

# MITTEILUNGEN

DER ABTEILUNG FÜR  
GEOLOGIE, PALÄONTOLOGIE UND BERGBAU  
AM LANDESMUSEUM JOANNEUM



Festschrift

**Karl Metz**

zum 65. Geburtstag am 12. April 1975

gewidmet  
von seinen Schülern

Redaktion  
H. W. Flügel und W. Gräf

Die in Klammern angegebenen Seitenzahlen beziehen sich auf das „Jahrbuch der naturwissenschaftlichen Abteilungen am Joanneum in Graz“, das von der Steiermärkischen Landesbibliothek herausgegeben wird.

Festschrift

# Karl Metz

zum 65. Geburtstag am 12. April 1975

gewidmet

von seinen Schülern

Redaktion

H. W. Flügel und W. Gräf

*Die Herausgabe der vorliegenden Festschrift wurde durch folgende Behörden, Institutionen und Firmen finanziell unterstützt:*

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung  
Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Amt der Salzburger Landesregierung  
Ast & Co., Graz  
Beyer & Co., Graz  
Bleiberger Bergwerks-Union, Klagenfurt  
Büttinghaus, Graz  
Etschel & Meyer, Schladming  
Humanic Schuh AG., Graz  
IBM Österreich, Wien  
Kammer für Arbeiter und Angestellte für Steiermark, Graz  
Landes-Hypothekenbank Steiermark, Graz  
Oberösterreichische Kraftwerke-AG (OKA), Linz  
Österreichische Bundesbahnen, Generaldirektion, Wien  
Österreichische Salinen, Generaldirektion, Wien  
Perlmooser Zementwerke AG., Graz  
Rinner, Brunnenbau, Zeltweg  
Teiml & Spitzzy, Bau AG., Graz  
Veitscher Magnesitwerke AG., Wien

Für Form und Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Im Selbstverlag der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum, Raubergasse 10, A-8010 Graz. — Druck: Styria, Schönaugasse 64, 8010 Graz; Klischees: Rögner, Grazbachgasse 21—23, 8010 Graz.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
FLÜGEL, H. W. & GRÄF, W.: Redaktionelle Vorbemerkung .....	4
PETRASCHECK, W. E.: Zur Einbegleitung .....	7
Doktorarbeiten der Schüler von Karl Metz .....	9
Verzeichnis der Publikationen von Karl Metz 1930—1974 .....	13
BECKER, L. P.: Weitere Ergebnisse zur Geologie des nordöstlichen Stubalpenrandes.....	19
BRANDECKER, H. & VOGELTANZ, R.: Baugeologie des Bauloses „Klamm“, Gasteiner Bundesstraße (Salzburg).....	27
FLÜGEL, H. W.: Zwei neue Korallen der Sardar-Formation (Karbon) Ost-Irans .....	45
FREE, B.: Die Geologie und Genese der pyritischen Cu/Zn-Lagerstätten vom Typus Noranda in sauren Vulkaniten des südlichen kanadischen Schildes	55
GAMERITH, H. & KOLMER, H.: Zur Verteilung einiger Spurenelemente in kalkigen und dolomitischen Gesteinen des östlichen Hindukusch .....	65
GRÄF, W.: Eine permische Korallenfauna aus dem Iran .....	75
HADITSCH, J. G.: Neue Methoden zur Erfassung der Thermolumineszenz- und Fluoreszenzerscheinungen .....	83
HOMANN, O.: Einige Anwendungsmöglichkeiten von Bodenstabilisierungen im steirischen Straßenbau .....	93
KOPETZKY, G.: Neue Möglichkeiten für die Wasserversorgung der höher gelegenen Gebiete des Grazer Paläozoikums zwischen Gleinalpe und Mur	103
MANSOUR, A. T.: <i>Pfenderina</i> (Foraminifera) from the Jurassic sediments of Ethiopia .....	113
NEBERT, K.: Horizontalbewegungen im Braunkohlengebiet von Soma (Westanatolien) .....	133
RONNER, F.: Das Internationale Geologische Korrelationsprogramm (IGCP)	155
SKALA, W.: Zwei Beispiele zum Einsatz von Polynomial-Trendflächen-Analysen bei geologischen Fragestellungen .....	171
ZETINIGG, H.: Bemerkungen zur Gewinnung von Trink- und Nutzwasser aus Rutschhängen .....	183

## Redaktionelle Vorbemerkung

In seiner Abschiedsrede von der Universität zeigte Eduard Süss die beiden Pfeiler auf, die das Wirken eines Universitätsprofessors bestimmen sollten: Er ist Lehrender und Lernender zugleich. Das Ergebnis der erstgenannten Tätigkeit zeigt sich zuerst in den Doktorarbeiten, später im Wirken seiner Schüler, das Ergebnis des ständigen Lernprozesses in seinem eigenen Schaffen als Wissenschaftler. Dieses zweifache Wirken wollten wir auch in dieser kleinen Schrift zum Ausdruck bringen. Wir sind daher bewußt nur an eine Auswahl von Dissertanten von Karl METZ mit der Bitte um einen Beitrag herantreten, um in diesen Beiträgen das breite Spektrum des Wirkens der Schüler von Karl METZ aufzuzeigen. Leider zwangen uns die vorhandenen Mittel, die laufenden Kostensteigerungen und der Wunsch, diese Schrift möglichst rechtzeitig herauszubringen, dazu, umfangreichere Arbeiten zurückzustellen und weitestgehend auf der Einhaltung des gesetzten Abgabetermins der Manuskripte zu bestehen. Davon betroffen war leider die Annahme von Arbeiten der Herren E. FLÜGEL, HELFRICH, MAURIN, SCHIPPEK, SHINNAWI und WEISS, für die bereits Zusagen bzw. Manuskripte vorlagen. Dieser Ausfall von Arbeiten erzeugt ein gewisses Ungleichgewicht innerhalb der verschiedenen geowissenschaftlichen Arbeitsrichtungen, was wir bedauern, kommen doch gerade die Hauptinteressensgebiete von Karl METZ — die Tektonik und die Kristallingeologie — kaum zu Wort.

Die Herausgabe dieser Festschrift wäre nicht möglich gewesen, ohne die Gewährung namhafter Druckkostenbeiträge durch die a. a. O. angeführten Persönlichkeiten, Behörden, Körperschaften und Firmen. Ihnen allen gilt unser besonderer Dank!

H. W. FLÜGEL

W. GRÄF



*Handwritten signature*



## Zur Einbegleitung

W. E. PETRASCHECK, Leoben

Wenn Karl METZ von seinen zahlreichen Schülern einen Festband zu seinem 65. Geburtstag gewidmet erhält, so mag es doch nicht unrecht erscheinen, daß ein Kollege und Freund aus seiner Generation — wenngleich um einige Jahre älter — diesen Band einleitet. Denn diese Generation ist durch Ereignisse geformt und geeint worden, die in vielen Dingen des Lebens einige Maßstäbe setzte: Studium in den Zwischenkriegsjahren in dem liebenswerten Graz mit den liebenswerten erdwissenschaftlichen Universitätslehrern F. ANGEL, F. HERITSCH, E. SCHARIZER, R. SCHWINNER, Lehrern, die Zeit für ihre Schüler hatten, weil sie die nach der damaligen Universitätsstruktur noch haben konnten; letzte Nachwirkungen des vergangenen Weltkrieges, erst mahnend als Soldatenfriedhöfe bei den geologischen Exkursionen in den Karnischen Alpen, und erste Vorboten neuen Hasses; geldliche Knappheit bei Instituten und Professoren und Studenten, die die einfachen Dinge schätzen lehrte; dann der zweite Weltkrieg und seine Folgen, die uns zeigten, daß es wichtigere Dinge gibt als reinen wissenschaftlich-beruflichen Ehrgeiz; dann Jahre des befreiten Aufbaues im Beruf — und heute ein hetzender Druck, der den Menschen vom Technokraten scheidet.

Karl METZ hat all diese Phasen bestanden. Der alte Geist der Grazer Geologenschule, bodenständig verwurzelt in praealpinen Gebirgszügen und doch bewegt von alpinen Deckenschüben, ist in ein modernes Haus eingezogen.

Ein kurzer Abriss des wissenschaftlichen Werkes von METZ möge die Entwicklung kennzeichnen. Die ersten Publikationen von 1930 bis 1935 sind paläontologisch-stratigraphisch, dem ostalpinen Paläozoikum gewidmet. Die Arbeiten von 1937 bis 1950, während der Assistenten- und Dozentenjahre in Leoben bei meinem Vater entstanden, galten der Geologie und den Lagerstätten der östlichen Grauwackenzone. Die Berufung auf den Grazer Lehrstuhl ergab Möglichkeiten zum Einsatz arbeitsfreudiger Gruppen in den Niederen Tauern, die in einer Geologischen Karte der Steiermark (1958) und allgemeinen Ausblicken über das Grundgebirge der Ostalpen (1966) einmündeten.

Aufnahmen im Kilikischen Taurus, 1938 begonnen, leiteten großzügige Vergleichsstudien im Nahen Osten ein: 1953 bis 1955 in der SW-Türkei, 1961 in Persien, später in Arabien. Das war der Beginn einer Forschungsrichtung des Grazer Instituts über das Paläozoikum des Nahen Ostens, die von METZ' frühestem Schüler und Mitarbeiter, Prof. Dr. H. FLÜGEL, auf internationaler Ebene fortgesetzt wird. Sehr geschätzt und wegen der Klarheit des Aufbaues und des

Stils gern benützt ist das Lehrbuch der Tektonischen Geologie, 1957 in erster und 1967 in zweiter Auflage erschienen, die auch ins Spanische übersetzt worden ist.

In vielen Auslandsvorträgen und bei Gastprofessuren hat METZ die österreichische Wissenschaft vertreten: in Kalifornien, in der Schweiz, in der Bundesrepublik; dort hat er anlässlich seiner Wirksamkeit an der Bergakademie Clausthal die „tektonische Gefügekunde“ eingeführt. Dies war wieder eine Tat des Lehrers Karl METZ, dem als Zelt- und Lagerfreund seiner Schüler es hier zu gratulieren gilt.

Anschrift des Verfassers: Hochschulprofessor Dr. W. E. PETRASCHECK, Montanistische Hochschule, Institut für Geologie und Lagerstättenkunde, A-8700 Leoben

## Doktorarbeiten der Schüler von Karl Metz

### 1948

FLÜGEL, Helmut: Die Tektonik des Plesch-Mühlbacher-Zuges. Ein Beitrag zur Auflösung der Tektonik des Paläozoikums westlich der Mur.

### 1949

BRANDECKER, Hermann: Die Geologie der Grauwackenzone südlich der Enns zwischen Selzthal, Oppenberg und Aigen.

ERHART-SCHIPPEK, Franz: Das Paläozoikum zwischen Übelbach und Gamsgraben. Ein Beitrag zur Stratigraphie und Tektonik des Paläozoikums westlich der Mur.

GEBERT, Otto: Das Kristallin nördlich Pöllau, westlich des Masenberges (Oststeiermark).

JESENKO, Peter: Das Paläozoikum zwischen Frohnleiten und Mixnitz. Die Tektonik des Gschwendt-Schiffals, ein Beitrag zur Auflösung der Tektonik des Grazer Paläozoikums.

KAHR, Viktor: Das Paläozoikum im Raum von Stiwooll; Archaeocyathacea im Grazer Paläozoikum.

KRÖLL, Arthur: Das Paläozoikum zwischen Übelbach und Geisttal.

UNTERWELZ, Harro: Das Paläozoikum des Hochtrötsch-Rechberg-Zuges.

### 1950

FLIESSER, Willibald: Geologie und Petrographie des Passailer Schiefergebietes.

HEHENWARTER, Eckehard: Die Tabulatenfauna des Perm von Timor.

NEBERT, Karl: Die jungtertiäre Bucht von Pöllau und Hartberg.

### 1951

RONNER, Felix: Das Seckauer Kristallin zwischen Ingering und Gaal.

WALTER, Elmar: Das Miozän zwischen Stainz- und Gleinzbach.

### 1952

BEER, Hans: Das Miozän zwischen Sulm, Saggau, Pöbznitz und Gamlitzbach.

FRITSCH, Wolfgang: Die Geologie des Gebietes südlich von Öblarn.

HAUSWIRTH, Wilhelm: Die Westbegrenzung des Seckauer Kristallins zwischen Pöls und Gaal.

TRONKO, Wilhelm: Zur Frage der mechanisch-technischen Prüfung von Gesteinen im Zusammenhang mit ihrem Gefüge.

### 1953

- HELFRICH, Hans: Petrographie der Seckauer Intrusiva.  
MAURIN, Viktor: Die geologischen Verhältnisse im Raum zwischen Deutschfeistritz und Semriach.  
PLESSMANN, Werner: Geologie des Stubalpen-Ostrandes.

### 1954

- WEISS, Ernst Heinrich: Die Geologie der nordöstlichen Schladminger Tauern.

### 1955

- HOMANN, Oskar: Die Mürztaler Grauwackenzone zwischen Bruck a. d. Mur und Stanz.

### 1956

- HAAS, Hellmuth: Die Geologie der Schladminger Tauern zwischen Sattental und Gumpental.  
JENISCH, Viktor: Das Miozän zwischen Kainach und Stainzbach in SW-Steiermark.  
PLOTENY, Paul: Geologie des Gebietes zwischen Neumarkt und dem Zirbitzkogel.  
STACUL, Paul: I. Die Genera *Verbeekjella* Gerth, *Timorphyllum* Gerth, *Wannero-phyllum* n. gen. *Lophophylidium* Grabau aus dem Perm von Timor. II. Der Hochwipfelbruch zwischen Zollner-See und Rattendorferalm (Karnische Alpen, Kärnten).

### 1957

- DAHLKAMP, Franz Josef: Die Geologie und Petrographie des Ameringgebietes in der Stubalpe.  
DILLER, Wolfgang: Der miozäne Sedimentationsraum zwischen Gleinzbach und Schwarzer Sulm in Südweststeiermark.  
FLÜGEL, Erik Horst: I. Revision der Hydrozoen des Grazer Devons. II. Zur Geologie des Hochschlagstockes, E St. Erhard (Breitenau).  
FRISCH, Friedrich: Das Miozän zwischen Gamlitztal und Staatsgrenze in Südweststeiermark.  
GRÄF, Walter: I. Zur Geologie des Raumes zwischen Hochschlag und Brandstattgraben S Stanz/Mürztal. II. 1. Kritische Bemerkungen zu den als „*Cyathophyllum*“ *vermiculare* Goldf. 1826 aus dem Grazer Mitteldevon beschriebenen Formen. 2. Neue Korallenfunde im Mitteldevon des Hochlantschgebietes.  
KOPETZKY, Gottfried: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in Südweststeiermark.  
SY, Eberhard: Die Geologie nördlich des oberen Breitenauer-Tales.

### 1958

- EL-SHINNAWI, Mohamed Abdelwahab: Tektonische Analyse der Grauwackenzone bei Rottenmann (Steiermark) südlich des Paltentales.  
HADITSCH, Johann Georg: Die Geologie des Raumes zwischen Graz-Gösting, Judendorf und Straßengel.

SCHIMUNEK, Karl Wilhelm: I. Das Paläozoikum des Sausals in der SW-Steiermark. II. Einführung in einige Methoden der Biometrie. III. Revision der aus dem Grazer Paläozoikum beschriebenen Arten der Gattung *Hexagonaria* Gürich (Rugosa).

#### 1959

KIRATLIOGLU, Esat: Das Paläozoikum der Umgebung von Feke (Nord-Adana) SO-Türkei.

#### 1960

HAJEK, Harald: 1. Die Geologie des Raumes N Feistritz-Pulst im Glantal/Kärnten. 2. Revision der aus dem Grazer Mitteldevon als „*Cyatbophyllum*“ *torquatum* Schlüter 1884 beschriebenen Formen.

#### 1961

BOROVICZÉNY, Franz: 1. Geologie des Kammgebietes der Seetaler Alpen. 2. Biometrische Untersuchungen einiger Arten der Gattung *Favosites* LAMARCK.  
FREE, Bernhard: 1. Die Geologie des Raumes südlich St. Nikolai im SölktaI. 2. Einige Laccophyllidae aus dem Greifensteiner-Kalk bei Wiede.  
KHOSROWI SAID, Afrasiab: Die biostratigraphische Gliederung der oberdevonischen und karbonen Schichten beiderseits des Pailgrabens (Grazer Paläozoikum) mit Hilfe von Conodonten.

#### 1962

PICHLER, Klaus: 1. Die Geologie des Raumes zwischen Trautenfels und Wörschach nördlich der Enns. 2. Radiolarien und Spongien aus den Oberalmer-schichten des Steinbruches Leitner bei Puch, Hallein.  
ZETINIGG, Hilmar: Die Geologie des Pommesberges nordwestlich von Anger bei Weiz.

#### 1963

GESSNER, Dieter: Stratigraphisch-paläontologische Untersuchungen in den Reiflinger Kalken an der Typlokalität Großreifling (Enns).  
RATTIN, Stefano: I. Die Geologie des Raumes zwischen Wörschach und Liezen N der Enns.  
II. Die Mikroforaminiferenfauna aus dem Schreigraben bei Weißenbach.

#### 1964

BACHMANN, Heinz: Die Geologie des Raumes Oppenberg bei Rottenmann/Stmk.  
GAMERITH, Herfried: Die Geologie des Berglandes westlich und südwestlich von Oppenberg/Steiermark.  
HERZOG, Uwe: Geologische Untersuchungen als Grundlage eines Verbauungsplanes am N-Ufer des Millstätter Sees.  
MANSOUR, Abdelaziz Taher: 1. Quartärgeologische Untersuchungen im oberen Murgebiet (Judenburg — St. Michael ob Leoben). 2. Einige Diplograptiden aus dem libyschen Silur.  
SKALA, Wolfdietrich: 1. Typen der Karbonatgesteine der Wölzer Tauern. 2. Stratigraphische Beobachtungen an der Poludnig-Alm-Straße (Karnische Alpen).

VOGELTANZ, Rudolf: 1. Die Typen der hornblendenführenden Gesteine in den kristallinen Serien der östlichen Wölzer Tauern. 2. Die stratigraphische Stellung einiger Kalke zwischen Kleinem Pal und Nölblinggraben/K. A.

#### 1965

WENINGER, Heinz: Geologische Neuaufnahme des Gebietes zwischen Mosinz und Pressneralpe in Kärnten.

#### 1966

HASLER, Stefan: Die Geologie des Kristallins nördlich Pöls und Fohnsdorf.

#### 1967

FEHLEISEN, Fritz: Die Geologie des Gebietes um den Schöttlgraben (Oberwölz).

LITSCHER, Heinz: Die Geologie des Raumes Schwarzbach — Grössenberg — St. Georg/Obdachegg.

PETAK, Horst: Die Geologie des Bruderkogelgebietes westlich St. Johann am Tauern.

#### 1968

SCHAHRIARI, Sorab: Die Geologie im Bereich der Straße zwischen Aigen im Ennstal und Oppenberg (Nordseite des Gullingbaches/Obersteiermark).

#### 1969

PETSCHNIGG, Johann: Die Geologie der östlichen Seetaler Alpen.

YAMAC, Yücel: Geologie des Gebietes zwischen Eppenstein und Kienbergbach.

#### 1970

DOSA, Lazlo: Die Geologie des Gebietes zwischen Murtal und Blahbachtal südlich von Oberzeiring.

HÜBEL, Gert: Die Geologie des Gebietes östlich St. Nikolai im SölktaI.

#### 1971

BECKER, Leander Peter: Die Geologie des Gebietes zwischen Amering- und Gleinalmassiv.

DIEBER, Kurt: Die Geologie des Gebietes um Donnersbachwald.

TEKELI, Okan: Die Geologie des nordöstlichen Amering-Randgebietes in der Stubalpe.

#### 1972

HASRATI, Iraj: Die Geologie des Gebietes nördlich von Salla.

SCHUMACHER, Reinhold: Die Geologie des Südwestrandes des Gleinalm-Massivs.

#### 1974

PARSI, Sirous: Geologie der Umgebung des Schraussberges (Hohe Rannach bei Graz).

## Verzeichnis der Publikationen von Karl Metz

### 1930 — 1974

#### 1930

Beiträge zur Devonfauna im Grazer Paläozoikum. I. Fundpunkt Thalermühle. — Mitt. naturw. Ver. Stmk., 67, 116—120, Graz.

#### 1931

Detailaufnahme der Naßfeldschichten in der Umgebung der Ahornachalpe. — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 68, 216—217, Wien.

#### 1932

Notizen zur Gesteinskunde der österreichischen Ostalpen. (Zus. mit F. ANGEL). — Mineral. Petrogr. Mitt., 43, 175—181, Leipzig.

Über eine Fauna aus den Hochwipfelschichten der Karnischen Alpen. — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 69, 243, Wien.

Detailaufnahmen der Naßfeldschichten vom Schulterkofel nach West. — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 69, 243—244, Wien.

#### 1934

Die Schichtfolge vom Oberkarbon und Unterperm. (Zus. mit F. HERITSCH und F. KAHLER) in F. HERITSCH: Die Stratigraphie von Oberkarbon und Perm in den Karnischen Alpen. — Mitt. Geol. Ges. 26, 163—180, Wien.

#### 1935

Eine Fauna aus den untersten Schichten des Oberkarbon der Karnischen Alpen (Waideggerfauna). — N. Jb. Min. Geol. Paläont. (B), 75, 163—189, Stuttgart.  
„Choristiten“ aus den Karnischen Alpen. — Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., I, 144, 151—156, Wien.

Serizitporphyroide von Edling bei Trofaiach. (Zus. mit L. HAUSER). — Verh. Geol. B. A., 138—141, Wien.

*Spirifer fritschi* SCHELLWIEN, eine vergleichende Studie. — Zentralbl. Min. Geol. Pal., Abt. B, 298—304, Stuttgart.

#### 1937

Die tektonische Stellung diaphoritischen Altkristallins in der steirischen Grauwackenzone. — Zentralbl. Min. Geol. Paläont. 1937, B, 315—328, Stuttgart.

Über *Spirifer fritschi* SCHELLWIEN (Zus. mit F. HERITSCH). — Zentralbl. Min. Geol. Pal., 1937, B, 370—383, 16 Abb., Stuttgart.

Die stratigraphische Stellung der Veitsch aufgrund neuer Fossilfunde. — Bergu. Hüttenm. Jb., 85, 27—31, Wien.

### 1938

Über die tektonische Stellung der Magnesit- und Erzlagerstätten in der steirischen Grauwackenzone. — Berg- u. Hüttenm. Mh., 86, 105—113, Wien.

Aufnahmebericht Blatt St. Johann a. T. (5053). — Verh. Geol. B. A., 61—62, Wien.

Die Geologie der Grauwackenzone von Leoben bis Mautern. — Jb. Geol. B. A., 87, 165—193, Wien.

### 1939

Aufnahmebericht für 1938 Blatt. St. Johann a. T. — Verh. R. f. B., 56—57, Wien.

Beiträge zur Geologie des Kilikischen Taurus im Gebiete des Ala Dagh. — Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. (1), 148, 287—340, Wien.

Magnetische Bodenforschungen im Gebiete zwischen Leibnitz und Radkersburg. (Zus. mit K. FORBERGER). — Berg- u. Hüttenm. Mh., 87, 61—66, Wien.

### 1940

Die Geologie der Grauwackenzone von Mautern bis Trieben. — Mitt. R. f. B., 1, 161—220, Wien.

### 1945

Ein Beitrag zur Frage der Fortsetzung des Semmeringmesozoikums nach Westen. — Verh. Geol. B. A., 91—103, Wien.

### 1946

Permische Bryozoen aus Nordtibet. — Rep. Sci. China SVEN HEDIN, 29, III, (7) 172—191, Uppsala.

### 1947

Universitätsprofessor Dr. Franz HERITSCH. — Mitt. naturw. Ver. Stmk., 76, 5—16, Graz.

Bericht (1946) über Kartierung auf Blatt St. Johann a. T. — Verh. Geol. B. A., 38—40, Wien.

Morphologie und Tektonik einer Tiefenlinie in den Bergen des Liesingtales. — Mitt. naturw. Ver. Stmk., 76, 17—23, Graz.

### 1948

Bericht (1947) über geol. Kartierungen auf Blatt St. Johann am Tauern. — Verh. Geol. B. A., 57, Wien.

Bericht 1947 der Grazer Arbeitsgemeinschaft über das Grazer Paläozoikum. — Verh. Geol. B. A., 57—58, Wien.

Eisen- und Magnesitlagerstätten in den Ostalpen. — Geol. Fören. Förh., 363—368, Stockholm.

### 1949

Die Geologie der Talklagerstätte von Mautern im Liesingtale. — Berg- u. Hüttenm. Mh., 94, 149—157, Wien.

## 1950

Zur tektonischen Analyse der Umgebung der Mauterner Talklagerstätte in der steirischen Grauwackenzone. — Berg- und Hüttenm. Mh., 95, 191—201, Wien.  
Neues über den Bauplan der nordalpinen Grauwackenzone (Auszug). — Wandertagung Geol. Ges. Wien, 2, Wien.

## 1951

Bericht (1949) über praktisch-geologische Arbeiten. — Verh. Geol. B. A., 1950—51, 89—90, Wien.

