissenschaftlichen Publikationen von Prof. Exner

Verzeichnis der von Prof. Exner betreuten Dissertationen

WAGREICH, M.:

Schichtfolge und Fazies der Gosau von Lilienfeld

FRIMMEL, H.:

Petrographie, Gefügemerkmale und geochronologische Daten von Kristallingeröllen aus dem Oberkarbon der Gurktaler Decke im Vergleich zum benachbarten Altkristallin.

KOHLBECK, F., LAHODYNSKY, R. & SCHEIDEGGER, A. E.:

Gebirgsspannungsmessungen im Ischler Salzberg, Oberösterreich

SCHWINGENSCHLÖGL, R.:

Photogeologie und Bruchtektonik des Totengebirgsplateaus

DEUTSCH, A.:

Geochemie oligozäner shoshonitischer Ganggesteine aus der Kreuzeckgruppe (Kärnten/Osttirol)

HÄUSLER, H.:

Beispiele wehrgeologischer Aufgaben im 2. Weltkrieg

SENOWBARI-DARYAN, B.:

Neue Erkenntnisse über die Morphologie der Gattung *Pseudocucurbita* BORZA & SAMUEL (Foraminifera)