Die regional-tektonische Bedeutung der Querstruktur von Treglwang-Gaishorn in der steirischen Grauwackenzone. — Berg- u. Hüttenm. Mh., 96, 86—94, Wien.

Querstrukturen in der nordöstlichen Steiermark. (Zus. mit H. FLÜGEL). — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 43—48, Wien.

## 1952

Tektonik und Metamorphose in den Seckauer Tauern und in der Grauwackenzone. — Verh. Geol. B. A., C, 82—84, Wien.

Die Frage der Vergleichbarkeit von nordeuropäischem und alpinem „Grundgebirge“. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 253—260, Stuttgart.

Zur Frage voralpidischer Bauelemente in den Alpen. — Geol. Rdsch., 40, 261—275, Stuttgart.

## 1953

Die stratigraphische und tektonische Baugeschichte der steirischen Grauwackenzone. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 44, 1—84, Wien.

Beiträge zur Kenntnis der Seckauer Tauern I. Die Kerngesteine (Gneise und Granite). (Zus. mit H. HELFRICH). — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 83, 130—157, Graz.

Beiträge zur Geologie des Raumes zwischen Dağça-Muğla-Dalaman Cay (SW-Anatolien). (Zus. mit G. v. d. KAADEN). — Bull. Geol. Soc. Turkey, 5, 71—170, Ankara.

Univ.-Prof. Dr. Robert SCHWINNER. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 84, 7—14, Graz.

Zur Kenntnis der Granatglimmerschiefer der Niederen Tauern. — Tschermaks Min. Petr. Mitt. (3), 4, 370—381, Wien.

## 1955

Zur Paläontologie des anatolischen Paläozoikums. — I. Neufunde im Paläozoikum SW-Anatoliens. — N. Jb. Geol., Paläont. Abh., 101, 257—266, Stuttgart.

Über Wesen und Verwendung von Serienbegriffen in den alten Gesteinen der Alpen. — Verh. Geol. B. A., 246—253, Wien.

Die Hochwipfelschichten der Karnischen Alpen. (Zus. mit F. KAHLER). — Verh. Geol. B. A., 253—260, Wien.

## 1956

Aufnahmebericht 1955 über Blatt Kalwang (131). — Verh. Geol. B. A., 69—70, Wien.

Prof. Dr. Alois HAUSER zum Gedenken. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 86, 5—10, Graz.

Robert SCHWINNER. — Mitt. Geol. Ges., 47, 1954, 317—326, Wien.

Fragen zur Tiefengliederung und tektonische Entwicklung in alpinotypen Faltengebirgen. — Carinthia II, Sh. 20, 107—116, Klagenfurt.

Die Geologie in der modernen Welt. — Ber. Kärntner Hochschulwochen, 104—105, Graz.

Zur Verbindung zwischen Taurus und Helleniden. — Berg- u. Hüttenm. Mh. 101, 26, Wien.

Ein Beitrag zur Kenntnis des Gebirgsbaues von Aladag und Karanfil Dağı und ihres Westrandes (Kilikischer Taurus). — Bull. Min. Res. Turkey, 48, 68—76, Ankara.

### 1957

Lehrbuch der tektonischen Geologie. — 294 S., Stuttgart (Enke).

Geologische Karte der Steiermark 1 : 300.000. — Steiermark-Atlas, Graz.

### 1958

Gedanken zu baugeschichtlichen Fragen der steirisch-kärntnerischen Zentralalpen. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 50, 201—250, Wien.

Alois HAUSER. — Mitt. Geol. Ges., 49, 351—355, Wien.

Aufnahmebericht (1957) über Blatt Kalwang (131). — Verh. Geol. B. A., 227—228, Wien.

Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 300.000. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 89, 87—103, Graz.

### 1960

Ein geologischer Streifzug durch die Seckauer Tauern. — Mitt. akad. Sekt. Graz, Österr. Alpenverein, 11, 16—25, Graz.

### 1961

Bericht über Aufnahmen 1960 auf Blatt Oberzeiring (130). — Verh. Geol. B. A., 40—41, Wien.

Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung des persischen Paläozoikums. — Bull. Geol. Inst. Uppsala, 40, 403—412, Uppsala.

### 1962

Aufnahmebericht 1961 (Blätter 130, 131). — Verh. Geol. B. A., A 39—40, Wien.

Das ostalpine Kristallin der Niederen Tauern im Bauplan der NE-Alpen. — Geol. Rdsch., 52, 210—226, Stuttgart.

### 1963

Manual de Geologia Tectónica. — 328 S., Verlag Omega, Barcelona.

Die Zukunft unserer Erde in geologischer Schau. — Wissenschaft und Zukunft, 45—60, Wien.

Aufnahmebericht 1962 (Kartenblatt 130, Oberzeiring). — Verh. Geol. B. A., A 32—33, Wien.

Neue Ergebnisse zur Geologie der Niederen Tauern. — Karinthin, 48, 20—29, Klagenfurt.

Les Montagnes a l'est des Hohe Tauern et leur place dans le Cadre Structural des Alpes Orientales. — P. FALLOT — Festschrift, 2, 491—501, Paris.

### 1964

Gosaubecken von Gams und Kristallin der Bösensteingruppe, Exkursion III/3. (Zus. mit H. KOLLMANN). — Mitt. Geol. Ges. Wien, 57, 269—280, Wien.

Leopold MÜLLER: Der Felsbau. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 94, 177—180, Graz.

Die Nordgrenze des Bösensteinkristallins nach neuen Wegaufschlüssen zwischen Trieben und Rottenmann/Steiermark. — Verh. Geol. B. A., 140—149, Wien.

Die Tektonik der Umgebung des Bösenstein und ihr Erkenntniswert für das Kristallin der nördlichen Steiermark. — Verh. Geol. B. A., 149—164, Wien.

### 1965

Gustav HIESSLEITNER. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk. 95, 304—307, Graz.

Das ostalpine Kristallin im Bauplan der östlichen Zentralalpen. — Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., (I), 174, 229—278, Wien.

### 1966

Heinrich KÜPPER: Geologie von Wien. — Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 96, 122, Graz.

New Synthetic Aspects of the Tectonics of the Eastern Section of the Austrian Central Alps. — Tectonophysics, 3, 129—146, Amsterdam.

Steirischer Onyx. — In: Schätze aus Österreichs Boden: Notring-Jahrb., 95, Wien.

### 1967

Lehrbuch der tektonischen Geologie. — 2. Aufl., 357 S., Stuttgart (Enke).

Zum Problem einer Seriengliederung der Wölzer Glimmerschiefer. — Joanneum, Miner. Mittbl., 66—69, Graz.

Geologische Karte der Republik Österreich, Blatt Oberzeiring — Kalwang. — Geologische Bundesanstalt, Wien.

Wilhelm PETRASCHECK. — Berg- u. Hüttenm. Mh., 112, 221—225, Wien.

### 1968

Grundzüge des geologischen Baues der Steiermark, mit geol. Karte der Steiermark 1 : 300.000. (Zus. mit A. THURNER). — Steiermark, Land—Leute—Leistung; 2. Aufl., 26—73, Graz.

Jungtertiärvorkommen in Ingering, NW Knittelfeld. (Zus. mit W. GRÄF). — Verh. Geol. B. A., 124—131, Wien.

### 1971

Das Problem der Grenzzone zwischen Wölzer Glimmerschiefern und Ennstaler Phylliten. — Carinthia II, Sh. 28, 159—166, Klagenfurt.

Die Gaaler Schuppenzone als Südgrenze der Seckauer Masse. — Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., 100, 57—71, Graz.

Das Alter der Pegmatite des Raumes Bretstein — Pusterwald (Wölzer Tauern, Steiermark). (Zus. mit E. JÄGER). — Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 51, 411—414, Zürich.

1972

Probleme der Gliederung präkambrischer, phyllitisch metamorpher Gesteinskomplexe im Hedjaz, Saudi-Arabien. — Geol. Rundschau, 61, 87—96, Stuttgart.

1973

Beiträge zur tektonischen Baugeschichte und Position des Fohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbeckens. — Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, 33, 4—33, Graz.

# Weitere Ergebnisse zur Geologie des nordöstlichen Stupalpenrandes

Leander Peter BECKER, Graz

mit 2 Abbildungen, und einer Beilage

## I. Einführung

Die vorliegende Arbeit ist als unmittelbare Fortsetzung der 1974 vom gleichen Autor erschienenen Publikation (BECKER, 1974) anzusehen. Das hier beschriebene Gebiet liegt auf Blatt Köflach (162) der österreichischen Karte 1 : 50.000. Die Nord- bzw. Nordwestgrenze verläuft am Kamm der Terenbach-Alpe zur Roßbach-Alpe und von hier Richtung Ruine Hauenstein, die Südgrenze wird durch den Fahrweg Sattel Haus—Wetterkogel und von hier gegen Stübler im Oswaldgraben markiert. Die östliche Begrenzung ist identisch mit der Nord-Süd verlaufenden Blattgrenze.

Über bisherige Arbeiten in diesem Raum bzw. deren unmittelbaren Nachbargebieten wurde in der oben erwähnten Arbeit bereits ausführlich berichtet. Die vorliegende Publikation stellt eine Weiterführung der Neukartierungen des Blattes Köflach im Auftrag der Geologischen Bundesanstalt, Wien, dar.

## II. Geologisch-tektonischer Bau

Das bearbeitete Gebiet kann in drei Gesteinseinheiten gegliedert werden:

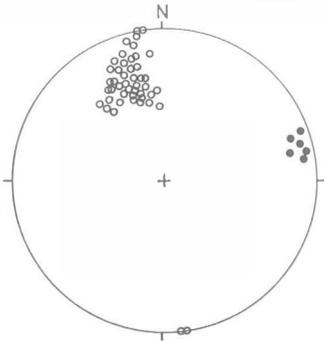
in einen liegenden Kristallinanteil (*Stub-Gleinalm-Kristallin*),  
in einen paläozoischen Karbonatkomplex (*Grazer Paläozoikum*) und  
in die hangendste Einheit der Gosau-Konglomerate (*Kainacher Gosau*).

Das Kristallin selbst wird wiederum in vier Einzelkomplexe aufgliedert:

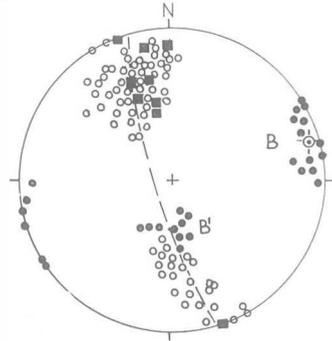
AMPHIBOLIT-KOMPLEX  
GLIMMERSCHIEFER-KOMPLEX  
MARMOR-KOMPLEX UND  
PEGMATOIDER GNEIS-KOMPLEX

Die Lagerungsverhältnisse gehen aus der geologischen Karte (Beilage 1) bzw. den Gefügediagrammen (Abb. 1) hervor, wobei vom Gesamtgebiet vier Einzeldiagramme hergestellt wurden.

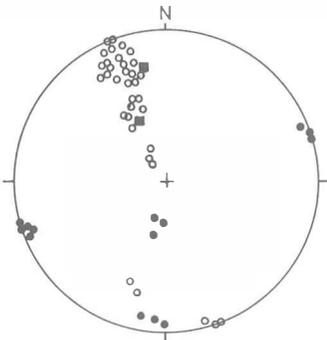
## GEFÜGEDIAGRAMME



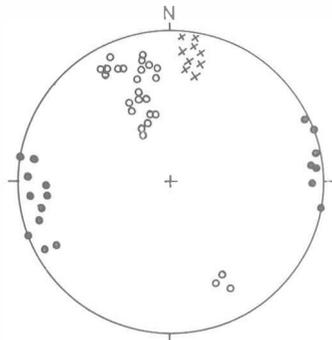
I. GLIMMERSCHIEFER - KOMPLEX



II. MARMOR - KOMPLEX



III. PEGMAT. GNEIS-KOMPLEX



IV. PALÄOZOIKUM

### LEGENDE :

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ sf - Flächenpole (Schieferung)</li> <li>× ss - Flächenpole (Schichtung)</li> <li>■ Störungsflächenpole (h0l) (von lokalen Störungen)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ gemessene Faltenachse</li> <li>⊙ konstruierte - - - (π-Punkt)</li> <li>— π - Kreis</li> </ul> |
|--|--|

Abb. 1: Gefügediagramme

Die Karte zeigt ein sehr gleichmäßiges Streichen der einzelnen Gesteinszüge. Die Maximalstreichwerte liegen im kristallinen Anteil bei etwa  $70-75^\circ$ , wogegen das Einfallen eine starke Veränderlichkeit aufweist. Im Glimmerschiefer-Komplex haben wir noch ein annähernd regelmäßiges, mittelsteiles (um  $60^\circ$ ) Südost-Fallen, während im Marmor-Komplex flaches bis steiles Fallen gemessen werden konnte, und zwar nach N bzw. NW wie auch nach S bzw. SE. Dieses pendelnde Einfallen weist auf intensivste Verfaltungen hin, wobei vorwiegend Biegescher- und reine Scherfalten vorliegen. Besonders gut sind diese Faltungstypen in den Marmorbrüchen zu beobachten. Es liegt die Vermutung nahe, daß — besonders durch den starken Gesteinswechsel in diesem Komplex — hier ein isoklinaler Faltenbau mit Nordvergenz vorliegt, der jedoch durch die z. T. spärlichen Aufschlußverhältnisse in einem Profil nicht eindeutig wiedergegeben werden kann.

Das sf-Flächengefüge im Pegmatoiden Gneis-Komplex scheint wieder etwas gleichmäßiger vorzuliegen, nur wenige Schieferungsflächen zeigen ein steiles N-Einfallen. Die Liegendanteile des paläozoischen Kalkkomplexes, die Karbonatphyllite, besitzen konkordantes Schieferungsgefüge, bezogen auf den letztgenannten, kristallinen Komplex. Die hangenden Kalkschiefer bzw. die mehr oder weniger massigen Kalke zeigen dazu eine leichte Diskordanz, d. h. ein E-W bis ESE-WNW-Streichen mit sehr steil stehendem S-Einfallen der ss-Flächen (siehe Abb. 1, Diagramm IV). PLESSMANN 1954 hat bereits auf diese Winkeldiskordanz hingewiesen. (Zur Grenze Paläozoikum/Kristallin siehe auch Literaturhinweise bei PLESSMANN, Paläozoikum siehe FLÜGEL 1961.)

Wie das Planargefüge der sf-Flächen, so liegt auch das Faltungsgefüge mit recht guter Gleichmäßigkeit vor. Die Hauptachsenrichtungen streichen durchwegs parallel sf (im Mittel mit  $70-80^\circ$ ) und tauchen dabei nur sehr flach gegen W bzw. E ein, so daß generell von einer annähernd horizontalen Achsenlage gesprochen werden kann. Der konstruktiv über die Polpunkte aller sf-Flächen (in Diagramm III) konstruierte mittelwertige Achsendurchstoßpunkt ergab einen Wert von  $B = 74/10$  E. Diese Achsenlage zeigt einen älteren, syn- bis posttektonischen Deformationsplan, wogegen die in der Regel steil bis mittelsteil ( $50-80^\circ$ ) nach S abtauchenden B'-Achsen einem jüngeren Verformungsakt zugeordnet werden müssen, die — in einigen Aufschlüssen deutlich erkennbar — das ältere B-Gefüge überprägen.

Der B'-Bauplan ist genetisch in den Grundtyp der Biegeverfaltungen einzuordnen, d. h. reine Verbiegung unter seitlicher Verkürzung, wobei hier als Druckrichtung (Einengungsrichtung) E-W anzugeben ist. Diese Biegefalten können gelegentlich — wenn die Biegespannung überschritten wird und es zur Bildung von Scherbrüchen parallel zu den Achsenebenen kommt — zu Biegescherfalten führen.

Die zahlreichen Störungen (lokaler Natur) besonders im Marmor- und Pegmatoiden Gneis-Komplex gehören einer jüngeren Bruchtektonik an. Die Störungsflächen bzw. -bündel sind gekennzeichnet durch mehrere dm- bis m-breite Mylonitstreifen und Zerrüttungsstreifen mit Zerreibsel und Kluffletten. Daneben konnten, wenn auch seltener, Verschiebungsklüfte mit Harnischbildungen, Spiegelflächen, Gleitstriemung usw. beobachtet werden. Die Störungsflächen lagen durchwegs sf-parallel, wobei die Beweglichkeit ebenfalls parallel der Schieferung erfolgte, ohne jedoch einen charakteristischen Bewegungssinn erkennen zu lassen.

### III. Zur Grenze Kristallin/Paläozoikum

Die Grenze Kristallin/Paläozoikum ist als eine tektonische anzusehen. Die Grenze selbst ist keine scharfe Linie, sie verläuft als Störungsband entlang den beiden lithologisch verschiedenen Einheiten. Die Deformation an dieser Grenzzone greift sowohl in die hangenden Kristallin- wie auch in die liegendsten Karbonatpartien ein.

Der im Hangenden diaphthoritisch überprägte Staurolithgneiszug ist auf eine Bewegung entlang dieser Grenze zurückzuführen. Das gleiche gilt auch für die Karbonatphyllite, die eindeutig als schwach metamorph beeinflusste Kalkschiefer anzusehen sind. Das Mikro- und Makrogefüge beider Grenzzüge ist gleichartig gerichtet. Das durch die Diaphthorese im hangenden Pegmatoiden Gneis-Komplex erzeugte jüngere Schieferungsgefüge ( $sf_1$ ) liegt parallel zu dem älteren  $sf$ , wogegen das  $sf_1$ -Gefüge der Karbonatphyllite winkelig zu dem ehemaligen  $ss$  (sedimentäres Planargefüge) steht. Beide  $sf_1$  (in den Diaphthoriten wie in den Phylliten) sind wiederum konkordant, demnach auch gleich alt.

prädeformativ → bezügl. Ü.		Kristallin Staurolithgneis		Paläozoikum (Kalkschiefer - Kalke)	
Almandin- Amphibolitfazies	B 2.3				
	B 2.2				
	B 2.1				
Grünschiefer- fazies	B 1.3				
	B 1.2				
	B 1.1				
nicht metamorph					
syn-bis post-deformativ bezügl. Ü.		Staurolith- gneis	St-gneis diaphth.	Karbonat- phyllit	Kalksch. u. Kalke

Ü (=Überschiebung)

Abb. 2: Stark schematisierte Metamorphoseverhältnisse im Grenzbereich Kristallin/Paläozoikum. Erläuterungen im Text.

Noch deutlicher wird der tektonische Charakter dieser Grenze durch den scharfen Metamorphosesprung hervorgehoben. Abb. 2 gibt stark schematisierte Metamorphoseverhältnisse in diesem Grenzbereich wieder. Die oberste Reihe stellt die lithologischen Verhältnisse vor der Deformation, d. h. vor der Anschubung des Paläozoikums auf die Kristallineinheit (durchgezogene Schraffur) dar. Vertikal wurde der Grad der Metamorphose aufgetragen, und zwar von „nicht metamorph“ über die „Grünschieferfazies“ bis zur „Almandin-Amphibolitfazies“ nach dem „Barrow-Typ“. Die beiden metamorphen Fazies wurden dann noch untergliedert in ihre Subfazies (siehe H. G. F. WINKLER, 1967). Wir erkennen also im Staurolithgneis eine recht hochgradige Metamorphose, die im Bereich von B. 2. 1 bis B. 2. (Staurolith-bzw. Disthen-Almandin-Subfazies) liegt. Das Paläozoikum hingegen ist nicht metamorph.

Durch die tektonische Beeinflussung (stark druckbetonte Metamorphose in Grünschieferfazies) beim Zusammentreffen beider Einheiten wurde im Grenzbereich eine Umprägung der verschiedenartigen Gesteine hervorgerufen. Es hat eine Angleichung stattgefunden, d. h. die Staurolithgneise unterlagen einer Diaphthorese, die zur Grenze hin merklich zunimmt (bis zu B. 1. 2), gleichgradig wurde der liegende Karbonatanteil schwach metamorph überprägt, es fand eine in der Grünschieferfazies (ebenfalls bis B. 1. 2) liegende „Phyllitisierung“ der Kalkschiefer statt, die nun zum hangenden Teil hin relativ rasch abnimmt (gestrichelte Schraffur). Die untere Reihe gibt die nun vorliegenden lithologischen Verhältnisse wieder. So wie der Staurolithgneis allmählich in immer stärker wirkende Diaphthorese übergeht, so haben wir auch keine scharfe Grenze vom Karbonatphyllit zu seinem metamorph nicht beeinflussten Kalkschiefer.

Die Grenze Kristallin/Paläozoikum ist im bearbeiteten Bereich eine tektonische, wobei syntektonisch eine „Verschweißung“ derselben stattgefunden hat.

PLESSMANN 1954 und FLÜGEL 1958 haben bereits auf die tektonische Natur dieser Grenze hingewiesen.

#### IV. Gesteinsbeschreibung

In der schon erwähnten Arbeit von BECKER, 1974, wurden die wichtigsten metamorphen Gesteine eingehend beschrieben, so daß hier lediglich auf eine kurze Handstückbeschreibung eingegangen wird. Daneben werden — ohne Prozentangabe — die Mineralparagenese und sekundäre Umsetzungen stichwortartig wiedergegeben. Die in Klammer angegebenen Minerale liegen akzessorisch vor.

##### GLIMMERSCHIEFER-KOMPLEX

Zweiglimmerschiefer:

Graubraunes bis mittelgraues  $\pm$  quarzitisches Gestein mit z. T. Hellglimmeranreicherungen auf den Schieferungsflächen und biotitreicheren Lagen im mm-Bereich. Nicht selten durchziehen mm-mächtige Quarzlagen parallel sf das Gestein, der Durchmesser der Granate schwankt zwischen einigen mm bis max.  $\frac{3}{4}$  cm. Die Variationsbreite dieser Gesteinstypen ist sehr breit (vom Handstück bis Aufschlußbereich):

Quarzitischer Zweiglimmerschiefer

Quarzitischer Biotitschiefer

Biotitschiefer

Granat-Muskovitschiefer usw.

Mineralparagenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Muskovit + Biotit + Granat (+Disthen + Staurolith + Turmalin und Unbestimmbares).

Zweiglimmergneis:

Diese Gesteinsart unterscheidet sich vom Zweiglimmerschiefer einmal durch ihren etwas höheren Quarz- und Plagioklasgehalt und andererseits durch das gneisige Gefüge. Der Gneis ist gelegentlich mehr oder minder quarzitisches, die Granate sind wesentlich feinkörniger (max. Durchmesser 2—3 mm).

Mineralparagenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Muskovit + Biotit + Granat (+ Disthen + Turmalin + Chlorit und Unbestimmbares).

## MARMOR-KOMPLEX

Marmor im allgemeinen:

Durch die guten Aufschlußverhältnisse der zahlreichen Marmor-Steinbrüche („Salla-Marmor“) ist die Vielfalt der einzelnen Marmortypen gut erkennbar:

Reiner, weißer Marmor, meist grobkristallin,  
grauer bis blaugrauer, feinkörniger Marmor,  
gebänderter Marmor (Bänderung von mm bis dm),  
heller Glimtermarmor,  
dunkelgrauer Glimtermarmor bis Silikatmarmor.

Mineralparagenese:

Calzit oder/und Dolomit + Muskovit + Quarz (+ Biotit + Epidot + Erz + Graphit? + Unbestimmbares).

Sekundäre Umsetzung:

Dolomit + Quarz in Tremolit + Calcit.

Quarzitischer Gneis:

Es ist dies ein feinkörniger, häufig plattiger, feinschiefriger Gneis mit reichlichem Quarzanteil. Je nach dem Glimmeranteil kann der Gneis lokal zu quarzitischem Gneisglimmerschiefer oder Quarzitgneis übergehen.

Paragenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Biotit + Muskovit + Granat (+ Epidot + Disthen + Erz + Unbestimmbares).

Disthenführender Gneis („Disthenflasergneis“):

Dieses Gestein weist im Handstück meist eine deutliche Bänderung von pegmatoiden (Quarz/Plagioklaslagen, mm-Mächtigkeiten) und glimmerreicheren Lagen bis Linsen auf. Gelegentlich können Quarz/Plagioklas-Aggregate in augiger Form (Durchmesser um 2—4 m) vorliegen.

Paragenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Muskovit + Biotit + Disthen (+ Granat + Epidot + Unbestimmbares).

### Quarzitischer Glimmerschiefer:

Dunkelgrauer bis dunkelbrauner, feinkörniger, biotitreicher Glimmerschiefer, dessen Granatporphyroblasten Durchmesser bis 2 cm erreichen können. Bei steigendem Quarzgehalt geht der quarzitischer Glimmerschiefer in dunkle Glimmerquarzite (Biotit-Quarzite) über, die jedoch in der Karte durch ihre geringe Mächtigkeit nicht eigens ausgeschieden wurden.

#### Paragenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Biotit + Muskovit + Granat (+ Epidot + Turmalin + Graphit? + Erz + Unbestimmbares).

#### Sekundäre Umsetzungen:

Biotit in Chlorit

Granat in Biotit, Chlorit und Epidot

### Staurolith-Granat-Glimmerschiefer:

Dieser z. T. quarzitischer Glimmerschiefer ist im Handstück nur schwer vom quarzitischer Glimmerschiefer zu unterscheiden, auch er ist meist feinkörnig und von dunkler Färbung, besitzt jedoch einen auffallend hohen Staurolithanteil. Die Staurolithstengel können hierbei mehrere mm Größe erreichen.

#### Mineralparagenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas + Muskovit + Biotit + Granat + Staurolith (+ Epidot/Klinozoisit + Turmalin + Disthen + Erz und Unbestimmbares).

## PEGMATOIDER GNEIS-KOMPLEX

### Staurolithgneis / -diaphthorit:

Meist dunkelgraues, z. T. plattiges, überwiegend feinkörniges Gestein mit wechselndem Granatanteil. Die Staurolithstengel sind nicht selten makroskopisch ausgebildet und besitzen dann einen Durchmesser bis 0,5 cm und eine maximale Länge von 2 bis 3 cm. Einzelne mm-mächtige Quarzlagen können lagenweise auftreten.

Die Diaphthorite zeigen phyllonitischen Habitus mit blastokataklastischem Gefüge. Die Granate sind durch intensive Bewegungen parallel sf in dieser Richtung ausgewalzt bzw. als Feinkorntrümmer kettenartig aneinandergereiht.

#### Mineralparagenese:

Quarz + Plagioklas/Oligoklas-Andesin + Muskovit + Biotit + Granat + Staurolith (+ Epidot + opakes Erz? + Unbestimmbares).

#### Sekundäre Umsetzungen:

Granat in Biotit + Chlorit + Epidot

Biotit in Chlorit

Plagioklas in Serizit + Klinozoisit

Staurolith in Serizit

## PALÄOZOIKUM

### Karbonatphyllit:

Mittelgraue, feinschiefrige, karbonatreiche Phyllite mit z. T. seidenglänzenden sf-Flächen. Die Schieferungsflächen zeigen schmal wellige Deformation, daneben sind zweischarige Zerscherungsbilder im Handstückbereich deutlich zu beobachten. Gelegentlich durchziehen feine rostbraune (Limonit?) Zwischenlagen (im mm-Bereich und darunter) das Gestein.

### Mineralparagenese:

Calcit + Quarz ± Plagioklas/Albit-Oligoalbit + Muskovit + Biotit (+ Epidot + Chlorit + Erz + opake Substanz + Unbestimmbares).

### Kalkschiefer und Kalke:

Die Kalkschiefer sind dunkelgraue bis blaugraue, plattige bis blättrige Kalke mit zahlreichen, bis mehrere dm mächtigen schwarzen Tonschieferhorizonten. Diesen Kalkschiefern eingeschaltet (vornehmlich im hangenden Anteil), sind dunkelgraue massive, mehr oder minder ungeschichtete (selten flaserige) Kalke, die, ebenso wie die Kalkschiefer, von zahlreichen weißen Calcitäderchen durchzogen werden.

Zum „Grazer Paläozoikum“ siehe FLÜGEL 1961, 1972 und 1975 mit der dort angegebenen Literatur. Zur Kainacher „Gosau“ verweise ich auf die Arbeit von W. GRÄF in H. FLÜGEL 1975: 83—98.

## V. Literatur

- BECKER, L. P.: Beitrag zur Geologie des nordöstlichen Stubalpenrandes. — Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., 104, Graz 1974.
- FLÜGEL, H. W.: 140 Jahre geologische Forschung im Grazer Paläozoikum. — Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., 88, 51—78, Graz 1958.
- , Die Geologie des Grazer Berglandes (Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes 1 : 100.000). — Mitt. Mus. Bergb. Geol. & Techn. Landesmus. Joanneum, 23, 212 S., 46 Tab., 4 Abb., Graz 1961.
- , Das Paläozoikum von Graz. — Exkursionsf. 42. Jahresvers. Paläont. Ges., 117—140, 7 Abb., Graz 1972.
- , Die Geologie des Grazer Berglandes (Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes 1 : 100.000), 2., neubearb. Aufl. — Mitt. Abt. Geol. Paläontol. Bergb. Landesmus. Joanneum, SH 1, 288 S., 47 Tab., 6 Abb., Graz — Wien 1975.
- PLESSMANN, W.: Die geologischen Verhältnisse am Westrand der Grazer Bucht. — N. Jahrb. Geol. Paläont., Mh., 295—310, Stuttgart 1954.
- WINKLER, H. G. F.: Die Genese der metamorphen Gesteine. — Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg — New York 1967.

Anschrift des Verfassers: Dr. L. P. BECKER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz, Österreich.

# Baugeologie des Bauloses „Klamm“, Gasteiner Bundesstraße (Salzburg)

Hermann BRANDECKER & Rudolf VOGELTANZ, Salzburg\*

mit 7 Abbildungen im Text und als Beilagen

## Inhalt

	Seite
I VORWORT .....	28
II GESCHICHTE, PLANUNG UND LINIENFÜHRUNG .....	29
III GEOLOGISCHE ÜBERSICHT .....	32
1. Gesteine .....	32
2. Tektonik .....	32
3. Morphologie und Lockerböden .....	34
IV DER KLAMMTUNNEL .....	36
1. Allgemeines und technische Daten .....	36
2. Geologische Aufschlüsse im Tunnel .....	36
3. Die Bergwasserverhältnisse .....	39
4. Geotechnische Daten .....	40
V DIE KLAMMSTEINBRÜCKE .....	41
1. Allgemeines .....	41
2. Die Untergrundverhältnisse .....	42
3. Die Gründung der Widerlager und Stützen .....	42
VI ZUSAMMENFASSUNG .....	43
VII ANHANG .....	43
VIII LITERATUR (Auswahl) .....	44

### Abbildungen:

- 1: Lageplan des Bauloses „Klamm“ der Gasteiner Bundesstraße B 167
- 2: Gasteiner Klamm, Felsstürze Paßhöhe
- 3: Klammtunnel, Gefügediagramm in der Klammkalkserie

### Beilagen:

- A: Gasteiner Klamm, Geologisches Profil
- B: Klammtunnel, Geologischer Längenschnitt des Südportal-Bereiches
- C: Klammtunnel, generalisierter geologischer Längenschnitt
- D: Klamsteinbrücke, Geologisches Längenprofil

\* Die Klischeekosten der Beilagen wurden in dankenswerter Weise von der Salzburger Landesregierung getragen.

## I. Vorwort

Die siebziger Jahre des gegenwärtigen Jahrhunderts sind in der verkehrsmäßigen Erschließung des durch seine Heilquellen und Naturschönheiten weltberühmten Gasteinertales von wesentlicher Bedeutung. Konnte doch im Februar 1974 das Kernstück der Gasteiner Bundesstraße B 167, die eigentliche Klammstrecke zwischen Gigerach (südlich von Lend) und Klammstein, bestehend aus dem fast 1,6 km langen Klammstunnel und der 114 m langen Klammsteinbrücke, dem Verkehr übergeben werden.

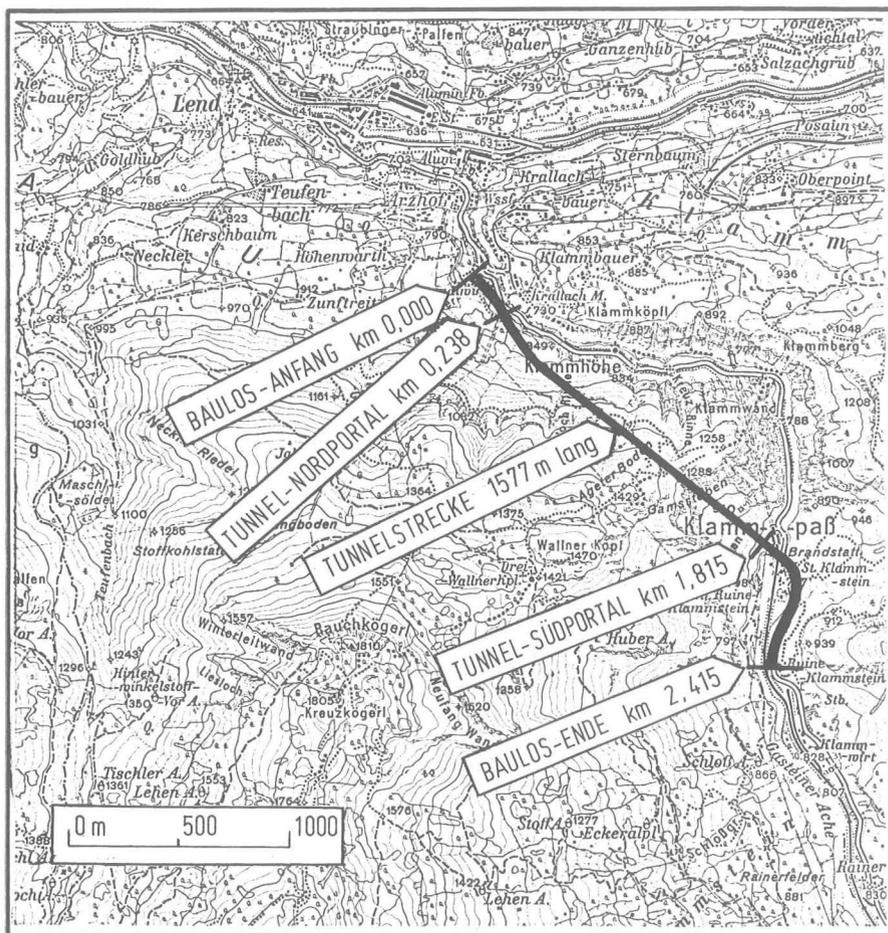


Abb. 1: Lageplan des Bauloses „Klamm“ der Gasteiner Bundesstraße B 167

Von der 12,6 km langen Anstiegsrampe vom Salzachtal bei der Mauth (rund 610 m NN) in das Gasteinertal bei Klammstein (rund 805 m NN) sind außerdem der Mauth-Tunnel und die Mauth-Brücke mit den anschließenden hohen Hanganschnitten, die einen außerordentlich großen Sicherungsaufwand erforderten, fertiggestellt. Die Großbauvorhaben Kenlach-Brücke und Gigerach-Brücke über die mehr als 50 m tiefe Klamm Schlucht sowie der doppelstöckige, ca. 160 m lange Gigerach-Tunnel sind in Bauvorbereitung. Als letztes Teilstück der Umfahrung von Lend und des Lender Berges soll noch in diesem Jahrzehnt das Straßenbaulos „Loifarn“ mit teils beträchtlichen und geologisch schwierigen Anböschungen der Steilhänge des rechten, südlichen Salzachufers beendet werden (Abb. 1).

Die beim Bau des Klamm-Tunnels und der südlich anschließenden Klammsteinbrücke (Baulos „Klamm“) angetroffenen geologischen Verhältnisse sind zum Teil recht aufschlußreich und verdienen ebenso wie die gewonnenen baueologischen Erfahrungen eine Publikation. Die beiden Autoren, die mit den geologisch-geotechnischen Vorgutachten betraut waren und auch die baueologische Betreuung der Baustellen innehatten, danken dem Amt der Salzburger Landesregierung (Landesbaudirektor Wirkl. Hofrat Dipl.-Ing. Christian WILLOMITZER) für die Genehmigung zur Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse und für die Beistellung von Unterlagen. (Verzeichnis der mit der Projektierung, Bauleitung und Begutachtung befaßten Stellen siehe Anhang.)

## II. Geschichte, Planung und Linienführung

Die erste intensivere Besiedlung des Gasteinertales erfolgte wahrscheinlich im 9. Jh., und zwar durch einen Zugang über den Drei-Wallner-Sattel (1421 m) westlich der Klamm. Im 13. Jh. wurde ab Schwarzach in der südlichen Talflanke, ungefähr entlang der Tauernbahn bis oberhalb des Lender Wasserfalles und von dort linksufrig der Gasteiner Ache, etwa der alten Klammstraße folgend, ein Saumweg angelegt. Der Aufschwung des Goldbergbaues veranlaßte die Gewerken des Gasteinertales Anfang bis Mitte des 16. Jh.s durch Sprengungen einen Fahrweg herzustellen, der mit dem Rückgang des Bergbaues allerdings wieder an Bedeutung verlor und daher dem teilweisen Verfall preisgegeben war. Erst die Eröffnung des Schienenweges zwischen Salzburg und Kärnten durch die Tauernbahn brachte in Verbindung mit den Heilquellen den enormen Aufschwung des gesamten Tales. Mit der raschen Zunahme der Motorisierung einerseits und des Wintersportes andererseits wurde auch die Notwendigkeit eines sicheren Straßenzuges immer vordringlicher. Dem Ausbau des alten Klammweges durch Verbreiterungen waren jedoch trotz umfangreicher Schutzmaßnahmen gegen Steinschlag, Eis- und Schneelawinen Grenzen gesetzt. Insbesondere der rapid ansteigende Durchzugsverkehr vom Norden nach dem Süden über die Tauernbahnschleuse verlangte einen leistungsfähigen und wintersicheren Straßenzug.

Nach verschiedenen Vorarbeiten vor dem 2. Weltkrieg wurden in den fünfziger Jahren umfangreiche Studien über Neutrassierungen im Klammbereich durchgeführt. Die großen Geländeschwierigkeiten und die damit verbundenen hohen Kosten standen jedoch der Realisierung eines Vollausbaues — nach damaligen Vorstellungen — im Wege. Heute ist diese Entwicklung zu begrüßen, weil die

seinerzeitigen Pläne keineswegs ein Optimum darstellten und mit ihnen vor allem die Sicherheit des Verkehrs nicht in befriedigendem Ausmaß hätte erlangt werden können.

Eine entscheidende Wende brachten erst die zielstrebigem Planungen und umfangreichen Untersuchungen in den Jahren 1968 bis 1970 durch das Amt der Salzburger Landesregierung und dessen Gutachter. Zunächst wurden im Raum Gigerach-Klammstein sieben Trassenvarianten entworfen und diese dem baugelogischen Berater zur Beurteilung vorgelegt. Diese Linien folgten im nördlichen Bereich im wesentlichen der bestehenden Straße; erst für den südlichen Abschnitt war u. a. auch eine Untertunnelung des Klammkalkzuges geplant. Schon die ersten Geländebegehungen und an kritischen Punkten (Tunnelportale) abgeteufte Kernbohrungen zeigten, daß alle diese Linien mit baugelogisch erheblichen Hindernissen belastet waren. So wurden beispielsweise in den Portalbereichen der zum Gelände sehr schleifenden Tunnelachsen mächtige Schuttmassen sowie im Gründungsbereich von notwendigen Ufermauern tiefreichende Seetonablagerungen festgestellt. Für auskragende Halbbrücken und Hangbrücken schließlich konnten infolge Unterschneidung durch Klüfte für die Pfeilerfundierungen keine verläßlichen Aufstandsflächen gefunden werden bzw. wären diese sowie die hohen Anschnitte in Fels- und Schuttlehnen nur durch sehr aufwendige technische Sicherungsmaßnahmen zu beherrschen gewesen. Außerdem hätten alle sieben Varianten das wesentlichste Problem der Gasteiner Klamm ebenfalls nicht befriedigend gelöst, nämlich den Schutz gegen Felsstürze, was im April 1970 eindrucksvoll und nachhaltig demonstriert wurde. Damals lösten sich (wohl unter der Wechselwirkung von Frost und Tau sowie durch hydraulischen Schub des Kluftwassers) aus der Steilwand oberhalb der Paßhöhe längs wandparalleler Klüfte ganze Wandteile (siehe Abb. 2). Nur dem Zufall war es damals zu danken, daß dabei lediglich geringer Sach- und Personenschaden verursacht wurde. Eine weitere latente und kaum unter Kontrolle zu bringende Gefahr bestand in einer Riesenkluft beim sogenannten „Stinkofen“; dort droht ein mehrere tausend Kubikmeter großer Felskopf unmittelbar oberhalb der Straße abzustürzen.

Die Beobachtungen über die weit fortgeschrittenen und unaufhaltsamen Deformationen der hohen, teils überhängenden Felswände der Gasteiner Klamm veranlaßten schließlich den geologischen Gutachter, von offenen Linienführungen abzuraten, da hiefür selbst schwere Steinschlagdächer keinen ausreichenden Schutz gewährleisten. Daher wurde seitens des Gutachters (Dr. BRANDECKER) empfohlen, den gesamten Klammzug mittels eines rund 1,6 km langen Straßentunnels westlich der Klamm zu durchfahren. Es ist der Weitsicht der Verantwortlichen des Bundesministeriums für Bauten und Technik und des Amtes der Salzburger Landesregierung zu danken, daß sie diesem Vorschlag trotz der Mehrkosten gegenüber den anderen Varianten ihre rasche Zustimmung gaben, und so konnte das Bauvorhaben nach nur 24monatiger Bauzeit (Tunnelbaukosten 216 Mio, Brückenkosten rund 20 Mio S.) fertiggestellt werden.

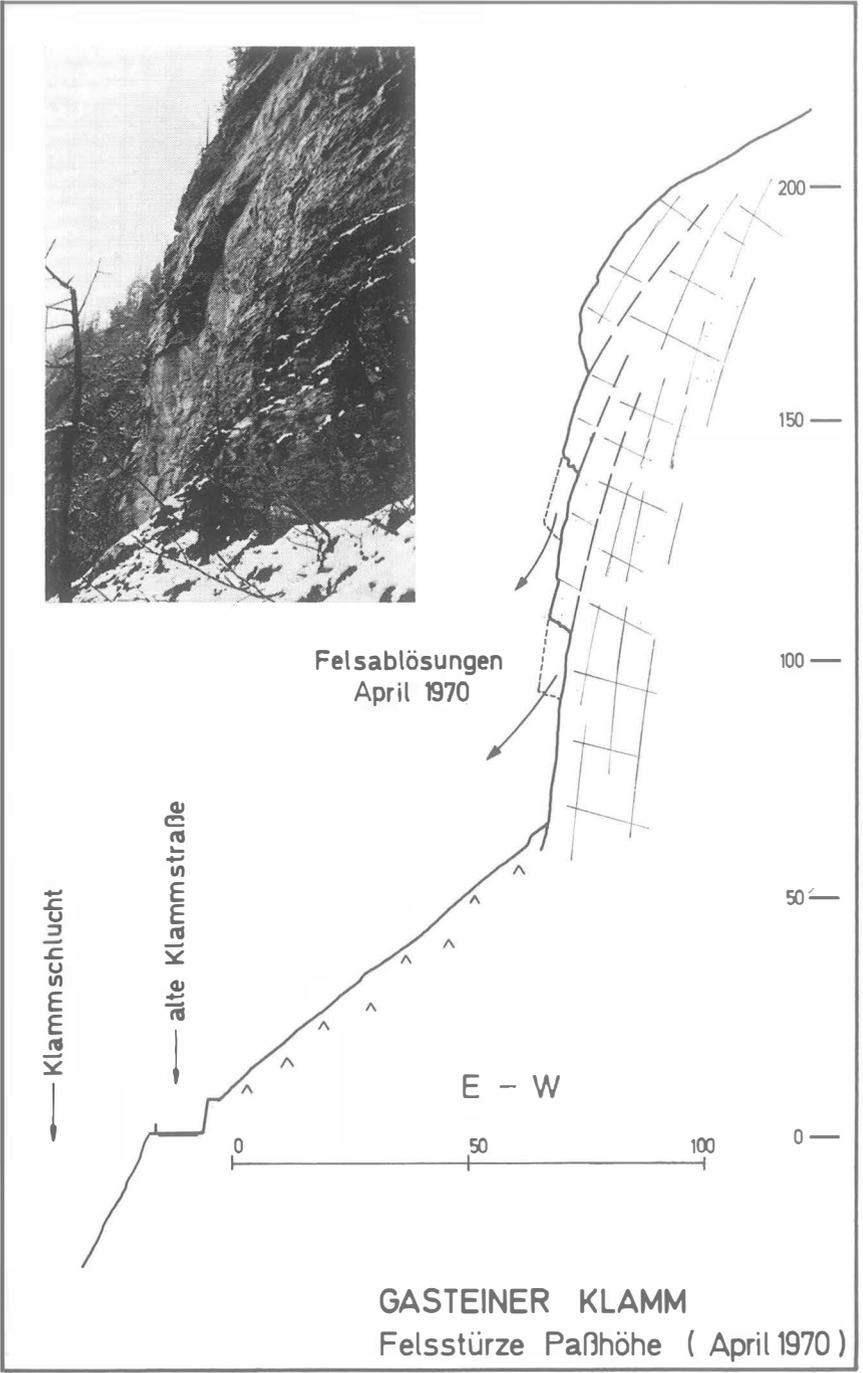


Abb. 2: Gasteiner Klamm, Felsstürze Paßhöhe

### III. Geologische Übersicht

Der hier besprochene Bauabschnitt liegt im Bereich der Klammzone, die sich in ENE-WSW-Richtung erstreckt und zwischen Lend und Klammstein eine Breite von etwa 2,5 km aufweist. Die bedeutendsten Höhen im Westen der tief eingekerbten Klamm sind der Wallnerkopf (1470 m), das Rauchkögl (1810 m), die Gamsstuben (1288 m) und die Klammwand (1258 m).

#### 1. GESTEINE

Der gesamte Klammzug wird im wesentlichen von drei Kalkzügen aufgebaut, zwischen denen breitere Zonen von karbonatischen Schiefen bis Phylliten („Kalkphylliten“), die hier lithologisch den schwarzen Phylliten der Bündnerschieferserie sehr nahe stehen, sowie Serizitschiefer (mit Übergängen zu grünen Phylliten und Serizitquarziten) eingeschaltet sind.

Nicht alle diese Gesteine sind obertags aufgeschlossen, so etwa der von BRAUMÜLLER (1939, S. 48 ff.) aus dem Gebiet des Rauriser und des Fuscher Tales beschriebene, auch im Klammtunnel und in den Kraftwasserstollen der SAG Lend (FISCH 1932, HORNINGER 1944) angetroffene Chloritquarzitserizitphyllit, der hier mit dem Klammkalk vergesellschaftet ist und von FRASL (1958) ebenfalls zur Bündnerschieferserie gezählt wird. Eine genauere Beschreibung der beim Tunnelbau angetroffenen Gesteinsserien, insbesondere des durch seine Stengel- oder Scheitertextur typischen Klammkalkes und dessen Variationen bis zum Klammphyllit (TRAUTH, 1925 und 1927), erfolgt im Abschnitt IV.

Die innerhalb des Baubereiches vorhandenen Lockerböden sind auf die Talweitung des Gasteinertales oberhalb der Klammstrecke beschränkt und wurden daher nur beim Tunnel-Südportal und bei der Gründung der Klammsteinbrücke vom Baugeschehen berührt.

Es handelt sich hauptsächlich um

- a) wärmezeitliche Moränen und ältere Schotterreste in tieferliegenden Hanglagen;
- b) spät- bis postglaziale Stauseeablagerungen (Seetone) und mit diesen verzahnende fluviatile Sedimente (meist Sande);
- c) ältere und jüngere, z. T. rezente Bergsturzmassen und Hangschutt;
- d) junge bis rezente Fluß- und Schuttkegelablagerungen (Hochflutsande und Schotter z. T. verlehmt) und schließlich um
- e) künstliche Aufschüttungen, bestehend aus Ausbruchmaterial des naheliegenden Klammtunnels der Tauernbahn.

#### 2. TEKTONIK

Die tektonische Stellung und Einwurzelung der hauptsächlich aus stengeligen oder mehr oder minder verschieferten Kalken, Kalkphylliten, Schwarzphylliten und grünen Schiefen bis Phylliten bestehenden Klammserie ins Unterostalpin (Radstädter Einheit) oder in das Penninikum ist noch immer umstritten, wenngleich jüngere geologische Aufnahmen ziemlich eindeutig (bes. durch FRASL, 1958, und MOSTLER, 1963, S. 133—134) auf eine Zuordnung in das Pennin der Tauernschieferhülle schließen lassen.

Die durch den Tunnelausbau erhaltenen Aufschlüsse, aber auch die für die Straßenbauvorhaben im Raume Mauth-Gigerach durchgeführten Bohrungen bestätigen indessen die enge Verknüpfung der größtenteils als mesozoisch anerkannten karbonatischen Klammgesteine mit den kalkigen Serien der Bündnerschiefer, aber auch mit Ophioliten, u. a. mit Serpentin und Diabas bei der Kenlachbrücke. So konnten an verschiedenen Stellen lithologische Übergänge zwischen Klammkalken und dessen Variationen oder Klammphylliten und schwarzen, teilweise auch grauen Phylliten des Rauriser Typus beobachtet werden. Allerdings sind zwischen den stengelig ausgewalzten Klammkalken und den schwarzen Phylliten verschiedentlich (z. B. längs der alten Klammstraße bei Gigerach) auch scharfe, störungsbedingte Grenzen wahrzunehmen, die einen primären Kontakt in Zweifel ziehen könnten.

Zu der in letzter Zeit lebhaft diskutierten Nordgrenze der penninischen Tauernschieferhülle kann auch auf Grund baueologischer Untersuchungen ein Beitrag geleistet werden. Zwar liegt das Baulos „Klamm“ noch innerhalb der Klammserie, aber das Gesamtbauvorhaben reicht im Nordosten bei der Mauth (zwischen Lend und Schwarzach) bis in die Grauwackenzone hinein. Dort sind im steilen rechten Hang des Salzachtales auf engem Raum hellgelbliche brekziöse Dolomite bis Dolomitsande und rosafarbige Bänderkalke der Radstädter Zone in steil N-fallender Position mit graugrünen, z. T. stahlgrauen Phylliten (wahrscheinlich Schieferhülle) und dem schon erwähnten Serpentin in offensichtlich gestörtem, also tektonischem Kontakt. Südlich, im Liegenden des über mehrere Kilometer sich erstreckenden Dolomitzuges, wurden in 30 bis 45 m langen Horizontal- und Schrägbohrungen (für Verankerungen und Entwässerungen) ebenfalls die schwarzen Phyllite — ähnlich wie im Klammtunnel — in sedimentärem Verband mit mehr oder minder verschieferten, typischen Klammkalken erbohrt.

Sieht man von den kompakteren Klammkalken ab, sind die Gesteine außerordentlich zerdrückt und mylonitisiert. Diese Zerlegung steht eindeutig in Zusammenhang mit der steil nordfallenden Tauernnordrand-Störung (Salzachtalstörung), die auch hier (VON MOSTLER, 1964, schon näher beschrieben) durch einen mehrere Zehnermeter breiten, dunkelgrauen bis tiefschwarzen, tonigen Mylonit sehr deutlich markiert ist. Der Mylonitstreifen verläuft etwa entlang der Achse der neuen Mauthbrücke, schwenkt jedoch beim Widerlager Schwarzach nach Süden und beim Gasteiner Widerlager nach Norden ab.<sup>1</sup>

Die Bauaufschlüsse bestätigen damit die besonders von FRASL (1958) vertretene tektonische Position der Klammserie, nämlich enge Verknüpfung der Klammkalke und dessen Spielarten mit dunklen Phylliten des Rauriser Typus, also der Bündnerschieferserie. Übergänge der Klammserie zu den Karbonatgesteinen der unterostalpinen Radstädter Einheit wurden dagegen nicht festgestellt, vielmehr sind zu diesen Gesteinen deutliche Grenzen durch meist mehrere Meter breite

---

<sup>1</sup> Der genaue Verlauf der Störung ist aus dem Gutachten H. BRANDECKER (1969) ersichtlich. Der Mylonitstreifen wurde außerdem im Sommer 1974 von A. ASCH im Raume St. Johann—Wagrain im Rahmen einer geologischen Kartierung verfolgt. H. BRANDECKER konnte seine östliche Fortsetzung in der Gegend von Reitdorf (nördlich Flachau) finden, wo derzeit größere Abragsarbeiten für die Tauernautobahn durchgeführt werden und dort nicht zuletzt deshalb große Schwierigkeiten bezüglich der Standsicherheit der Böschungen auftreten.

Störungen vorhanden. Die hauptsächlich erst nördlich der Salzach anstehenden Gesteine der Grauwackenzone sind, zumindest im Untersuchungsraum, sowohl von der Radstädter Einheit als auch von den penninischen Serien durch den oben beschriebenen Mylonit sehr deutlich getrennt. Der interne tektonische Bau der Klammzone wird im Abschnitt IV näher behandelt. Er zeichnet sich durch eine weitgehend einheitliche Lagerung des Flächen- und Achsengefüges mit etwa E-W bis ESE-WNW streichenden Strukturen aus. Dem alpinen Bau entsprechend, wirkte sich die allgemein bekannte N-S-Einengung besonders am Nordrand der Tauern durch lebhafte Verwalzung und Verschuppung aus. Über die Raumstellungen der Hauptklufscharen geben das beiliegende Kluftdiagramm (Abb. 3) und die Erläuterungen im Abschnitt IV näher Auskunft.

### 3. MORPHOLOGIE UND LOCKERBÖDEN

Der vorwiegend aus kompaktem Klammkalk bestehende Klammzug ist in anschaulicher Weise nach den Hauptkluftsystemen und den dazu parallel verlaufenden Störungen zerlegt. Zu dieser tektonischen Vorzeichnung kommt noch die glaziale und fluviatile Erosion, an der noch heute die Gasteiner Ache arbeitet. Sie folgt im Klamm-Südteil zunächst der steilen Nord-Süd-Kluftscharr (K 1), ab etwa Klammmitte der Kluftscharr K 2 bzw. dem flachen Streichen und den Linearen der B-Achsen. Die Ausbildung einer ausgeprägten, rund 150 m hohen Stufenmündung der Gasteiner Ache in die in weichen Grauwackengesteinen oder in der Tauernnordrandstörung liegenden, stark eingetieften Salzach steht in Zusammenhang mit dem Härteunterschied zu den kompakten Klammkalkzügen. Die Auskolkungen in den Härtlingsgesteinen, den Klammkalken, sind bis über die Klammpaßhöhe (834 m) hinaus zu beobachten; in den polierten Strudellöchern des Flußbettes zeichnen sich die vielseitigen und typischen Verfaltungen der Klammkalke gut erkennbar ab. Die steilen, teilweise sogar überhängenden Felswände in der Klammstrecke verlaufen weitgehend im Streichen markanter Kluftsysteme.

Über die geologische Entwicklung des Talbodens südlich des Klammeinganges haben die Bauarbeiten für die Gasteiner Straße bemerkenswerte Erkenntnisse gebracht. Es ist zwar bekannt, daß zwischen dem mittleren Hauptkalkzug und dem dritten, südlichsten Kalkzug Phyllite eingefaltet sind, daher war dort neben der Talausweitung auch eine Taleintiefung zu vermuten; sie war jedoch nicht im jetzt bekannten Ausmaß zu erwarten. Die im Zuge der verschiedenen Bauvorhaben (Klammsteinbrücke alte und neue Situierung, Klammsteintunnel-Nordportal) bis 50 m Tiefe niedergebrachten Rotationskernbohrungen haben nämlich weder in Talmitte noch am rechten Talrand (beim Klammsteintunnel-N-Portal) den Felsuntergrund erreicht. Wie aus den Beilagen A und D ersichtlich, liegt eine sehr beträchtliche (mehr als 70 m?) Übertiefung gegenüber der Felschwelle im südlichen Drittel der Klammstrecke vor. Zwar hat die glaziale und fluviatile Ausräumung in den weicheren Schiefen und Phylliten leichtes Spiel gehabt; in den harten, oft an Kieselsäure reichen Klammkalken der gegen Norden schmaler werdenden Klamm jedoch war der Widerstand sicherlich erheblich. Die durch Störungen und Klüfte (vielleicht auch durch Verkarstung?) begünstigte Erosion der Klammkalkzone muß aber auch durch bis in geologisch junge Zeit stattgefundenen Hebungen ganz wesentlich gefördert worden sein.

Nach jüngsten und durch Messungen entlang der Tauernbahn auch zahlenmäßig belegten Beobachtungen erreichen die Hebungen am Südrand des Tauernfensters 1,2 mm pro Jahr. (E. SENFTL und Chr. EXNER, 1973.) Selbst wenn die Bewegungen im Norden geringer waren, ergeben sich seit dem Pleistozän beträchtliche Beträge, wobei auch Teilbewegungen zwischen den Klammkalken und der unteren Schieferhülle eine Rolle gespielt haben könnten. Für die noch in der Würmeiszeit stattgefundenen Ausräumung und Aushobelung des fjordartigen Beckens spricht schließlich die offenbar fehlende glaziale Vorbelastung der schlufftonigen Stausedimente.<sup>2</sup>

An der Auffüllung des Talbodens sind hauptsächlich spät- bis postglaziale Seetone (nach der Körnung tonige Schluffe und Feinsande, in rascher Wechsellage verzahnt oder in Übergängen zueinander) als sedimentierte Schlammtrübe der Gletscherwässer beteiligt. Wie die Aufschlüsse für den Tunnelvortrieb zeigten, reichen an der linken Talflanke die von Moränen unterlagerten und mit Bergsturz- und Hangschuttmaterial verzahnten pelitischen Stausedimente noch ca. 15 m über die derzeitige Talsohle in eine Höhe von etwa 805 m NN. Eine palynologische Bestimmung ihres Alters durch Frau Dr. I. DRAXLER (Geologische Bundesanstalt, Wien), der hierfür bestens gedankt sei, blieb leider ohne Erfolg, da die Proben steril waren.

Mit der allmählichen Tieferlegung der stauenden Felsschwelle infolge Zerschneidung durch den Fluß gelangten über den zum großen Teil wieder ausgeräumten Seetonen gröbere Sande zur Ablagerung, die vor allem im Bereich der rechten Talwange mit Schuttkegelmateriale verzahnen. Die Durchsägung der sich hebenden Felsschwelle hatte aber auch eine teilweise Ausräumung der im Bereich des Tunnel-Südportals liegenden mächtigen Bergsturz- und Hangschuttmassen zur Folge. Ihre Ablagerung ist einerseits mit der über die „Gamsstuben“ verlaufenden störungsbedingten Runse und dem Auftreten weicherer Phyllite in Verbindung zu bringen, andererseits durch die lebhafteste, z. T. noch heute andauernde Bergsturzaktivität der dort steilen Felsflanken bedingt. Der für den Tunnel ungünstige, weil weit unter Gelände liegende Verlauf der Felsoberfläche konnte bereits vor Baubeginn durch seismische Untersuchungen recht zutreffend ermittelt werden, wengleich der Fels zunächst flacher verlief als vermutet. (Siehe Beilage B.)

---

<sup>2</sup> Eine sehr ähnliche Situation liegt im Bereiche des Salzachdurchbruches durch das Tennen- und Hagengebirge südlich der Salzachöfen (südlich von Golling) vor. Anlässlich der Errichtung der Autobahnbrücke über Salzach, Bundesbahn und Bundesstraße konnten die vorgenommenen Aufschlußbohrungen sogar in 50 m Tiefe noch keinen Fels erreichen, so daß auch dort ein Anstieg der Felssohle flußabwärts von mindestens 40 m auf eine Entfernung von rund 2 km vorhanden sein muß. Wie bei Klammstein ist auch im Salzachtal der enge Talschlauch von bindig-plastischen Seetonen bis nahe unter das heutige Gelände aufgefüllt; schluffige Feinsande der oberen Verlandungsphase des ehemaligen schmalen Gletschersees reichen sogar noch bis rund 20 m über den heute von Bahn und Bundesstraße beanspruchten Talboden. Es zeigt sich also auch hier, daß an der Übertiefung des Tales nicht nur junge Hebungstektonik, sondern in hohem Maße auch die Glazialerosion (und auch Verkarstung?) beteiligt gewesen sein muß.

## IV. Der Klammtunnel

### 1. ALLGEMEINES UND TECHNISCHE DATEN

Der 1577 m lange Klammtunnel ist der bisher fünftlängste Straßentunnel Österreichs. Sein Ausbruchsquerschnitt beträgt 77 m<sup>2</sup>, wobei die Ausbruchshöhe 7,80 m (ohne Sohlgewölbe) bzw. 9,60 m (mit Sohlgewölbe) betragen. Die lichte Höhe bis zur Zwischendecke beträgt 4,60 m. Die Umkehrnische in Tunnelmitte ist 30 m lang und 26,5 m breit. Der Tunnel steigt mit 2,17% gegen Süden, der Südportalbereich liegt in einer Kuppe, ca. 1200 m der Strecke verlaufen in einer Geraden, der kleinste Kurvenradius (im Nordportalbereich) beträgt 350 m.

Von den rund 280 Mio. Schilling Gesamtbaukosten für das Baulos „Klamm“ entfallen allein 216 Mio. Schilling auf den Tunnel.

Der bergmännische Vortrieb erfolgte von Norden nach Süden im 1418 m langen Klammkalk-Klammphyllit-Trum nach kürzeren, jedoch hohen Voreinschnitten, die umfangreiche Sicherungen verlangten. Von Jänner bis Mai 1972 wurde zunächst ein Sohlstollen von 8 m<sup>2</sup> Ausbruchsquerschnitt geschlagen, der arbeits-technische Vorteile, einen gebirgsschonenden Ausweitungsausbruch und bessere Bewetterung für den Vollausbuch brachte. Von Juli bis Dezember 1972 wurde der Vollausbuch mit einer maximalen Tagesvortriebsleistung von 21 m und einer mittleren Vortriebsleistung von 17,5 m/Tag durchgeführt. Für den insgesamt 113.000 m<sup>3</sup> umfassenden Felsausbruch wurden 110 t Sprengstoff benötigt, und zwar Tunnelit 3 für die Kranzschüsse und Gelatine-Donarit 1 für den Kernausbruch. Daraus ergibt sich für den Klammkalk und den Klammphyllit ein mittlerer spezifischer Sprengstoffverbrauch von 0,97 kp/m<sup>3</sup>. Das Überprofil betrug im Mittel ca. 5 m<sup>2</sup>, das sind etwa 6,5% des theoretischen Ausbruchsquerschnitts.

Von März bis September 1972 wurde das 137,5 m lange Lockermassen-Trum beim Südportal von obertags in vier Etappen vorgetrieben: Kalotte, Strossen I und II, Sohlgewölbe, wobei einschließlich der sofort folgenden Ausbruchsicherung eine mittlere Vortriebsleistung von 1,4 m/Tag erreicht wurde.

### 2. GEOLOGISCHE AUFSCHLÜSSE IM TUNNEL

Das vom Tunnel in einer Seehöhe von ca. 800 m durchhörte Gebirge zeigte einen im großen und ganzen einfachen und gut durchschaubaren Aufbau. (Es sei jedoch schon jetzt vorweggenommen, daß dieser Großaufschluß keine Anhaltspunkte für eine neue Interpretation des tektonischen Werdegangs des Klammkalkzuges lieferte, wie dies von FISCH (1932) und SCHWINNER (1933) auf Grund der beim Bau des SAG-Triebwasserstollens entstandenen Aufschlüsse versucht wurde.)

Beim Tunnelvortrieb wurden folgende Gesteinsserien angetroffen:

#### A. Klammkalk — Klammphyllit — Trum

Diese beiden im Verlauf dieses 1418 m langen Trums mehrmals wechselnden Felsarten, sind z. T. durch Störungen getrennt, z. T. aber gehen sie ohne erkennbare Grenzen ineinander über (siehe Längenschnitt, Abb. 4). Daraus ist ihre strati-

graphisch-fazielle Verknüpfung zu erkennen. Der durch einen höheren Helliglimmer-Anteil ausgezeichnete Klammphyllit stammt von einem mergeligen Sediment, wogegen die kompakten, bisweilen auch quarzreichen Typen des Klammkalkes auf Ablagerung von kalkig-sandigen Sedimenten schließen lassen. Zwischen diesen beiden Ausbildungen treten verschiedene weitere Varianten auf, wie „Klamm-schiefer“, bei dem es sich um ein graues bis dunkelgraues, serizitisches und vor allem stark kieseliges Gestein handelt, in dem sich auch Einlagerungen von Calcit- und Quarzfasern finden, welche eine intensive Verfaltung anzeigen. Ferner finden sich auch schwarze, graphitführende Phyllite, meist ohne scharfe Abgrenzung zu den dunklen Klammkalken.

Die nicht immer ausgeprägten „s“-Flächen (Schieferung im allgemeinen) streichen generell in ESE-WNW-, z. T. auch in NW-SE-Richtung und fallen mittelsteil bis steil gegen NNE bzw. NE ein; örtlich treten auch saigere und steil südfallende, gelegentlich sogar — bautechnisch ungünstigere — nahezu söhliche Lagerungen auf. Der Großteil der Klammkalke ist aber durch Rotation um ca. 10 bis 20° westfallende (260 — 285/10 — 20) Faltenachsen zu typischen B-Tektoniten verformt, wobei sich die intensive Zerschörung bis ins Detail verfolgen läßt. Die Verfaltungen, Stauchungen u. dgl. sind übrigens durch das gehäufte Auftreten von Calcit-Quarz-Flasern markiert.

Die Klüftung der Klammkalke weist überwiegend streng geregelte Raumstellungen auf, die in drei Hauptklüftscharen vorliegen (siehe Abb. 3):

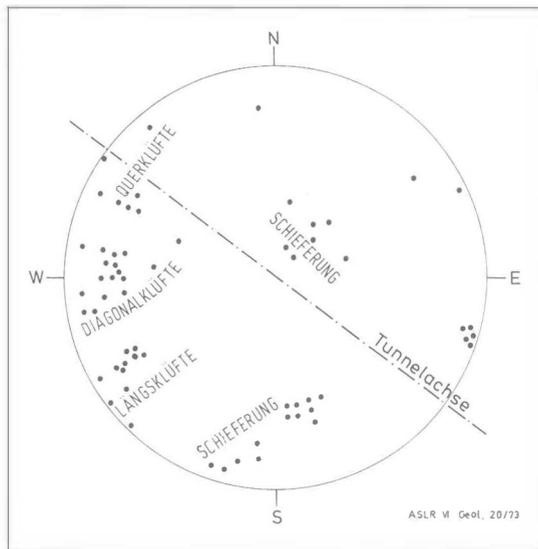


Abb. 3: Klammtunnel, Gefügediagramm in der Klammkalkserie

#### Klüftschar 1

Einfallen mit 75—90° gegen SW-WSW. Im geraden Haupttrum des Tunnels traten sie daher als „Längsklüfte“ auf. Ihre Länge beträgt selten mehr als 1 m, ihr Normalabstand etwa 5—10 cm und der Durchtrennungsgrad rund 50%. Da auch die Klüfte dieser Schar fast immer geschlossen sind, war ihr Einfluß auf die Standfestigkeit des Gebirges im Tunnel ohne große Auswirkung und sie erforderten nur vereinzelt eine Nagelung der Ulmenbereiche.

### Kluftschar 2

Einfallen mit  $60-90^\circ$  gegen NW, daher im Tunnel als „Querklüfte“ auftretend. Sie sind 0,5 bis 3 m lang, haben einen Normalabstand von 10—50 cm und einen Durchtrennungsgrad von 60—70%. Auch diese Schar war tunnelbautechnisch größtenteils belanglos; nur in enger gescharten Bereichen verlangte das Gebirge eine rasche Verkleidung durch mit Baustahlgitter bewehrten Spritzbeton.

### Kluftschar 3

Bei einem Einfallen mit  $50-90^\circ$  gegen W pendeln sie manchmal um die Vertikale und schneiden die Tunnelröhre schräg (diagonal) an. Im geraden Tunneltrum treten sie als „Diagonalklüfte“ auf. Mit Längen von mindestens 3 m verlaufen dieser Schar angehörige Klüfte meist über die gesamte Laibung. Größtenteils sind sie geschlossen, nur stellenweise 5—10 cm geöffnet und gelegentlich durch Auslaugungen zu schmalen Karstschläuchen erweitert, manchmal mit Lehm gefüllt oder durch Calcit verheilt. Des öfteren weisen sie deutlich gestrieme Großharnische auf, welche stattgefundenen Bewegungsvorgänge nahe der Tauernnordrandstörung anzeigen.

An einigen Stellen kommt es durch Pendeln des Einfallens um die Vertikale und leichtes Verschwenken des Streichens gegen NNE-SSW zur Ausbildung von Kluftkreuzen innerhalb dieser Schar, wodurch nicht nur eine intensivere Zerstückelung des Gebirges entsteht, sondern auch an solchen Stellen stärkerer, bald nach dem Auffahren des Gebirges jedoch abklingender Bergwasserandrang festzustellen war. Das Auftreten der schräg zur Tunnelachse verlaufenden Kluftschar K 3 ist in der Nähe von Großstörungen, die ebenfalls diesem System zuzuordnen sind, gehäuft. Auch die tektonische Grenzfläche zwischen Klammkalk und Chloritquarzserizitphyllit verläuft parallel zum System K 3. Im übrigen waren auch die Klüfte dieser Schar sicherungstechnisch nicht schwierig und gut beherrschbar.

Zur zeitlichen Folge der Entstehung der Klüfte kann bemerkt werden: K 1 und K 2 sind zuerst und gleichzeitig entstanden; kein System versetzt das andere. K 3 dominiert als jüngeres System die beiden anderen Kluftsysteme mit deren vollständiger Durchtrennung und Versetzung um Beträge von 10 und mehr Zentimeter.

Die im Klammstunnel gemachten Beobachtungen über Klüftung und Faltung entsprechen weitgehend den Beschreibungen von FISCH (1932) im SAG-Stollen und jenen von EXNER (1952) im südlichen Gasteiner Tal. SCHWINNER (1933) interpretiert den vom Klammstunnel durchörterten Gebirgszug als aufrechtes Faltenbündel mit senkrecht einfallenden Achsen im Sinne einer durch Blattverschiebung entlang der Tauernnordrandstörung verursachten Schlingentektonik. Für diese Vorstellung ließen sich weder im Tunnel noch obertags im engeren und weiteren Umkreis des Klammkalkzuges der Gasteiner Klamm Beweise finden; die streng parallel orientierten und vielfach klar erkenn- und einmeßbaren Linearen (ESE-WNW streichend und  $10-20^\circ$  gegen WNW fallend) zeigen deutlich die tatsächliche, dem generellen Ostalpenstreichen weitgehend parallele Lage der Faltenachsen an.

### B. Chloritquarzserizitphyllit — Trum

Der von BRAUMÜLLER (1939, S. 48 ff) aus dem Gebiet des Rauriser und des Fuscher Tales und von FISCH (1932) aus unserem Gebiet eingehend beschriebene Chloritquarzserizitphyllit gehört ebenso wie die Klammkalk-Schwarzphyllit-Serie MOSTLERS zur penninischen Bündnerschiefer-Serie (FRASL 1958).

Der Sohlstollenvortrieb wurde mit Erreichen dieses Gesteins bei Baulos-km 1,668 eingestellt, der Vortrieb von Süden erreichte es bei km 1,708. Die Tunnelsohle verlief auf dieser 40 m langen Strecke über ein buckelig-welliges, altes Erosionsrelief, das umgelagerte Moränen und Bergsturzmassen bedecken. Der hellgrüne, z. T. bräunliche und weißliche Chloritquarzserizitphyllit ist entlang

des Tunnelaufschlusses intensivst durchbewegt und (diaphthoritisch?) vertakt. Seine linsig zerscherten Schieferungsflächen fallen mit ca. 30° gegen SE ein und überprägen möglicherweise früher vorhanden gewesene Gefüge-Elemente.

#### C. *Grenze Klammkalk/Chloritquarzerizitphyllit*

Bei Baulos-km 1,668 (= Tunnelstation 1,430) stoßen die beiden Gesteine entlang einer steil SW-fallenden, über die gesamte Laibung verfolgbaren, im Grundriß und im Längenschnitt wellenförmigen Grenzfläche scharf aneinander. Die Trennfuge ist durch einen 2—4 cm dicken, grauen, tonig-glimmerigen Reibungsletten verschmiert, in dessen feinkörniger Grundmasse cm-große Fetzen von grünem Phyllit schwimmen. Stellenweise schwillt dieser Letten zu einer bis 15 cm mächtigen, tektonischen Brekzie boudinagenartig an. Die diskordant zueinander stehenden Schieferungsflächen der beiden Gesteinsarten (Klammkalk: steil nordfallend; Chloritquarzerizitphyllit: flach südostfallend) sind bereits unmittelbar an der Trennfuge ohne sichtbare Störung entwickelt und setzen sich ebenso nach Norden bzw. Süden fort. Die Kontaktflächen sind trocken.

#### D. *Lockermassen*

Gegen das Südportal des Klamm隧nells wurden ab der Station 1,668 (Baulos-km) auf eine Länge von 177 m im wesentlichen folgende Lockerböden durchörtert (vgl. Beilage B):

- a) Hangschutt und Bergsturzmassen älterer Herkunft aus den Südabhängen des durchfahrenen Felsriegels, der sogenannten „Gamsstuben“. Diese Lockermassen überdecken die buckelige Oberfläche des dort in etwa Tunnelsohle anstehenden Chloritquarzerizitphyllites.
- b) Würm-Moräne, z. T. umgelagert und mit fluvio-limnischen Stausedimenten durchsetzt (vgl. Abschnitt III/3).
- c) Junges, postglaziales Bergsturzmaterial mit Riesenblöcken bis zu 10 m<sup>3</sup>, ausschließlich aus Klammkalk bestehend.
- d) Lehmig-grusig-steiniger Hangschutt, der stellenweise noch heute die steile Schuttrinne überstreut und zu Hangkriechen neigt.

### 3. DIE BERGWASSERVERHÄLTNISS

Der Andrang von Bergwasser war während des Vortriebs sehr gering, was einerseits mit der Drainagewirkung durch die schon im Klammkalkstock bestehenden Hohlraumbauten der ÖBB, der TKW und der SAG Lend zusammenhängt, andererseits aber auch auf die Klüftigkeit und teilweise Verkarstung des Gebirges sowie auf die Vorflut in die Schlucht zurückzuführen sein dürfte. Überwiegend war das Bergwasser an Klüfte gebunden, seltener an Schieferungsflächen. Als wasserführend erwiesen sich besonders die Großklüfte des Systems K<sub>3</sub> sowie die Kluftkreuze. Der Andrang war meist kurzfristig und betrug bei den einzelnen Austrittsstellen durchschnittlich nur einige Sekundenliter. Zu stärkeren Regenfällen, die sich im Tunnel deutlich bemerkbar machten, bestand im mittleren Abschnitt der Röhre ein Gangunterschied von ca. 1—1,5 Tagen. Eine permanente Tropfwasserstelle mit 1—2 l/sec Dauerschüttung liegt bei Baulos-km 0,860, wo das Wasser aus einem Kluftkreuz von der Firse und den Ulmen abgeschlaucht und in die Tunnelndrainage eingeleitet wird. Von den stärkeren Tropfstellen wurden Wasserproben nach ÖNORM B 3305 auf Beton-

aggressivität mit negativem Ergebnis untersucht. Radioaktive oder thermale Wässer, die beim tiefer und nördlicher liegenden TKW-Stollen angefahren wurden, traten im Klammstunnel nicht auf.

Erwartungsgemäß waren die Strecken im Klammphyllit und Klamm-schiefer trockener als jene im Klammkalk.

#### 4. GEOTECHNISCHE DATEN

##### A. Gebirgsgüte-Klassifizierung (nach RABCEWICZ-PACHER)

Von den sechs Gebirgsgüteklassen wurden im Klammstunnel die ersten fünf in folgendem Ausmaß angetroffen (Tabelle I):

Tabelle I: Gebirgsgüteklassen

Gebirgsgüteklasse	Lt. Prognose bzw. Ausschreibung (%)	Tatsächlicher Anteil an der Tunnel-Gesamtlänge (%)	Aufgefarene Gebirgsarten
I und II	74,5	79,1	Klammkalk und Klammphyllit z. T.
III	11,8	11,0	Chloritquarzeritphyllit und Klammphyllit z. T.
IV V	3,2 10,5	2,4 7,5	Lockermassen
	100,0	100,0	

##### B. Ausbaumaßnahmen

Die Sicherungen erfolgten nach der neuen österreichischen Tunnelbauweise, bei der durch Versetzen von Ankern und einer elastischen, mit Baustahlgitter verstärkten Spritzbetonverkleidung das Gebirge zum Mittragen herangezogen wird. Entsprechend den Ausbau-Richtlinien für die verschiedenen Gebirgsgüteklassen wurden im Klammkalk-Klammphyllit-Trum nachstehende Maßnahmen durchgeführt:

- durchgehender Kopfschutz durch Firstverzug mit Spritzbeton von 7 cm Stärke (ohne Rücksicht auf die Gebirgsgüteklasse); einzelne Felsnägel in einigen Metern Abstand nach dem Ausbruch (Gebirgsgüteklasse I);
- Felsnägel und Spritzbeton nach dem Ausbruch (Gebirgsgüteklasse II);
- Systemankerung und z. T. armierter Spritzbeton im vollen Profil (Gebirgsgüteklasse III).

Der mürbe Chloritquarzeritphyllit erforderte folgende Ausbaumaßnahmen: Systemankerung, Stahlbögen, armierter Spritzbeton, z. T. Sicherung der Ortsbrust mit Spritzbeton und manchmal etappenweiser Vortrieb.

Bergdruckerscheinungen traten im felsigen Gebirge nur an einer einzigen Stelle auf, und zwar zwischen Baulos-km 1,115 und 1,125. Sie machten sich durch Abschalen von cm-dünnen Platten an beiden Ulmen im dort weitgehend kompakten Klammkalk unangenehm bemerkbar. Der Ort fällt genau mit der größten

Gebirgsüberlagerung des Tunnels von ca. 510 m zusammen. Das Abschalen konnte durch Spritzbetonversiegelung beherrscht werden.

Die Lockermassen waren infolge ihrer stark schwankenden Körnung (Schluffton bis Riesenblockwerk), ihrer unterschiedlichen Kohäsion und teilweise hohen Bergfeuchtigkeit schwierig zu durchhörtern. Sie zwangen den bergmännischen Vortrieb zu etappenweisem Ausbruch (an der Brust nur in Teilflächen) mit sofortiger Stützung durch Stahlbögen und Verzugsdielen im Abstand von 0,5—1,5 m, 30 cm starkem armiertem Spritzbeton und zusammen 581 Alluvial-Injektionsankern von 4—6 m Länge, vollem Spritzbetonverzug der Ortsbrust und schließlich zum Einbau eines Sohlgewölbes.

Die maximale Firstensenkung betrug nach mehrmonatiger Standzeit vor Einbau des Ringbetons in den Lockermassen im Vollprofil 7 cm. Die Ulmenkonvergenz und die Sohlhebung lagen im mm- bis cm-Bereich.

Das Bergwasser wird hinter einer Vollisolierung im gesamten Tunnelbereich aus Bitulen-Noppenfolie in die Tunneldrainage geleitet. Die Gesamtdauerschüttung schwankt, der Vorhersage gut entsprechend, zwischen 2 und 4 Sekundenlitern.

Der Endausbau erfolgte durch insgesamt 16.000 m<sup>3</sup> Ringbeton mit einer theoretischen Stärke von 25 cm, der bei der angewandten Tunnelbauweise hauptsächlich nur eine auskleidende Funktion hat.

### C. Sprengerschütterungen

Ursprünglich bestanden Bedenken hinsichtlich einer Gefährdung der alten, damals noch benützten Bundesstraße und der in der Nachbarschaft bereits bestehenden Hohlrumbauten (ÖBB-Tunnel, TKW- und SAG-Triebwasserstollen) durch Sprengerschütterungen. Zweimalige Kontrollmessungen im Fensterstollen der TKW-A. G. bei ca. 120 m Abstand zur Ortsbrust des Klamm-tunnels (im Sohlstollen und im Vollausbuch) ergaben eine mittlere Schwinggeschwindigkeit von nur 2 mm/sec, was mit der geringen Kluftwasserführung und den dicht gescharten NW bis NNW streichenden Klüften zusammenhängen dürfte, die offenbar eine stark dämpfende Wirkung auf Erschütterungswellen haben. Eine Gefährdung der Straße und der bestehenden Hohlrumbauten war daher nicht zu befürchten. Auch die beim sogenannten „Stinkofen“, einem durch Riesenklüfte vom Hauptverband getrennten Felsvorsprung neben der alten Straße südlich des Klammpasses, angebrachten Extensometer (Felsdehnungsmesser) zeigten keine außergewöhnlichen Erweiterungen.

## V. Die Klammsteinbrücke

### I. ALLGEMEINES

Die an das Südportal des Klamm-tunnels anschließende Straßenbrücke überspannt die Gasteiner Ache, die Tauernbahnstrecke der ÖBB und die alte Gasteiner Bundesstraße. Das Bauwerk wird durch 2 Mittelstützen in 3 Felder unterteilt und weist eine Gesamtlänge von 114 m auf. Die größte lichte Höhe über der Gasteiner Ache beträgt etwa 15 m. Es handelt sich hier um eine vorgespannte Beton-Hohlkasten-Konstruktion mit einer Gesamtbreite von etwa 13 m, davon Fahrbahnbreite 9,50 m. Das Tragwerk ruht auf 2 kreisrunden Stützenpaaren ( $\varnothing$  0,90 m) bzw. auf den als Winkelmauern ausgebildeten Widerlagern Nord (Lend) und Süd (Gastein); letzteres ist als festes Lager ausgebildet.

## 2. DIE UNTERGRUNDVERHÄLTNISSSE

Die Ergebnisse der Aufschlußbohrungen sind in Beilage D für den Brückenbereich dargestellt; darüber hinaus liegen Aufschlüsse flußauf- und flußabwärts aus früheren Planungen und Bauvorhaben vor.

Wie bereits oben besprochen, wird der Talboden größtenteils von spätglazialen Stausedimenten eines ehemaligen Gletschersees aufgebaut, dessen Stau durch die Felsschwelle in der Klamm und wahrscheinlich überdies durch Verklauung der Klammstrecke mit Schutt aus den steilen Talflanken verursacht wurde. Da die Seetone bis in große Tiefe reichen, mußte mit Ausnahme des Widerlagers Lend (Nord) die Gründung in diesen bindigen und setzungsempfindlichen, weil geologisch nur durch Schuttkegel vorbelasteten schlufftonig-feinsandigen Lockerböden oder in den darüber liegenden Sanden (Widerlager Gastein) vorgenommen werden.

## 3. DIE GRÜNDUNG DER WIDERLAGER UND STÜTZEN

Aufgrund der geologischen Verhältnisse und bodenmechanischen Untersuchungen wurden vom zuständigen Sachgutachter (Hofrat Dipl.-Ing. LUDWIG, Klagenfurt) in Abstimmung mit dem Brückenplaner und Statiker (Dipl.-Ing. Dr. ZILICH, Salzburg) sowie mit dem geologischen Berater (Dr. BRANDECKER) folgende Gründungsmaßnahmen empfohlen:

Widerlager Lend:

Der Aufbau des Untergrundes ist sehr heterogen, zumal das Widerlager im Verzahnungsbereich der meist grobkörnigen Hangschuttmassen und der feinen Talfüllungen liegt. Die hohen Brückenlasten und der große Erddruck aus der bergseitigen Anböschung bzw. Dammschüttung (von etwa zus. 15 m Höhe) einerseits und die unter dem Fundament lagernden Seetone andererseits ließen im vorhinein eine Flachgründung ausscheiden. Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile entschloß man sich zu einer Gründung durch 3 Bohrpfahlscheiben von 0,90 m  $\varnothing$ , 7,90 m Breite und einer Tiefe bis 22 m, womit eine Einbindung in die verhältnismäßig hoch belastbare Moräne gegeben war. Es konnten auch keine Setzungen dieser Bauteile nachgewiesen werden.

Stütze 2:

Eine Gründung in höher belastbare Böden (z. B. Grundmoräne) wäre hier erst in etwa 50 bis 60 m (?) unter Gelände, also in einer praktisch nicht erreichbaren Tiefe möglich. Daher wurde eine Flachgründung gewählt, wobei zur Vorwegnahme der zu erwartenden Setzungen im Seeton vor dem Betonieren des Tragwerkes eine Vorbelastung von ca. 400 Mp auf das Fundament aufgebracht wurde. Damit konnten die Primärsetzungen auf 5,4 mm verringert werden. Zur Sicherung des Untergrundes der Fundamente gegen seitliches Ausweichen (Grundbruch) und gegen Erosion durch die Gasteiner Ache wurden 9 m lange Spundwände in einer Kreiszone von 10 m Durchmesser gerammt.

Stütze 3:

Wie bei der Stütze 2 ist auch hier die Mächtigkeit des Seetones durch eine 30 m tiefe Aufschlußbohrung bestätigt. Die auf dieser Stütze lagernden hohen Lasten (1290 Mp) und die Nähe der Tauernbahn verlangten eine Tiefgründung durch 12 Bohrpfähle von 15 m Länge und Durchmesser 0,90 m. Außerdem wurden die

Fundamentplatte und der Pfahlrost durch einen rechteckigen Spundwandkasten aus 8,70 m langen Larssen-Profilen gegen Grundbruch gesichert. Die bisher gemessenen Setzungen betragen 6 mm.

Widerlager Gastein:

Die Gründung des Widerlagers erfolgte mit 10 Bohrpfählen  $\varnothing$  0,90 m bis auf eine Tiefe von 15 m. Durch teilweise Schrägstellung der Pfähle werden die auftretenden Horizontalkräfte aufgenommen. Nach bisherigen Messungen betragen die Setzungen lediglich 2 mm.

## VI. Zusammenfassung

Der Neubau der Bundesstraße B 167 durch die Gasteiner Klamm und die hierfür vorgenommenen Untersuchungen haben einige beachtenswerte geologische Erkenntnisse gebracht. Vor allem können durch die neuen Aufschlüsse die erst jüngst von FRASL und MOSTLER beschriebenen Beobachtungen über die penninische Natur der Klammkalke aufgrund lithologischer Übergänge zu den schwarzen Fuscher-Phylliten erhärtet werden. Im übrigen bestätigen die Tunnelaufschlüsse die schon aus dem Triebwasserstollen des E-Werkes Klammstein der Salzburger Aluminium-Gesellschaft (SAG) Lend und des Triebwasserstollens des Kraftwerkes Gries-Schwarzach der Tauernkraftwerke bekannte Schichtfolge, die durch mehrmaligen Wechsel von Klammkalkzügen und Schiefereinlagen gekennzeichnet ist.

Zu den neuen morphologischen Erkenntnissen zählt vor allem die Feststellung einer stark übertieften Talrunse mit beträchtlichem Anstieg der Felsschwelle von Süd nach Nord zwischen Klammstein und Klammpaß. Er beträgt von der Haltestelle Klammstein bis zur Felsschwelle in der Klamm mehr als 70 m und ist nur durch Zusammenwirken von jungen Hebungen durch Glazialerosion in weicheren und gestörten Gesteinen erklärbar.

Die baugeologische Beratung konnte bei diesem schwierigen und über das Land Salzburg an Bedeutung hinausgehenden Straßenbauvorhaben nicht nur bei der Trassierung und durch laufende Beratung während des Tunnelvortriebes sowie bei der Brückenfundierung nützliche Beiträge leisten, sondern auch die geologische Forschung unterstützen.

## VII. Anhang

An der Projektierung, Bauleitung und Begutachtung waren beteiligt:

Amt der Salzburger Landesregierung:

Planung und staatl. Bauleitung — Straßenbau:

Wirkl. Hofrat Dipl.-Ing. ASCH

Wirkl. Hofrat Dipl.-Ing. FABER

Oberbaurat Dipl.-Ing. HEIDINGER

Baurat Dipl.-Ing. GIRLINGER

Planung und staatl. Bauleitung — Brückenbau:

Wirkl. Hofrat Dipl.-Ing. WAGNER

Baurat Dipl.-Ing. RESCHEN

Techn. Fachoberinspektor E. WANNER

Straßenprojekt:

Dipl.-Ing. Dr. MARX, Wien

Tunnelprojekt:  
 Dipl.-Ing. PACHER und Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. ZANOSKAR, Salzburg (Sachbearbeiter Dipl.-Ing. HELLER)

Tunnelbauleitung:  
 Fa. SIEMENS — Bautechnik, Linz; Bauleiter Ing. RAFETSEDER

Brückenprojekt (Entwurf und Statik):  
 Dipl.-Ing. Dr. techn. ZILLICH, Salzburg

Geologische Begutachtung:  
 Dr. BRANDECKER, Salzburg; Baurat Dr. VOGELTANZ, Salzburg, Landesregierung

Bodenmechanik-Grundbau:  
 Hofrat Dipl.-Ing. LUDWIG, Klagenfurt

Geophysikalische (seismische) Untersuchungen:  
 Doz. Dr. FUCHS, Wattens; Prof. Dr. TOPERCZER, Wien

Tunnel-Kontrollmessungen:  
 Interfels GMBH, Salzburg (felsmech. Messungen); Tauernkraftwerke Salzburg (Sprengerschütterungen)

Bauausführende „ARGE Klamm“:  
 Firmen:  
 HINTEREGGER, UNIVERSALE, PORR, AST, TEIML & SPITZY

Bauleiter:  
 Ing. LAMPL, Dipl.-Ing. PELIKAN (Dipl.-Ing. WOLLMANN)

### VIII. Literatur (Auswahl)

- BRAUMÜLLER, E.: Der Nordrand des Tauernfensters zwischen dem Fuscher- und Rauristal. — Mitt. Geol. Ges. in Wien, 30/31, 1937/1938, S. 37—150, Wien 1939.
- FISCH, W.: Zur Geologie der Gasteiner Klamm bei Lend (Österreich). — Ecl. Geol. Helvet., 25, S. 131—138, Basel 1932.
- FRASL, G.: Zur Seriengliederung der Schieferhülle in den mittleren Hohen Tauern. — Jb. Geol. B.-A., 101, S. 323—472, Wien 1958.
- HORNINGER, G.: Geologischer Lageplan 1:1000 des SAG-Druckstollens. — Unveröffentlicht (Salzburger Aluminium-Werke Lend 1944).
- MOSTLER, H.: Geologie der Gebirge des vorderen Großarl- und Kleinarltales (Salzburg). — Verh. Geol. B. A., 1963, S. 132—135, Wien 1963.
- , Einige Bemerkungen zur Salzach-Längstalstörung und der sie begleitenden Gesteine. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 14, S. 185—196, Wien 1964.
- SCHWINNER, R.: Das Bewegungsbild des Klammkalkzuges. — Cbl. Min., 1933, B, S. 280—290, Stuttgart 1933.
- SEEFELDNER, E.: Salzburg und seine Landschaften. — Mitt. Ges. Salz. Landeskunde, Ergänzungsbd. 2, 574 S., Salzburg 1961.
- SENFEL, E. und EXNER, CHR.: Rezente Hebung der Hohen Tauern und geologische Interpretation. — Verh. Geol. B. A., 1973, H. 2, S. 209—234.
- TRAUTH, F.: Geologie der nördlichen Radstädter Tauern und ihres Vorlandes. 1. und 2. Teil. — Denkschr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl., 100, S. 101—212; 101, S. 29—65, Wien 1925 und 1927.
- WOLLMANN, G. & J. LAMPL: Gasteiner Bundesstraße B 167, Baulos „Klamm“ — PORR-Nachrichten, Nr. 57/58, S. 29—38, Wien 1974.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Hermann BRANDECKER, Anton-Breitner-Straße 1, A-5020 Salzburg-Parsch, Österreich.

Baurat Dr. Rudolf VOGELTANZ, Neutorstraße 15 a, A-5020 Salzburg, Österreich.

## Zwei neue Korallen der Sardar-Formation (Karbon) Ost-Irans

Helmut W. FLÜGEL, Graz

Mit 2 Abb. und 1 Tafel

### Zusammenfassung

Aus der Sardar-Formation von Cheshmeh Shir in den Ozbak-Kuh-Ketten werden *Donetzites mariae* n. sp. und *Pseudowanerophyllum differens* n. g. et n. sp. beschrieben. — Die Fundschichten dürften dem tiefen Bashkirium entsprechen. Da *Donetzites mariae* aus dem Hangendanteil der Sardar-II-Formation stammt, wird vermutet, daß eine Schichtlücke zu den hangenden Saludukalken des tieferen Perms besteht.

### Einleitung

1965 bezeichneten STÖCKLIN et al. im Gebiet der Shotori-Ketten in Ost-Iran einen vorwiegend sandig-schieferigen Schichtkomplex als Sardar-Formation. Sie findet sich hier im Liegenden der permischen Jamal-Formation. Weitere Arbeiten zeigten, daß diese Formation lithostratigraphisch in ein Sardar I und ein Sardar II gegliedert werden kann (A. RUTTNER & STÖCKLIN 1966). Die Untersuchungen von A. RUTTNER ergaben, daß diese Formation von Süden (Shotori-Ketten) gegen Norden (Ozbak-Kuh-Ketten) deutlichen faziellen Änderungen unterworfen ist und zusehends kalkiger wird, wie die Profilsäulen in A. RUTTNER & A. RUTTNER-KOLISKO 1972 erkennen lassen.

Im Raum der Ozbak-Kuh-Ketten (Abb. 1) gliederte STEPANOV 1971 das Sardar I in drei Abschnitte: die basalen Mergel und Kalke, die mittleren Korallen- und Brachiopodenkalke und den hangenden *Gigantoproductus*-Kalk. Letzteren stufte er in das basale Namur ein, während er die tieferen Schichten dem Visé zurechnete. Die darüber folgende Sardar-II-Formation soll nach STEPANOV das höhere Karbon vertreten und im Raume von Ozbak-Kuh bis in das tiefere Perm reichen. Neben Brachiopoden finden sich an Makrofossilien in der Sardar-Formation des Raumes Ozbak-Kuh vor allem Korallen. Die bisher genauer bearbeiteten, stockbildenden Rugosa der Sardar-II-Formation ergaben ein Bashkirium-Alter (H. W. FLÜGEL 1975). Gleiches Alter zeigen die im folgenden dargestellten neuen Formen, die teilweise von A. RUTTNER 1965, teilweise vom Verfasser 1966 aufgesammelt werden konnten.

Für die Möglichkeit eigener Aufsammlungen danke ich dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt 416) sowie dem Geol. Survey of Iran, Teheran, und nicht zuletzt der Führung durch Kollegen Dr. A. RUTTNER. Die Bestimmung der Conodonten wurde in dankenswerter Weise von Herrn Dr. H. P. SCHÖNLAUB, Wien, durchgeführt.

Typ Section  
 Cheshmeh Shir  
 (Aufnahme nach A. RUTTNER)

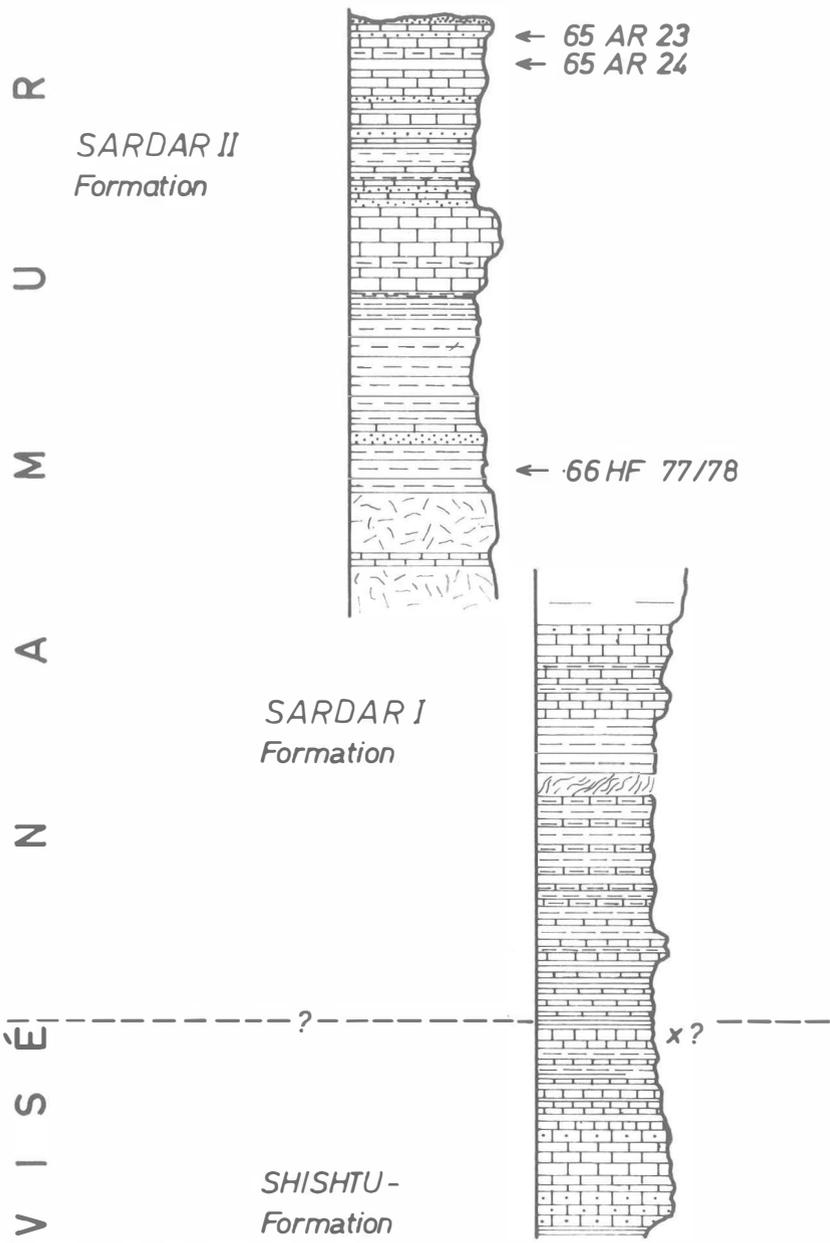


Abb. 1: Typ-Sektion der Sardar-Formation

## Ord. Tabulata

Fam.: Cleistoporidae EASTON 1944

Genus: *Donetzites* DAMPEL 1940

*Donetzites mariae* n. sp.

Taf. 1, Fig. 1, 2

Typusart: Stock UGP. 110 (65 AR 23).

Locus typicus: Typ-Section der Sardar-Formation Cheshmeh-Shir, Ozbak-Kuh-Ketten, Ost-Iran (Abb. 1).

Stratum typicum: Hangendanteil der Sardar-II-Formation, Unteres Bashkirium.

Derivatio nominis: In Dankbarkeit meiner Frau gewidmet.

Diagnose: Neue Art des Genus *Donetzites* mit einem Coralliten-Durchmesser um 3,0 mm, einer Wandstärke zwischen 0,4 und 2,0 mm und einem Porenkanal-Durchmesser zwischen 0,1 und 0,4 mm.

Diff. Diagnose: Die neue Art übertrifft die bisher beschriebenen Formen durch die Größe der Coralliten-Durchmesser.

Beschreibung: Der Rest des Stockes ist plattig entwickelt und hat eine Größe von  $55 \times 40 \times 20$  mm.

Die mehr oder minder runden bis leicht ovalen oder schwach polygonalen Coralliten zeigen einen Durchmesser zwischen 2,8 und 3,5 mm. Hierbei ist ein deutlicher Zusammenhang mit der Wandstärke festzustellen: Bei geringer Dicke der umgebenden Wand liegt der Durchmesser der Coralliten meist über, bei größerer Wandbreite meist unter 3,0 mm.

Im Querschliff erscheint die Wand zufolge der zahlreichen sie durchbrechenden unregelmäßig gewundenen Porenkanäle zu einem schwammigen Geflecht aufgelöst. Die Wanddicke schwankt hierbei zwischen 0,4 und 2,0 mm, der Durchmesser der Porenkanäle zwischen 0,1 und 0,4 mm. In den meisten Fällen liegt er bei 0,15 mm. Die eigentlichen Wandelemente sind — entsprechend dem Verlauf der Porenkanäle — gleichfalls unregelmäßig geformt. Sie werden gegen außen durch eine auffallende, dunkle, ca. 0,1 mm breite Linie begrenzt. Die Breite der Wandelemente liegt um 0,4 mm. Sie kann jedoch bis zu 1,0 mm ansteigen. Die Wand selbst besteht meistens aus einem oder aus zwei nebeneinander liegenden derartigen Elementen.

Im Längsschliff zeigt sich, daß die dunklen Randteile der Corallitenwand-Elemente ohne Unterbrechung in die horizontalen Tabulae übergehen. Die Dicke letzterer entspricht damit der der dunklen Randzone (0,1 mm). Der Abstand der Tabulae schwankt sehr konstant zwischen 2,4 und 2,6 mm. Da die Tabulae in den benachbarten Coralliten in mehr oder minder gleicher Höhe angeordnet sind, wird eine strenge horizontale Gliederung des Corallums hervorgerufen.

An einer Stelle konnte beobachtet werden, daß sich derartige Bodenbildungen durch die Porenkanäle fortsetzen können, so daß im Schliff zwei benachbarte Coralliten einen einzigen Boden haben.

Die Zentralzone der einzelnen Wandelemente zeigt keine Mikrostruktur. Das Skelett besteht in diesem Teil aus einer grauen, dichten bis feinspartitischen Kalzitmasse. Demgegenüber zeigt — an einigen Stellen beobachtbar — die

dunkle Randzone eine Struktur aus feinen, normal auf das Skelettelement stehenden Fasern.

Alter : Das Exemplar stammt aus dem Topanteil der Typ-Section von Cheshmeh-Shir. Aus einer etwas tieferen Lage (65 AR 24 UGP 126) konnte H. P. SCHÖNLAUB eine kleine Conodontenfauna gewinnen [(*Streptognathodus parvus* DUNN, *Declinognathodus lateralis* (HIGGINS & BOUCK.)). Seinen Angaben zufolge gehört diese Fauna dem tiefen Pennsylvanian (unteres Morrowan) an. Dies würde einer Einstufung in das höhere Namur der europäischen bzw. in das tiefe Bashkirium der russischen Gliederung entsprechen. Mit einem derartigen Alter steht das Auftreten von *Donetzites* in guter Übereinstimmung, da dieses Genus bisher nur aus dem Mittel-Karbon bekannt war.

Dieses Alter der Top-Schichten der Typ Section der Sardar-II-Formation der Ozbak-Kuh-Ketten steht in einem Widerspruch zu der von STEPANOV 1971 geäußerten Vermutung, wonach diese Formation bis in das tiefere Perm reichen könnte. STEPANOV stützte sich bei dieser Annahme vor allem auf Brachiopoden aus Kalken des Kuh-e-Saludu. Diese Saludu-Kalke bilden die Basis der Dolomite des Kuh-e-Saludu. Sie lieferten neben Korallen und Brachiopoden eine Fusulin fauna, die nach entgegenkommender Mitteilung von Prof. Dr. F. KAHLER, Klagenfurt, tatsächlich ein unterpermisches Alter hat und *Parafusulina* bzw. *Pseudoschwagerina* enthält. Diese Schichten werden von bryozoenführenden Mergelkalken und Kalken der Sardar-II-Formation i. e. S. unterlagert. Es erscheint daher möglich, daß im Raum von Ozbak-Kuh das Sardar II nur bis in das Bashkirium reicht und durch eine Schichtlücke vom tieferen Perm getrennt wird.



Abb. 2: Verbreitung von *Donetzites* im Mittel-Karbon.

Bemerkungen: Bisher wurden drei Arten von *Donetzites* beschrieben, und zwar *D. milleporoides* DAMPEL 1940 und *D. lutugini* DAMPEL 1940 aus dem Donetzbecken und *D. dowjicovi* DUBATOLOV & TONG-DZUY 1965 aus Nordvietnam. Darüber hinaus findet sich bei SOKOLOV 1962 der Hinweis auf das Auftreten dieser Gattung im Ural und im Tien-Shan. Beschreibungen der Formen der beiden letztgenannten Vorkommen sind mir nicht bekannt. Auch in der Arbeit von SOKOLOV et al. 1973 finden sich hierzu keine Hinweise.

Die drei genannten Arten sind auf das Mittelkarbon beschränkt. Sie unterscheiden sich von der neuen Art aus Ost-Iran durch den geringeren Durchmesser. Am nächsten kommt *D. dowjicovi* mit einem Durchmesser 2,3 mm.

Abb. 2 zeigt die Verbreitung der bisher beschriebenen Arten, wobei die neueren Vorstellungen hinsichtlich der Kontinentverteilung im Karbon nicht berücksichtigt wurde, nachdem sich zeigte, daß eine Eintragung in eine Kartengrundlage, wie sie z. B. SMITH et al. 1973 publizierte, große Schwierigkeiten hinsichtlich der paläobiographischen Verteilung von *Donetzites* ergibt.

## Ordn. Rugosa

Fam.: Verbeekiellidae SCHOUPPE & STACUL 1955

Genus: *Pseudowannerophyllum* n. g.

Generotypus: *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.

Derivatio nominis: Die Benennung erfolgte aufgrund der großen Ähnlichkeit mit *Wannerophyllum* im Reifestadium bzw. der unterschiedlichen Ontogenese beider.

Diagnose: Einzelkoralle mit zwei Septenzyklen, persistenter differenzierter Columella, im Reifestadium kurzem Hauptseptum und fehlendem Dissepimentarium.

Beschreibung: Die hornförmigen, leicht gekrümmten Coralliten zeigen in den frühen ontogenetischen Stadien nur eine Septenordnung.

Die Protosepten sind achsial miteinander verschmolzen. Die beiden neben dem Hauptseptum gelegenen Metasepten sind auffallend lang. Der durch sie eingeschlossene Interseptalraum mit dem Hauptseptum ist fossulaähnlich, wobei jedoch nicht entschieden werden kann, ob eine echte Fossula vorliegt.

In einem etwas höheren Stadium kommt es zur Entwicklung einer zweiten Septenordnung. Das Gegenseptum ist länger als die beiden Gegenseitensepten. Das noch in einem fossulaähnlichen Interseptalraum gelegene Hauptseptum ist dünn und zeigt den Trend zur Verkürzung. Die achsiale Verschmelzung einzelner Proto- und Metasepten zeigt den Beginn einer Columella an.

Die weitere Entwicklung ist durch die Verkürzung des Hauptseptums und die Herausbildung einer stark differenzierten septobasalen Columella charakterisiert. Die Septen lassen meist eine helle Medianzone bzw. eine helle Stirnzone erkennen. Das Hauptseptum hat eine konkave Lage.

Die Columella ist durch eine sehr kräftige Entwicklung basaler Abschneidungen ausgezeichnet. Häufig wird sie durch eine ringförmige Innenwand von den achsialen Enden der Großsepten getrennt. Die Radialplatten der Columella können spiralförmig eingedreht sein. Die Ausbildung der basalen Ablagerungen kann so weit gehen, daß die Radialplatten und die nicht immer erkennbare Median-

platte zu einem mehr oder minder kompakten Säulchen verschmelzen. Die dieses Säulchen aufbauenden Elemente sind dann nur mehr in Form unregelmäßig angeordneter dunkler Faserbüschel erkennbar. Diese Ausbildung leitet über zu einer Columella, die an die von *Cyathaxonia* erinnert. Sie besteht aus konzentrischen, steil aufgebogenen, dicht gelagerten Lamellen.

Dissepimente fehlen. Die Tabulae sind vereinzelt blasig entwickelt und im allgemeinen steil gegen die Columella emporgezogen.

Bemerkungen: Während im Reifestadium das neue Genus starke Ähnlichkeit mit *Wannerophyllum* SCHOUPPE & STACUL aufweisen kann, zeigen die frühen ontogenetischen Stadien deutliche Unterschiede. Während bei *Wannerophyllum* zwischen dem Gegenseptum und dem Gegenseitenseptum bereits im frühen Wachstumsstadium ein großes Metaseptum zur Entwicklung kommt, fehlt ein derartiges Septum bei der neuen Gattung. Dagegen kommt es hier in diesem Stadium zur Ausbildung einer Hauptfossula (?). Dies und die fiederförmige Anordnung der Metasepten in den Gegenquadranten erinnert an das Bild von *Hapsiphyllum*.

Ein weiterer Unterschied gegenüber *Wannerophyllum* liegt in der starken differenzierten Ausbildung der Columella. Während diese bei erstgenanntem Genus eine normale persistente septobasale Columella ist, ändert sich bei *Pseudowannerophyllum* ihr Bild nicht nur von Corallit zu Corallit, sondern auch innerhalb eines Coralliten laufend. An ein und demselben Exemplar können timorphyllidae, lophophyllidae, cyathaxonidae und verbeekiellidae Stadien beobachtet werden. Letztlich muß auf den zeitlichen Unterschied hingewiesen werden, da es sich bei *Wannerophyllum* um eine ausschließlich im Perm auftretende Form handelt.

*Pseudowannerophyllum differens* n. sp.

Taf. 1, Fig. 3—7

Typusart: UGP. 111.

Locus typicus: Cheshmeh Shir, Schicht 78, Ozbak-Kuh-Ketten, Ost-Iran (Abb. 1).

Stratum typicum: *Giganto productus*-Kalk der Sardar-I-Formation, Unteres Bashkirium.

Material: Außer dem Typus wurden 14 Exemplare untersucht (UGP. 112—125). Sie stammen aus Schicht 78 und 77 (vgl. Abb. 1).

Diagnose: Bei einem Kelchdurchmesser von ca. 15 mm beträgt die Zahl der Septen 22—26 × 2.

Beschreibung: Die konischen, leicht gekrümmten Coralliten können eine Länge bis zu 50 mm erreichen. Der Kelchdurchmesser liegt bei dieser Länge um 15 mm. Die Epithek zeigt eine leichte Querrunzelung.

Die Kelchwand ist steil. Die Tiefe des Kelches beträgt an den vorliegenden Stücken über 6 mm. Der Kelchboden ist eben. Knopfförmig erhebt sich im Zentrum des Kelches — einige mm hoch — die im Querschnitt runde Columella. Ihr Durchmesser beträgt im Kelchbereich meist zwischen 4 und 5 mm, er kann jedoch bis 6,5 mm ansteigen.

Bei einem Durchmesser von 4,5 mm zeigen sich in einem frühontogenetischen Stadium 20 Septen. Die Anordnung der Metasepten in diesem Stadium ist:  $\frac{3}{3} \frac{4}{4}$

Wie bereits erwähnt, fehlen in diesem Stadium noch Kurzsepten (vgl. S. 49). Ca. 8 mm höher, bei einem Durchmesser von 9 mm ist die Septenverteilung  $\frac{4}{4} | \frac{6}{6}$  (?). Kurzsepten sind bereits vorhanden (vgl. S. 49). 10 mm darüber ist bei einem Corallitendurchmesser von 14 mm das Hauptseptum deutlich verkürzt. Die Septenverteilung ist  $\frac{4}{5} | \frac{4}{8}$  (?), axial sind die Septenenden wirbelartig zu einer Columella eingedreht. Damit ist die Endzahl der Septen beim Typusexemplar erreicht. Die Kurzsepten können in diesem Stadium bis ein Drittel der Länge der Großsepten erreichen.

Auf den wechselnden Aufbau der Columella wurde bereits hingewiesen. Ebenso auf das Fehlen der Dissepimente und die steil zur Columella emporgezogene Tabulae.

Alter: Auf die Einstufung des Fundhorizontes durch STEPANOV 1971 wurde bereits verwiesen (S. 45). Nach H. P. SCHÖNLAUB ist die Conodontenfauna durch das Auftreten von *Idiognathoides noduliferus* (EL. & GR.), *Adetognathus lautus* (GUN.), *Streptognathodus anteeccentricus* DUNN, *Ozarkodina delicatolata* (STAUFFER & PLUMMER) u. a. charakterisiert (UGP. 127, 128). Daraus ergibt sich eine Einstufung in das basale Pennsylvanian. Ein Altersunterschied zu den Schichten der Sardar-II-Formation läßt sich somit nicht feststellen: Auch das höhere Sardar I ist dem tieferen Bashkirium zuzuordnen.

### Schlußfolgerung

Die bisher beschriebenen Corallenfaunen der Sardar-Formation, noch unpublizierte Bestimmungen und die Untersuchungen der Conodontenfaunen durch H. P. SCHÖNLAUB lassen vermuten, daß im Raume Ozbak-Kuh die Sardar-Formation nur bis in das tiefe Bashkirium reicht. Andererseits zeigte es sich, daß i. S. von STEPANOV 1971 die Basisteile dem höheren Visé zuzurechnen sind. In Abb. 1 wurde versucht, entsprechend dem gegenwärtigen biostratigraphischen Kenntnisstand die Grenze zwischen Visé und Namur innerhalb der Typ-Section von Cheshmeh Shir einzutragen.

Es ergibt sich die Frage, ob es besser wäre, den Begriff Sardar-Formation auf den Namurenanteil der Schichtfolge zu beschränken, und die tieferen Anteile, die ein Viséalter aufweisen, mit der Shishtu-2-Formation zu vereinigen. Hierfür sprechen u. a. zahlreiche gemeinsame Faunenelemente, wie *Ufimia*, *Cyathaxonia*, *Fasciculophyllum*, *Amplexocarina* usw.

### Literatur

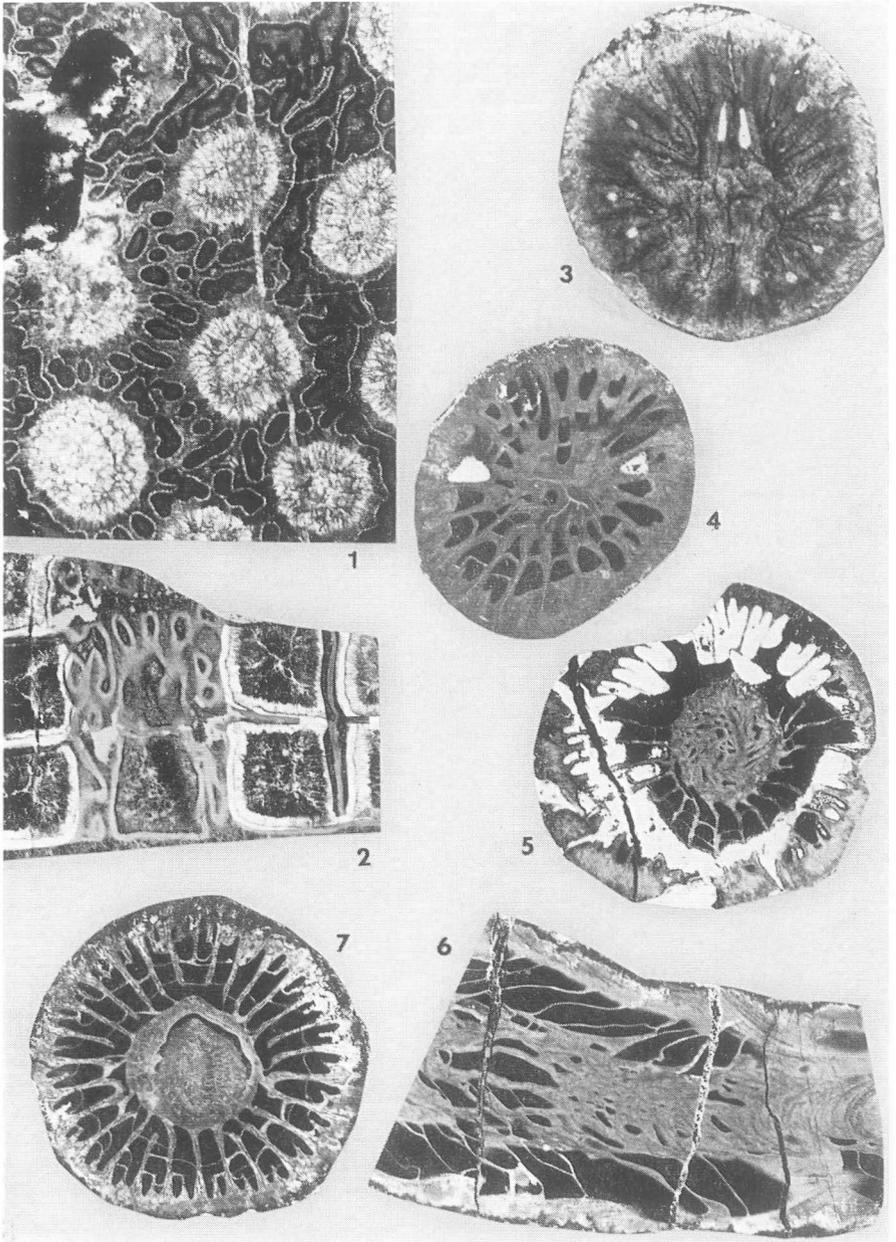
- DAMPEL, N. C.: O novum rode Coelenterata iz kamennougol' — nych otlozenij Doneckogo kamennougolo bassejna. — Dokl. AN SSSR, 26, 317—319, 4 Abb., Moskau 1940.
- DUBATOLOV, V. N. & TONG DZUY-Than: Nekotorye novye tabuljaty i tabuljatomorfnye celenateraty Severnogo V'etnama. In: Tabuljatomorf. korally devona i karbona SSSR, 2, 41—64-3 Abb., Taf. 6—9, Moskau 1965.
- FLÜGEL, H.: *Minatua*, eine neue Rugosengattung aus der Sardar-II-Formation (Bashkirian) Ostirans (im Druck 1975).
- RUTTNER, W. A. & RUTTNER-KOLISKO, A. E.: Some Data on the Hydrology of the Tabas, Shirgesht-Ozbak-kuh Area (East Iran). — Jahrb. Geol. B. A., 115, 1—48, Wien 1972.
- RUTTNER, A. & STÖCKLIN, J.: Foreword. Contributions to the Paleontology of East Iran. — Report Geol. Surv. Iran, 6, 2—6, Teheran 1966.

- SCHOUPPE, A. & STACUL, P.: Die Genera *Verbeekiella* PENECKE, *Timorphyllum* GERTH, *Wannero-phyllum* n. gen., *Lophophyllidium* GRABAU aus dem Perm von Timor. — Palaeontogr. Suppl., 4 (5) (3), 95—196, 9 Abb., Taf. 7, 8, Stuttgart 1955.
- SMITH, A. G., BRIDGEN, J. C. & DREWRY, G. E.: Phanerozoic World Maps. — Spec. Pap. Palaeont., 12, 1—42, 21 Abb., London 1973.
- SOKOLOV, B. S.: Subclass Tabulata. — In: Fundamentals of Paleontology, 2, 293—404, 75 Abb., Jerusalem 1971 (Übersetzung aus Osnovy paleontologii, Moskau 1962).
- SOKOLOV, B. S., IVANOVSKY, A. B., RIMSKAJA-KORSAKOVA, G. D. & TSCHUDINOVA, I. I.: Istorija izuschenija paleozoiskich korallov i stromatoporoidei. — 287 S., Moskau 1973.
- STEPANOV, D. L.: Carboniferous Stratigraphy of Iran. — C. R., 6, Congr. Strat. Carb., 4, 1505—1517, 1 Abb., Maastricht 1971.
- STÖCKLIN, J., EFTEKHAR-NEZHAD, J. & HUSHMAND-ZADEH, A.: Geology of the Shotory-Range (Tabas Area, East Iran). — Rep. Geol. Surv. Iran, 3, 69 S., 33 Abb., Teheran 1965.

#### Tafelerklärung

- Fig. 1 *Donetzites mariae* n. sp.  
Holotypus UGP. 110, Sardar-Fm. II, Unteres Bashkirium,  
Cheshmeh-Shir, Ozbak-Kuh-Ketten, Ost-Iran. Querschliff  $\times 5$
- Fig. 2 *Donetzites mariae* n. sp.  
Holotypus UGP. 110, Längsschliff  $\times 5,5$
- Fig. 3 *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.  
Holotypus UGP. 111, Sardar-Fm. I, Unteres Bashkirium  
Cheshmeh-Shir, Ozbak-Kuh-Ketten, Ost-Iran. Querschliff  $\times 10$
- Fig. 4 *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.  
Holotypus UGP. 111, Querschliff  $\times 4$
- Fig. 5 *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.  
Holotypus UGP. 111, Querschliff  $\times 3$
- Fig. 6 *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.  
Paratypus UGP. 121, Längsschliff  $\times 3$
- Fig. 7 *Pseudowannerophyllum differens* n. g. et n. sp.  
Paratypus UGP. 123, Querschliff  $\times 3$

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. H. W. FLÜGEL, Abt. f. Paläont. & Hist. Geologie, Inst. f. Geol. & Paläont. Univ. Graz, Heinrichstraße 26, Österreich.



Tafel 1



# Die Geologie und Genese der pyritischen Cu/Zn-Lagerstätten vom Typus Noranda in sauren Vulkaniten des südlichen Kanadischen Schildes

Bernhard FREE, Toronto

Mit 3 Abbildungen

## Zusammenfassung

Die pyritischen Kupfer-Zink-Lagerstätten vom Typus Noranda sind vulkanischer Herkunft, syngenetisch in bezug auf die sie einschließenden Nebengesteine und gebildet unter Bedingungen eines untermeerischen Vulkanismus.

Die Haupterkörper sind in der Regel schichtgebundene, linsenförmige, pyritische Derberzmassen<sup>1</sup> mit unterschiedlichen Gehalten an Kupferkies, Zinkblende und akzessorischen Silber- oder Goldgehalten.

Die, zu einem erkennbaren vulkanischen Komplex oder vulkanischen Feld gehörenden, jedoch räumlich getrennten Lagerstätten sind horizontbeständig und zeitstratigraphische Äquivalente spezifischer Nebengesteine.

Obwohl die hier besprochenen vulkanogenen<sup>2</sup> Cu/Zn-Lagerstätten archaischen Alters sind, ist der Typ weltweit verbreitet und an keine bestimmte geologische Epoche gebunden.

Es ist eine Eigentümlichkeit, daß Bleiglanz erst in den jüngeren Lagerstätten vom Proterozoikum an als weiterer Hauptgemengeteil auftritt. Es mag dies auf die Neuzufuhr von radio-nem Blei zurückzuführen sein.

## Einführung

Abgesehen von wenigen frühen Vermutungen, daß vulkanische Exhalationen die Quelle von Metallen in bestimmten Lagerstätten sein könnten, hat sich die Theorie der epigenetischen, hydrothermal-metasomatischen Vererzung für die archaischen Cu/Zn-Lagerstätten in sauren Vulkaniten bis vor wenigen Jahren erfolgreich behauptet. Die mittlerweile klassisch gewordenen Arbeiten von OFTEDAHL 1958, STANTON 1959/60 leiteten die Ära der „Syngenetiker“ ein, die dann ihren endgültigen Durchbruch mit GILMOUR 1965 und BOLDY 1968 erreichte. Zahlreiche, bis dahin bekannte und seitdem neuentdeckte vulkanogene Cu/Zn-Sulfidlagerstätten sind völlig im Einklang mit dem syngenetischen, vulkanogen-exhalativen Konzept. In diesem Zusammenhang stellt diese Arbeit hauptsächlich eine Zusammenfassung der allgemeingültigen geologischen Parameter dar.

---

<sup>1</sup> Derberz (massive ore): hat in diesem Zusammenhang keine texturale, sondern lediglich quantitative Bedeutung, wobei üblicherweise 50 Volumsprozent Metallsulfidgehalt als Norm verwendet wird.

<sup>2</sup> Vulkanogen: betont die genetische Beziehung zwischen diesen Lagerstätten und vulkanischen Prozessen i. w. S.

## Wirtschaftliche Bedeutung

Weit über die Hälfte der gesamten Zink- und Silberproduktion sowie ein bedeutender Anteil der Kupfer- und Goldproduktion in Kanada stammt von den vulkanogenen Sulfidlagerstätten. Von etwa achtzig, im Präkambrium des Kanadischen Schildes bekannten Lagerstätten dieser Art befinden sich etwa zwanzig im Abbau. Die Mehrzahl der restlichen Lagerstätten ist bereits abgebaut oder steht gegenwärtig unter Auswertung.

Die Durchschnittsgröße dieser Lagerstätten liegt zwischen 2 und 5 Mill. Tonnen, obwohl alle Größenordnungen bekannt sind. Die folgenden Beispiele sind typische Vertreter ihrer Art:

Lagerstätte	Delbridge	Lake Dufault	Kidd Creek
Geogr. Lage	Noranda, P. Q.	Noranda, P. Q.	Timmins, Ont.
Größe (Mio. t)	0,326	2,37	> 90,0
Cu-Gehalt (Gew.-%)	1,03	4,0	1,33
Zn-Gehalt (Gew.-%)	11,9	7,2	7,08
Ag-Gehalt (g/t)	117,6	62,4	137,5

Die Möglichkeiten weiterer Vorkommen in jeder Größenordnung sind, selbst auf längere Sicht gemessen, noch nicht annähernd erschöpft.

### Regionale Verteilung und Alterseinstufung

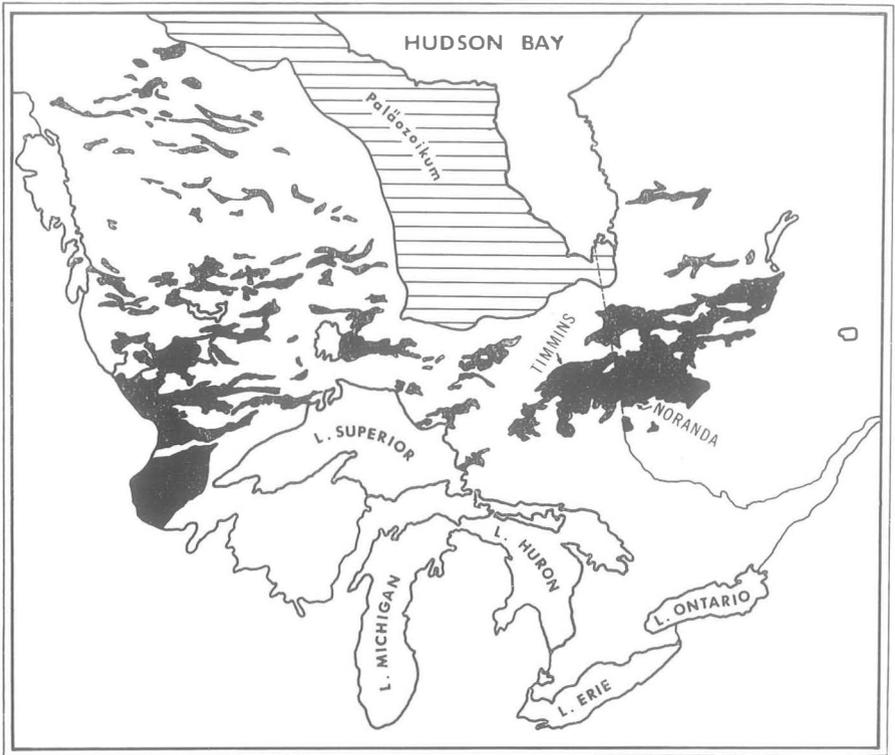
Alle Typuslagerstätten sind an individuelle vulkanische Komplexe gebunden, die sich aus Tausenden von Metern mächtigen Akkumulationen von hauptsächlich basischen und sauren Vulkaniten mit ihren primären vulkanodetrithischen Verwitterungsprodukten aufbauen. Dicht gruppierte oder gereihte vulkanische Komplexe bilden die sogenannten vulkanischen- oder Grüngesteinsgürtel (Fig. 1), die als Erosionsreste der, bis auf die Gesteine des initialen Vulkanismus reduzierten Orthogeozyklinalen oder ozeanischen Inselbögen gedeutet werden.

Das archaische Alter der Vulkanite stimmt mit dem für die Metallsulfide ermittelten Alter von  $2,9-3,0 \times 10^9$  Jahren (ROSCOE 1965) überein.

Basaltische Kissenlaven, aquagene Tuffe und Tuffite sowie feingebänderte Cherts und geschichtete Grauwacken lassen auf untermeerische Bildungsbedingungen schließen.

### Struktur und Metamorphose

Während der spät-archaischen Kenorischen Orogenese ( $2,5 \times 10^9$  Jahre) wurde ein vorwiegend symmetrischer, einphasiger Baustil mit Ost-West streichenden Großachsen geschaffen. Die schwachmetamorphen Effekte dieser, eher moderaten, Deformation spiegeln sich in der epizonalen Mineralfazies der Gesteine wider. Die Sulfide der Derberze reagierten auf die Metamorphose lediglich mit Kornvergrößerung durch Sammelkristallisation ohne nennenswerte Veränderung der Mineralogie und der Textur.



**Fig. 1 - Lageskizze der Archaischen Vulkanite und Sedimente im Südlichen Kanadischen Schild (nach H.G. Stockwell)**

### **Die lithologische Cu/Zn-Sulfid-Assoziation**

Die offensichtlich vulkanogene Beziehung der sulfidischen Erzkörper führte zu intensiven petrologischen Untersuchungen der Gesamtheit der Vulkanite, die folgende Gesetzmäßigkeiten erbrachte: Nennenswerte Vererzung findet sich vorwiegend in rhyolithischen Gesteinen der ozeanisch-tholeitischen Serie. Das fallweise Auftreten von „kalk-alkalischen“ Vulkaniten, besonders in der Nähe von Vererzungen, ist eher auf chemische Reaktion unter Zufuhr von  $K_2O$ ,  $Na_2O$  und  $MgO$  aus dem Meerwasser zu erklären, denn als Abstammung von einem primär kalk-alkalischen Magma. Obwohl quantitativ stark zurücktretend ( $\approx 10\%$ ) sind die Rhyolithe neben den tholeitischen Basalten und weniger häufigen Andesiten ( $\sim 70\%$ ) die Hauptvertreter der vulkanischen Gesteine (DESCARREAU 1972, et al.). Auffallend ist das abnormal niedrige Volumen an intermediären Vulkaniten.

Die jüngsten Ergebnisse petrographischer und petrologischer Untersuchungen durch GELINAS und Mitarbeiter (Ecole Polytechnique Montreal, seit 1972) am vulkanischen Komplex von Noranda, Quebec, lassen auf die Koexistenz un-

mischbarer basischer und saurer Magmen als Quelle der Eruptiva schließen. Diese Erkenntnisse erleichtern die Beilegung der Kontroverse über die Entstehung der sogenannten „sauren Endglieder“ durch kontinuierliche Differentiation durch Kristallisationsfraktionierung eines basaltischen oder andesitischen Ausgangsmagmas.

### Physiographie der Lagerstätten

#### 1. DIE GEOLOGIE DER ERZKÖRPER

Die Erzlager treten als tafelförmige oder linsenförmige Derberzmassen auf, die nicht selten Mächtigkeiten von mehreren Zehner Metern erreichen. Die anderen beiden Hauptdimensionen der Sulfidkonzentrationen sind konkordant zum einschließenden Nebengestein. Die Derberzkörper selbst sind räumlich und genetisch eng mit pyroklastischen Eruptiva rhyolithischer Herkunft vergesellschaftet (Fig. 1, 2). Zum Teil seitlich überlappend, setzt sich von den dichten Erzmassen die Kieselfazies der Cherts oder Jaspilite fort. Die letzteren bilden gewöhnlich geringmächtige, aber ausgedehnte Ablagerungen, die als zeitstratigraphisch äquivalenter Fazieshorizont Anzeigewert für die Sulfidlagerstätten besitzen.

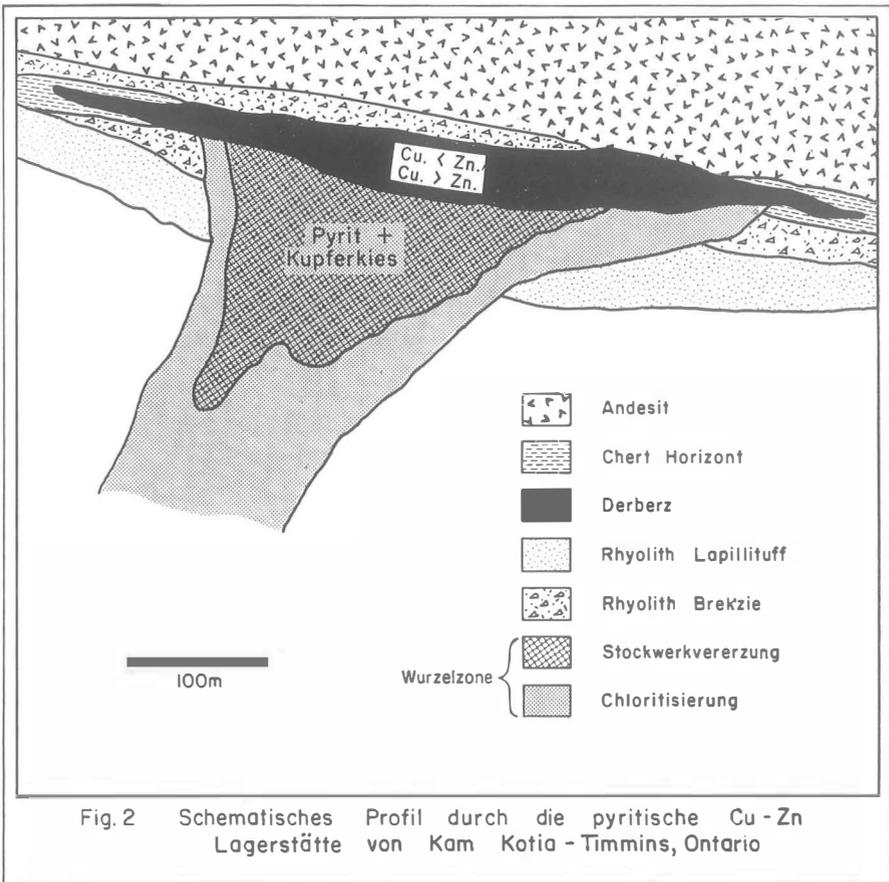


Fig. 2 Schematisches Profil durch die pyritische Cu-Zn Lagerstätte von Kam Kotia - Timmins, Ontario

Die Kontakte der Derberzkörper sind nach allen Seiten scharf und besonders zum stratigraphisch Hangenden bis in den Spurenmetallbereich.

Bei den „primären“ Lagerstätten findet sich, vom Liegenden des Derberzkörpers fortsetzend, eine diffuse Gesteinsveränderung mit vorwiegend pyritischer Mineralisation. Diese sogenannte „Wurzelzone“ (alteration pipe von GILMOUR 1965, BOLDY 1968, ANDERSON 1969) steht in diskordanter Lagebeziehung zum Nebengestein (Fig. 2).

## 2. INTERNE STRUKTUREN UND TEXTUREN

Die Bezeichnung „Dichterz“ oder „Derberz“ im Zusammenhang mit den vulkanogenen, pyritischen Cu/Zn-Sulfidlagerstätten bezieht sich ausschließlich auf das Gewichts- und Volumsverhältnis von Erz zu Ganggestein und ist ohne jegliche Bedeutung für die Lagebeziehung der Gemengteile des Erzkörpers.

Je nachdem, ob es sich entweder um die primär chemische oder subsequent mechanische Ablagerung der Sulfide und Gangkomponenten handelt, ist in allen Erzkörpern eine diffuse bis deutliche Bänderung bzw. Schichtung der Metallsulfide parallel zum Lagerstättenkontakt zu beobachten.

Während die Bänderung vorwiegend durch wechsellagernde Zinkblende und Pyritlagen verursacht wird, ist die Schichtung meist das Resultat mechanischer Ablagerung der klastischen Sulfide und Ganggesteine.

Die Dicke der Bänderung liegt im Zentimeter- und Dezimeter-Bereich, ohne nennenswerte laterale Ausdehnung individueller Bänder, während die Schichtung wesentlich geringere Dicke aufweist und nicht selten über die gesamte Ausdehnung der Lagerstätte aushält.

Subsequent mechanische Ablagerung trifft auch für die häufig auftretenden Brekzien- oder Agglomeraterze zu, die aus einer chaotischen Vergesellschaftung von Sulfid- und Eruptivgesteinsfragmenten bestehen.

Es ist ein weiteres Charakteristikum, daß die prätektonisch, mechanisch verlagerten Erzkörper beinahe übergangslos, aber konkordant, auf ihrem Liegenden liegen (Fig. 3), während die primär chemogenen Derberzkörper auf einer sich nach unten trichterförmig verjüngenden, diskordanten „Wurzelzone“ aufsetzen (Fig. 2). Diese Wurzelzone besteht aus stark hydrothermal verändertem, meist völlig chloritisiertem Nebengestein, das mit einem Stockwerk von anastomisierenden Quarz- und Pyrit-Gängchen durchsetzt ist (stringer ore). Der Gesamtgehalt an Sulfiden in der Wurzelzone beträgt selten mehr als 25%. Kupferkies, gewöhnlich weniger als 5%, findet sich im Pyrit im oberen Teil der Wurzelzone und nimmt mit zunehmender Tiefe ab, bis nur mehr Quarz und Pyrit vorherrschen, wobei letzterer ebenso allmählich zurücktritt, bis nur mehr Silifizierung vorherrscht.

Offensichtlich handelt es sich bei den Wurzelzonen um Abzugssysteme und in manchen Fällen nachgewiesenermaßen um echte vulkanische Schlote, durch die die erzbringenden Lösungen aufstiegen, um ihren Metallgehalt unter Reaktion mit dem Meerwasser auszuschcheiden.

## 3. DIE ZONARE VERTEILUNG DER METALLE — PRIMÄRE TEUFENUNTERSCHIEDE

Eine außerordentlich wichtige und charakteristische Eigenschaft dieser Lagerstätten ist die vertikalzonare Verteilung bestimmter Metalle und Sulfide.

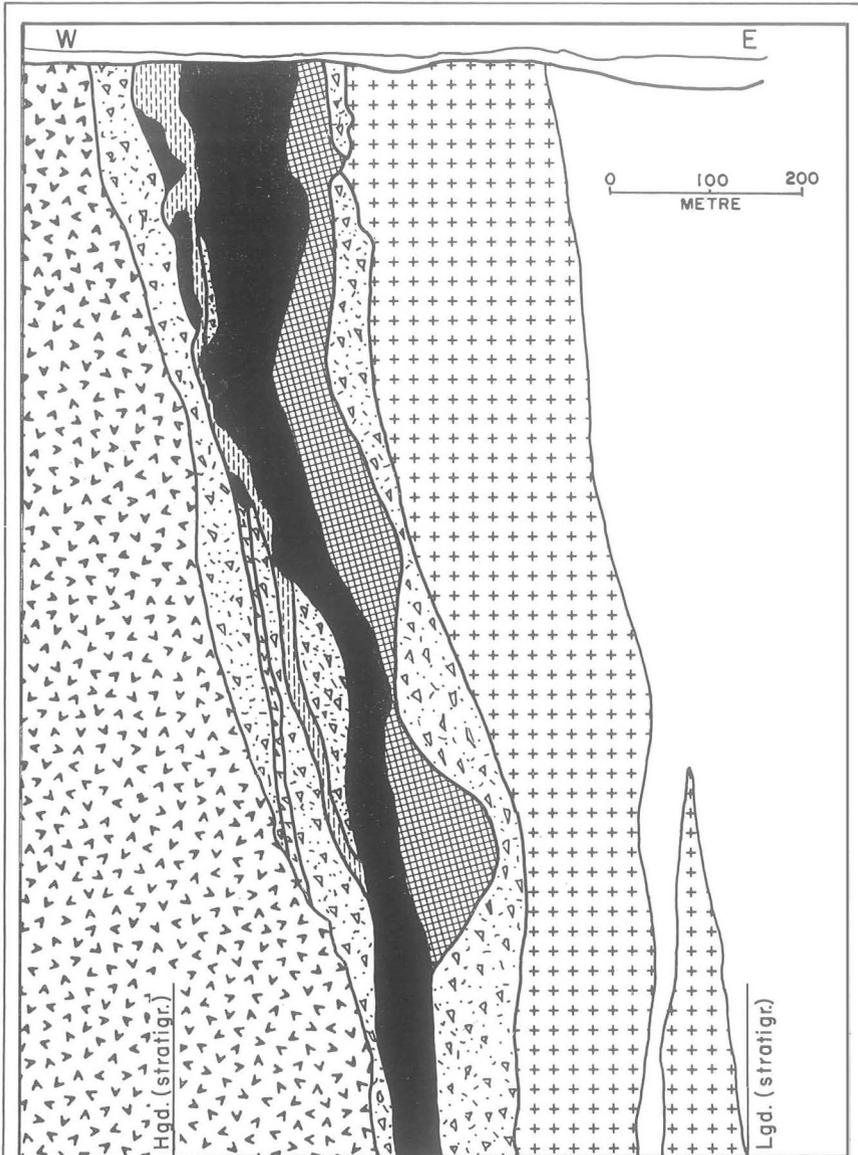


Fig. 3 - Profil durch die Kidd Creek Cu/Zn/Ag Lagerstätte (nach A. Matulich, 1974)

- |  |   |  |                                 |  |                                       |
|--|---|--|---------------------------------|--|---------------------------------------|
|  | Andesit   |  | Rhyolith                        |  | Rhyolithbrekzie                       |
|  | Stockwerkverzung<br>( $\text{FeS}_2 + \text{CuFeS}_2$ ) |  | Graphitischer<br>Chert-Horizont |  | Derberz<br>(geschichtet<br>Klastisch) |

So verlässlich und konstant sind diese primären Teufenunterschiede, daß sie bei gestörten Lagerungsverhältnissen Aufschluß über die ursprüngliche stratigraphische Orientierung des Gesteinsverbandes geben können.

Die zonare Mineral- und Metallverteilung ist durch die beinahe gesetzmäßige Veränderung des Verhältnisses Pyrit : Kupfer : Zink + Silber in stratigraphischer Reihenfolge gegeben.

In einer typischen „primären“ Lagerstätte herrscht in der unteren Wurzelzone Pyrit (manchmal auch Pyrrhotin, sekundär aus Pyrit gebildet) mit allmählich zunehmendem Kupferkieesgehalt vor, der seinen Höchstwert gegen das Liegende des Derberzkörpers erreicht. Im unteren Teil des pyritischen Derberzkörpers herrscht Kupfer über Zink. Im mittleren Teil verschiebt sich das Verhältnis Cu : Zn zugunsten von Zink und im oberen Teil dominiert Zink. Hier tritt auch das Silber in Erscheinung, das stets mit dem Zink vergesellschaftet ist (Fig. 2). In dieser Reihenfolge kann sich Cu : Zn + Ag wie

$$3 : 1 + 0 \rightarrow 2 : 2 + x \text{ Ag} \rightarrow 1 : 6 + n \times \text{Ag} \text{ verhalten.}$$

Die Prävalenz dieser Beziehung, die durch keine tektonischen Einflüsse gestört zu werden scheint, ist einer der Hauptparameter des syngenetischen Konzeptes dieser Lagerstätten.

### Diskussion zur Genese

Die stereotype Wiederholung des selben geologischen Rahmens aller Lagerstätten des Arbeitsgebietes führte unvermeidlich zu dem konzeptuellen geologischen Modell von der vulkanogenen Beziehung der pyritischen Derberzkörper.

Offensichtlich geschieht die Förderung des metallisierenden Mediums sowie die unmittelbare Niederlage der Sulfide und der paragenetischen Silikatfazies auf hydrothermalen Basis, während einer erlöschenden oder „stillen“ vulkanischen Phase. Wenn nicht selbst, so doch vergleichbar mit der fumarolischen, speziell der solfatarischen Phase nach vorhergehender, explosiver Förderung saurer Eruptiva. Dadurch ist die Metallisation und Ablagerung der paragenetischen, nichtmetallischen Fazies in einem charakteristischen zeitstratigraphischen Intervall räumlich und zeitlich fixiert.

Geomorphologisch und stratigraphisch gesehen spielen sich diese Vorgänge in einem vulkanischen Feld am Meeresboden ab. Zersetzung von feinpyroklastischem Material, Ionenaustauschreaktionen und Verwitterung von Effusiva unter untermeerischen Bedingungen findet ohne bedeutende Zufuhr von allochthoner Fazies statt.

Mechanische Oberflächenveränderungen durch vorwiegend exogen-dynamische Vorgänge, wie Rutschungen von unverfestigtem Material an Hängen, herrschen vor.

Die Paläo-Oberfläche wird zur lithostratigraphischen Konkordanz, sobald erneute vulkanische Tätigkeit oder stärkere Sedimentation einsetzt. Bedeutende Erosion scheint sehr selten während dieser „Ruhepause“ aufzutreten und fortzudauern.

Wo saure Vulkanite vorherrschten, finden sich die entsprechenden Gesteine im Liegenden; ansonsten kann dieser Gesteinskontakt jede andere mögliche Variation aufweisen. In jedem Falle aber markiert er dasselbe, die Metallisation enthaltende zeitstratigraphische Intervall.

Für die Lokalisierung der Metallsulfide und chemogenen Silikate ist anzunehmen, daß sie als Kolloide in einem hydrothermalen Medium (FRANCK 1969, FYFE 1973) die Oberfläche erreichen und unter Reaktion mit dem kühlen Meerwasser gefällt oder ausgeflockt werden und so ein präkristallines, gelförmiges Sulfid bzw. Chertvorläuferstadium bilden. Weitverbreitete kolloforme Texturen und Gelformen in den Sulfiden, besonders in Pyritlagen, unterstützen diese Annahme.

Als Aufstiegs- und Transportwege der hydrothermalen Phasen dienen inaktive Vulkanschote, Caldera-Randverwerfungen, Radialspalten und Entgasungszonen in rhyolithischen Stoß- oder Querkuppen.

Die Entstehung der sauren Fragmente der vulkanogenen Brekzien als umschließendes Nebengestein ist teils echt pyroklastisch (BOLDY 1968), teils durch Abplatzen bei der Abschreckung durch das Meerwasser der hochviskosen extrusiven Lavamassen (HORIKOSHI in WATANABA & HORIKOSHI 1970) zu verstehen.

Die Herkunft der Metalle wird allgemein als primär magmatisch in juvenilen Restlösungen gedeutet. Eine Alternative bietet das Modell der Metall- und Silicalaugung am älteren Nebengestein durch Thermokonvektion von Gesteins- oder Meerwasser, verursacht durch starke Isothermengradienten um und über extrusiv-intrusiven felsischen Lavamassen (ANDERSON 1969, OHMOTO 1973, FYFE 1973). Keines der beiden Modelle bietet eine Lösung zum Problem der Exklusivität des Kupfers und des Zinks, erklärt aber zufriedenstellend die Entstehung des „hydrothermalen Schlotes“ (Wurzelzone, alteration pipe) durch hydrothermal-chemische Chloritisierung (Mg-Zufuhr) des betroffenen Nebengesteins.

Entsprechend der topographischen Situation an der Austrittsöffnung des hydrothermalen Schlotes verbleiben die Sulfidvorläufer und werden kristallin in situ oder sie verlagern sich hangabwärts. Im ersten Falle präsentiert sich dann das Derberzlager in der klassischen Konfiguration der Auflage auf der Schlotöffnung und Wurzelzone (Fig. 2) oder es ist disloziert und findet sich, meist vergesellschaftet mit ebenso allochthoner Lithofazies, entfernt von seiner Wurzelzone meist als Lagenerz (Fig. 3). Einen Sonderfall stellt die Verlagerung des schon kristallinen Erzes durch subsequente explosive Tätigkeit dar. Die Erzkörper werden dann aus pyroklastischen Sulfiden mit pyroklastischem Ganggestein gebildet und weisen typische mechanisch-sedimentäre Strukturen und Texturen auf.

Für die Präzisierung der genetischen Klassifikation wird vorgeschlagen, die vulkanogenen pyritischen Cu/Zn-Sulfid-Derberzkörper mit den geläufigen Begriffen *autochthon*, *allochthon* zu bezeichnen, je nachdem, ob sie entweder in *Kontakt* mit ihrer Wurzelzone sind oder *disloziert* wurden.

### Danksagung

Der Autor ist COMINCO Ltd. für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet. In dankenswerter Weise bemühte sich Dr. W. GRÄF, Graz, um die kritische Durchsicht des Manuskripts. Besonders anregende Diskussionen zum Thema Vulkanologie und Metallogenie verdankt der Verfasser den Herren Dr. A. R. KINKEL, ehem. USGS., Prof. R. W. HUTCHINSON und Prof. F. R. S. FYFE, Universität Western Ontario, Dr. D. F. FISHER, Universität von Toronto, Dr. E. HORIKOSHI, Tokio, sowie Prof. A. GELINAS, Ecole Polytechnique, Montreal.

## Literatur

- ANDERSON, C. A. (1969): Massive Sulfide Deposits and Volcanism. — *Bull. Soc. Econ. Geol.*, vol. 64, No. 2, pp. 141—142.
- BISCHOFF, J. L. & MANHEIM, F. T. (1969): Economic potential of the Red Sea heavy metal deposits. — in — *Hot brines and Recent heavy metal deposits in the Red Sea*, Springer-Verlag, N. Y., pp. 535—541.
- BOLDY, J. (1968): Geological Observations on the Delbridge Massive Sulphide Deposit. — *Transact. CIMM.*, 1968.
- BRETIZEL, de P. & FOGLIORINI, F. (1971): Les gites sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et volcano-sédimentaire. — *Min. Deposita*, 6, No. 1, pp. 65—76.
- DEGENS, E. T. & ROSS, D. A. (1959): Hot brines and Recent heavy metal deposits in the Red Sea: Springer-Verlag, N. Y., pp. 363—366.
- DESCARREAUX, Jean (1972): A Lithochemical Crossection of the Abitibi Volcanic Belt. — Paper presented 14th. Ann. Meet. CIMM., Ottawa.
- FISHER, D. F. (1970): Origin of the No. 5 Zone, Horne Mine, Noranda Quebec. — M. Sc. thesis Univ. of Western Ontario, London, Ont., 44 p. (unveröffentl.).
- FRANCK E. v. (1969): Ions in aqueous solutions in high temperatures and pressures. — *Chim. Phys.*, vol. 66, pp. 9—18.
- FYFE, F. R. S. & HENLEY, R. W. (1973): Some Thoughts on Chemical Transport Processes, with Particular Reference to Gold. — *Miner. Sci. Eng.*, vol. 5, No. 4.
- GILMOUR, F. (1965): The origin of massive sulphide mineralization in the Noranda District, Northwestern Quebec. — *Proc. Geol. Assn. of Canada*, vol. 16, pp. 63—81.
- GOODWIN, A. M. (1962): Volcanic complexes and mineralization in Northeastern Ontario. *Can. Min. Jour.*, vol. 83, No. 4.
- HONNOREZ, J. (1969): La formation actuelle d'un gisement sousmarin de sulfures fumarolliens à Vulcano (mer tyrrhénienne) — Partie 1, Les minéraux sulfurés des tufs immergés à faible profondeur. — *Min. Deposita*, vol. 4, No. 2, pp. 114—131.
- HUTCHINSON, R. W. (1965): Genesis of Canadian massive sulphides reconsidered by comparison to Cyprus deposits. — *Trans. CIMM.*, vol. LXXVIII, pp. 286—314.
- JENKS, W. F. (1971): Tectonic Transport of Massive Sulphide Deposits in Submarine Volcanic and Sedimentary Host Rocks. — *Econ. Geol.*, vol. 66, pp. 1215—1224.
- KALLIOKOSKI, J. (1965): Metamorphic Features in North American massive sulphide deposits. — *Econ. Geol.*, vol. 60, No. 3, pp. 485—505.
- KINKEL, A. R. (1966): Massive pyritic deposits related to volcanism, and possible methods of emplacement. — *Econ. Geol.*, vol. 61, pp. 673—694.
- MATULICH, A. et al. (1974): *THE ECSTALL STORY*. — The Geology Department. — *CIMM. BULL.*, vol. 67, No. 745, p. 59.
- MCDONALD, J. A. (1957): Metamorphism and its effects on sulphide assemblages. — *Min. Deposita*, vol. 2, No. 3, pp. 201—220.
- OFTEDAHL, C. A. (1958): A theory of exhalative-sedimentary ores. — *Geol. fören. i Stockholm förh.*, No. 492, Bd. 80, 1, pp. 1—19.
- OHMOTO, H. (1973): Origin of Hydrothermal Fluids Responsible for the Kuroko Deposits in Japan. — Paper given at the AIME annual meeting Chicago, 1973.
- ROSCOE, S. M. (1965): Geochemical and isotopic studies, Noranda and Matagani areas. — *Trans. CIMM.*, vol. LVIII, pp. 279—335.
- SPENCE, C. D. (1966): Volcanogenetic setting of the Vauze base metal deposit, Noranda District, Quebec. — unpublished paper presented at CIMM. Annual Meeting, Quebec.

- , (1967): The Noranda Area. — in — Guidebook, CIMM., Centennial Field Excursion, Northwestern Quebec and Northern Ontario, pp. 36—39.
- STANTON, R. L. (1959): Mineralogical features and possible mode of emplacement of the Brunswick Mining and Smelting orebodies, Gloucester County, New Brunswick: — Trans. CIMM., v. LXII, pp. 337—349.
- , (1960): General features of the conformable „pyritic“ orebodies. — Trans. CIMM., vol. LXIII, pp. 22—36.
- , (1964): Mineral interfaces in stratiform ores. — Trans. CIMM., vol. 74, pp. 45—79.
- VOKES, F. M. (1966): On the possible modes of origin of the Caledonian sulphide ore deposit at Bleikvassli, Nordland, Norway. — Econ. Geol. vol. 61, pp. 1130—1139.
- WATANABE, T. & HORIKOSHI, E. (1970): Volcanism and ore genesis. — in the volume of the same name, ed., T. TATSUMI, U. Tokyo Press, pp. 423—432.

Anschrift des Verfassers: Dr. Bernhard FREE, Cominico Ltd., 120 Adelaide St. W., Toronto, M5H 1T1, Ont., Canada.

# Zur Verteilung einiger Spurenelemente in kalkigen und dolomitischen Gesteinen des östlichen Hindukusch

Helfried GAMERITH & Hans KOLMER, Graz

Mit 4 Abbildungen

## Zusammenfassung

Auf der Grundlage von geologischen Detailkartierungen (Buni Zom, Das Bar-Tal) werden aus den Hüllgesteinen der sauren Intrusiva im Grenzgebiet zwischen Chitral und Gilgit (Pakistan) Kalke und Dolomite petrographisch und geochemisch (die Elemente Ag, Ba, Bi, Ni, Pb, Sr, V und Zn) untersucht.

## Summary

Based on detailed geological mapping (Buni Zom, Das Bar-valley) limestones and dolostones belonging to the country rocks surrounding the SiO<sub>2</sub>-rich intrusive bodies of the border zone between Chitral and Gilgit (Pakistan) are analysed by petrographical and trace-chemical means (the elements Ag, Ba, Bi, Ni, Pb, Rb, Sr, V and Zn).

## 1. Einleitung

Die Hüllgesteine der im allgemeinen SiO<sub>2</sub>-reichen Intrusiva, GAMERITH & KOLMER (1973), im Gebiet des Hinduraj und des Nordwest-Karakorum (Abb. 1) bestehen zum großen Teil aus Tonschiefern, Phylliten, Quarziten, Glimmerschiefern, Amphiboliten und anderen z. T. metamorphen klastischen Sedimenten, in die örtlich Kalke bzw. Dolomite eingeschaltet sind, GAMERITH (1972).

Aufbauend auf geologische Detailkartierungen dieses bisher nur wenig bearbeiteten Areal (H. GAMERITH, Feldarbeiten 1965, 1968), wurden aus dem aufgesammelten Material Proben für eine petrographische und geochemische Untersuchung (H. KOLMER) ausgewählt. Sie stammen sowohl aus der devonisch-permischen Abfolge der Darkot-group, IVANAC, TRAVES & KING (1956) als auch aus einer Zone, welche nördlich des Karakorum-Granodiorites des Kampire Dior (Batura-Gruppe) liegt. Diese Zone dürfte die WNW-Fortsetzung der Zone V („Thetys-Karakorum“, jungpaläozoisch-mesozoisch) von SCHNEIDER (1957) darstellen. Die Serie der Darkot-group wurde im Bereich des Buni Zom (Chitral) und im Das Bar-Tal (Gilgit) studiert. Für fossilführende karbonatische Gesteine aus der östlich des Chitral-Flusses gelegenen Darkot-group hat bereits HAYDEN (1916) devonisches Alter angegeben. Aus den nordwestlich des Chitral-Flusses gelegenen Kalken der Series of Owir, McMAHON & HUDLESTON (1902), hat VOGELTANZ (1969) auf Grund neuerer Fossilfunde ebenfalls devonisches Alter postuliert. Vgl. auch ABU BAKR & JACKSON (1964).

Die Proben Li 1 und Li 5 hat uns in dankenswerter Weise H. LINZBICHLER aus der Umrahmung des Karumar-Gletschers überbracht, von der zur Zeit keine detaillierte geologische Aufnahme vorliegt.

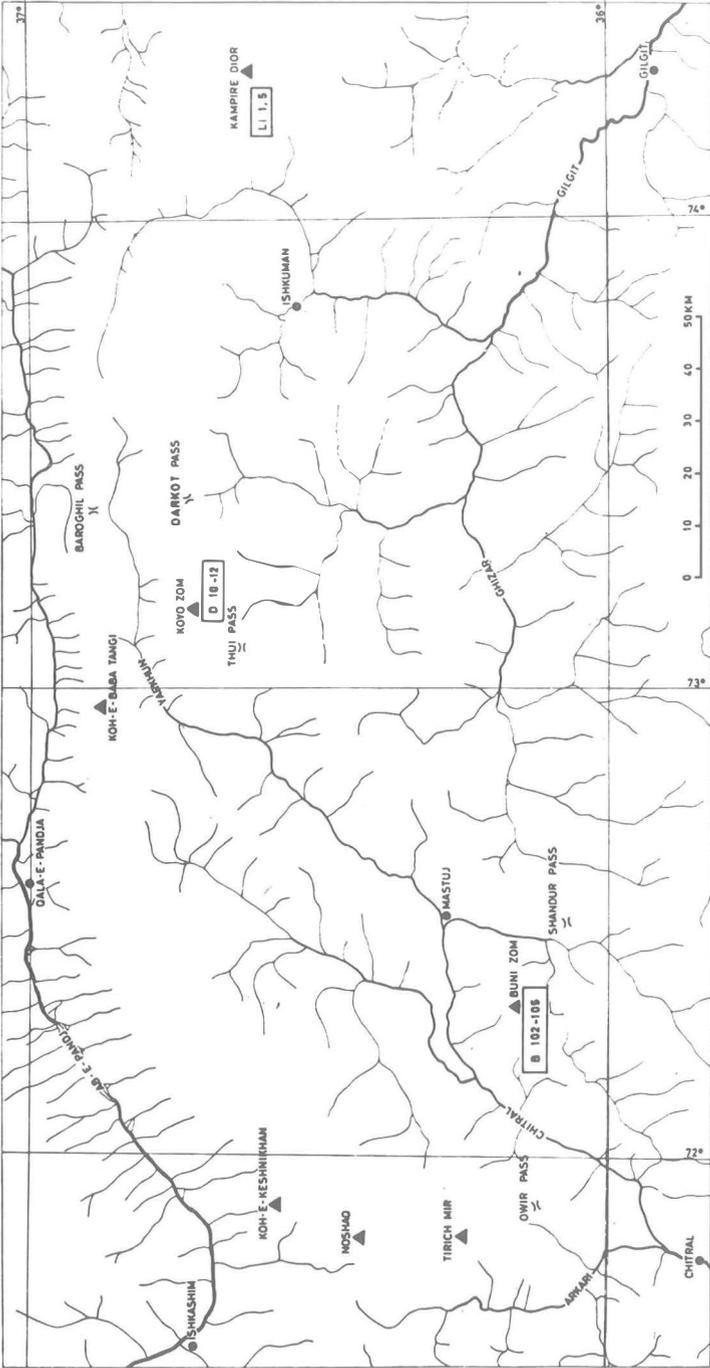


Abb. 1: Lageskizze der Probenfundpunkte

# GEOLOGISCHE ÜBERSICHT DER BUNI ZOM GRUPPE (PAKISTAN)

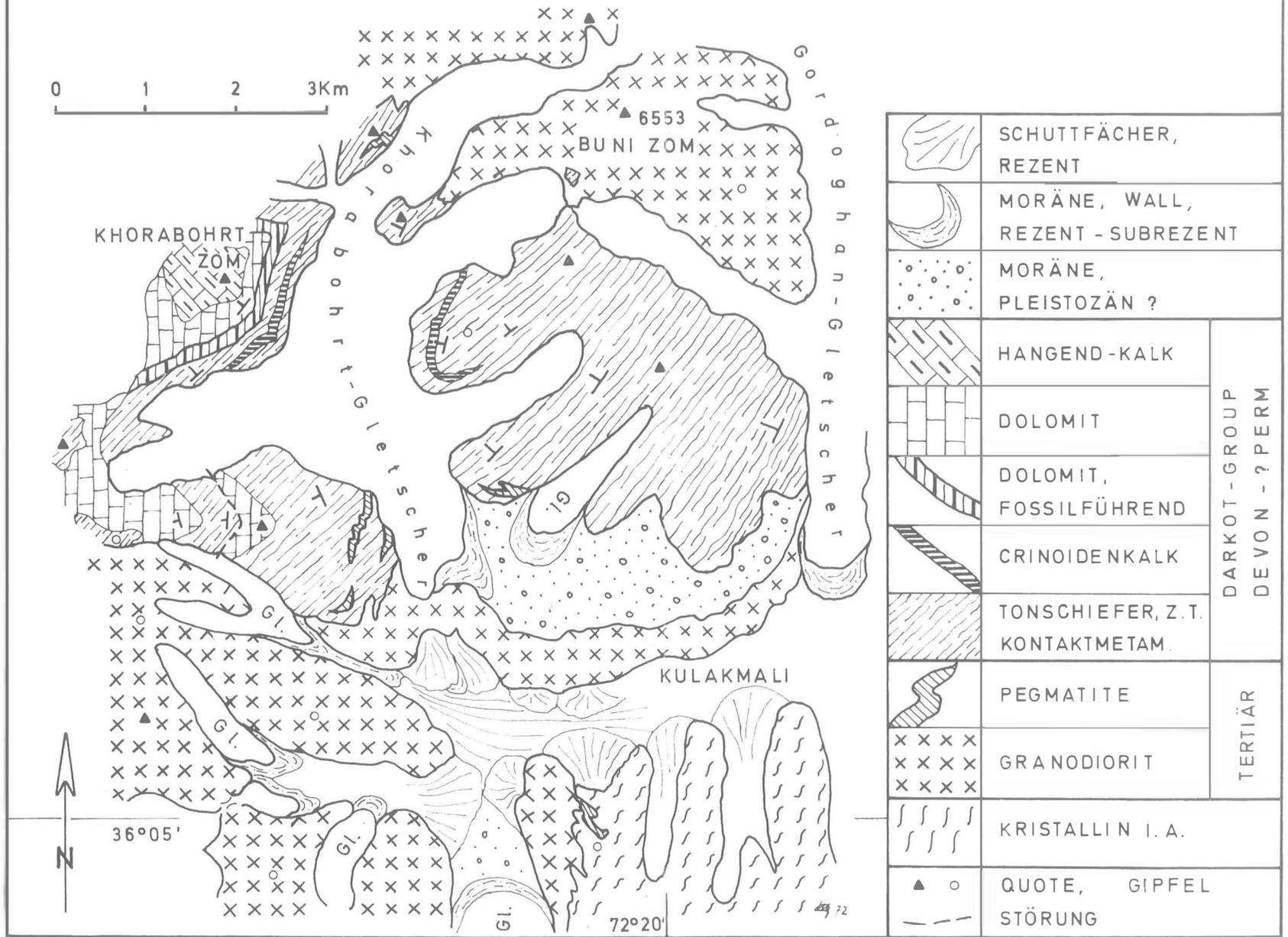


Abb. 2

## 2. Geologischer Überblick und Lage der Probennahmepunkte

### 2. 1. BUNI ZOM-GRUPPE

Im Raume der Buni Zom-Gruppe findet sich ein kleiner Erosionsrest der Darkot-group, welcher vom mächtigen Kern der granodioritischen Intrusiva, GAMERITH & KOLMER (1973), unterlagert wird. Die geologischen Details sind in Abb. 2 und Abb. 3/A wiedergegeben. Im Bereich des Khoraboht Zom (5850 m) und der südlich vorgelagerten Gipfel ist ein knapp 1000 m mächtiges Profil aufgeschlossen. Über den Granodioriten liegt eine Serie dunkelgrauer Tonschiefer und Phyllite unterschiedlicher Mächtigkeit, wobei durchwegs scharfe Kontakte mit Neubildungen von Andalusit und Cordierit zu beobachten sind. Darüber folgen in einer Mächtigkeit von ca. 100 m dünngebankte crinoidenführende, dunkelgraue bis bräunliche Kalke mit quarzreichen, sandigen Lagen (Probe B 102).

Im Hangenden folgt eine Zwischenlage dunkelgrauer Tonschiefer (ca. 70 m).

Die Tonschiefer werden von ca. 130 m mächtigen, dunkelgrauen, fossilführenden Dolomiten abgelöst (Proben B 104 a, B 104 b). Beim Fossilinhalt handelt es sich um Brachiopodenreste und um tabulate Korallen aus der Gattungsgruppe *Thamnopora-Pachypora-Striatopora*, deren nähere Bestimmung auf Grund der starken Umkristallisation nicht möglich ist; nach W. GRÄF (schriftl. Mitt.) ist devonisches Alter am wahrscheinlichsten. Darübergelagert treten hellgraugelbliche, dick gebankte, fossilere Dolomite (ca. 250 m mächtig, Probe B 105) auf. Als höchstes Schichtglied, welches auch den Gipfel des Khoraboht Zom aufbaut, finden sich die dunklen, dünnbankigen Hangendkalke.

Am Aufbau der im Profil Khoraboht Zom dargestellten Schichtfolge dürften äquivalente Schichtglieder der von SCHOUPPE (1964) und DESIO (1966) aus dem Mastuj-Tal (Chitral) beschriebenen Abfolge beteiligt sein, die im Bereiche der Ortschaft Awi SW-NO streichend den Mastuj-Fluß überquert.

### 2. 2. DAS BAR-TAL

Entlang des N-S verlaufenden Das Bar-Tales, welches in seinem Mittelteil einen granitisch-granodioritischen Pluton durchschneidet, konnten 1968 Aufnahmen der paläozoischen Gesteine am Südausgang sowie am nördlichen Oberlauf durchgeführt werden. In deutlicher Übereinstimmung zu den Ergebnissen von IVANAC et al. (1956) zeigte sich auch hier, daß die paläozoischen Gesteine eine große Antiklinale bilden, in deren Zentrum die Intrusiva liegen, Abb. 3/B. Die Achse der Antiklinale verläuft E-W und liegt generell etwa horizontal. Durch diese gedachte Antiklinale verbunden, treten im Süden bei der Ausmündung des Das Bar-Tales in das Thui-Tal wieder die gleichen charakteristischen Gesteine wie im Norden auf. Es sind dies graue und braune, feinblättrige Tonschiefer bis Phyllite, in denen mit Quarz und (Fe-)Karbonat gefüllte Gänge häufig sind; braune bis rötliche Quarzite, darin auch Konglomerate mit deutlich ausgewalzten Geröllen sowie mächtige Bänderkalke und Crinoidenkalke. Die Bänderkalke (Probe D 10) sind stark umkristallisiert und fossilleer und auch die Crinoidenkalke (Probe B 11) des obersten Das-Bar-Tales sind so stark umgesetzt, daß eine Bestimmung des Fossilinhaltes nicht möglich war.

Aus einer der eingefalteten Kalkschuppen in unmittelbarer Nähe des nördlich angrenzenden „Darkot-Paß-Granodiorites“ entstammt Probe D 12.

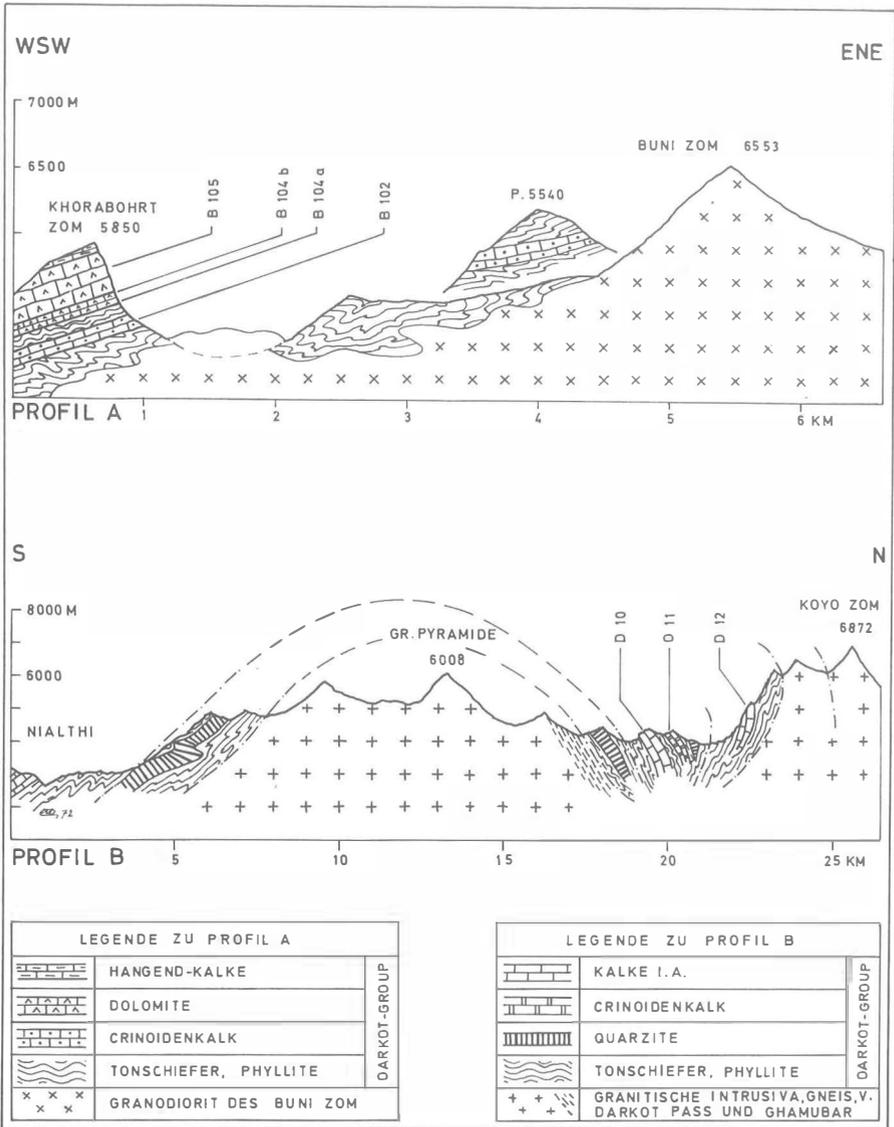


Abb. 3: A: Profil Khorabort Zom-Buni-Zom  
B: Profil durch das Koyo Zom-Massiv

Nach HAYDEN (1916) und IVANAC et al. (1956) treten im östlich benachbarten Bereich zwischen dem Darkot-Paß und der Ortschaft Darkot die Kalke besonders hervor, die auf Grund von Fossilfunden dort als Perm eingestuft werden.

### 3. Petrographische und geochemische Untersuchungen

#### 3. 1. METHODIK

Die auf 0,1 mm zerkleinerten Proben wurden in 0,1 n HCl gelöst, der unlösliche Anteil wurde abfiltriert und gravimetrisch bestimmt. Die Analyse auf CaO, MgO bzw. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> erfolgte komplexometrisch, THEIS (1955), einige Ca-Gehalte wurden flammenphotometrisch kontrolliert. Die gegenüber der quantitativen röntgenographischen Karbonatbestimmung aufwendigere chemische Analyse wurde deshalb gewählt, da für die nachfolgende Konzentrationsbestimmung der Spurenelemente eine möglichst genaue Kenntnis der Matrixzusammensetzung erforderlich war.

Die mineralogische Zusammensetzung des HCl-unlöslichen Anteiles wurde mittels Röntgendiffraktometeraufnahmen (CuK-Strahlung, Winkelgeschwindigkeit  $1/2^\circ/\text{min}$ ) bestimmt. Die Ermittlung der Molverhältnisse in Calcit und Dolomit erfolgte röntgenographisch, z. B. GOLDSMITH, GRAF & JOENSUU (1955), GOLDSMITH & GRAF (1958, 1960), PRINZ (1964). Die Untersuchung der Erzkörner wurde an mittels Dichtentrennung angereicherten Proben vorgenommen.

Der Gehalt an Spurenelementen wurde mittels RFA bestimmt. Geprüft wurde auf die Elemente Ag, Ba, Bi, Ni, Pb, Rb, Sr, V und Zn. Die Eichung erfolgte an Hand von Test-Mischungen unterschiedlicher Konzentration der käuflichen Reinstverbindungen sowohl in CaCO<sub>3</sub>- als auch in MgCO<sub>3</sub>-Matrix. Die Ermittlung der Konzentrationen aus den gemessenen Intensitäten wurde rechnerisch auf einer UNIVAC-494-Anlage im Rechenzentrum Graz ausgeführt. Die Konzentrationsangaben erfolgen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %. Die Beschreibung des Rechenprogramms bleibt einer späteren Publikation vorbehalten.

#### 3. 2. PROBENBESCHREIBUNG

Probe B 102:

bräunlicher Crinoidenkalk, sandig; Fossilreste (Crinoidenstielglieder). Calcit (Molverhältnis CaCO<sub>3</sub> : MgCO<sub>3</sub> = 93 : 7) 19,9 Gew.-%, Dolomit (Molverhältnis CaCO<sub>3</sub> : MgCO<sub>3</sub> = 51 : 49) 8,3 Gew.-%; HCl-unlöslicher Anteil (71,8 Gew.-%): Quarz, Feldspat (Albit > Mikroklin) auch in gerundeten Körnern, wenig Muskovit und Biotit, graphitische Substanz.

Probe B 104a:

dunkelgrauer, feinkörniger Dolomit mit nicht bestimmten Fossilresten. Calcit (98 : 2) 3,7 Gew.-%, Dolomit (52 : 48) 87,3 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (9 Gew.-%): Chlorit, trioktaedr. Illit, Feldspat (Mikroklin), ein Mineral der Amphibolgruppe, Pyrit (< 0,5 mm Ø), graphitische Substanz.

Probe B 104b:

dunkelgrauer, feinkörniger Dolomit mit Korallen aus der Gattungsgruppe *Thamnopora-Pachypora-Sriatopora*. Dolomit (48 : 52) 99,2 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (< 1 Gew.-%): Chlorit mit Wechsellagerungsstruktur, Pyrit, graphitische Substanz.

Probe B 105:

hellgrauer, gelblich angewitterter Dolomit. Dolomit (48 : 52) 99,7 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (< 0,5 Gew.-%): Illit, Quarz, Plagioklas, Pyrit.

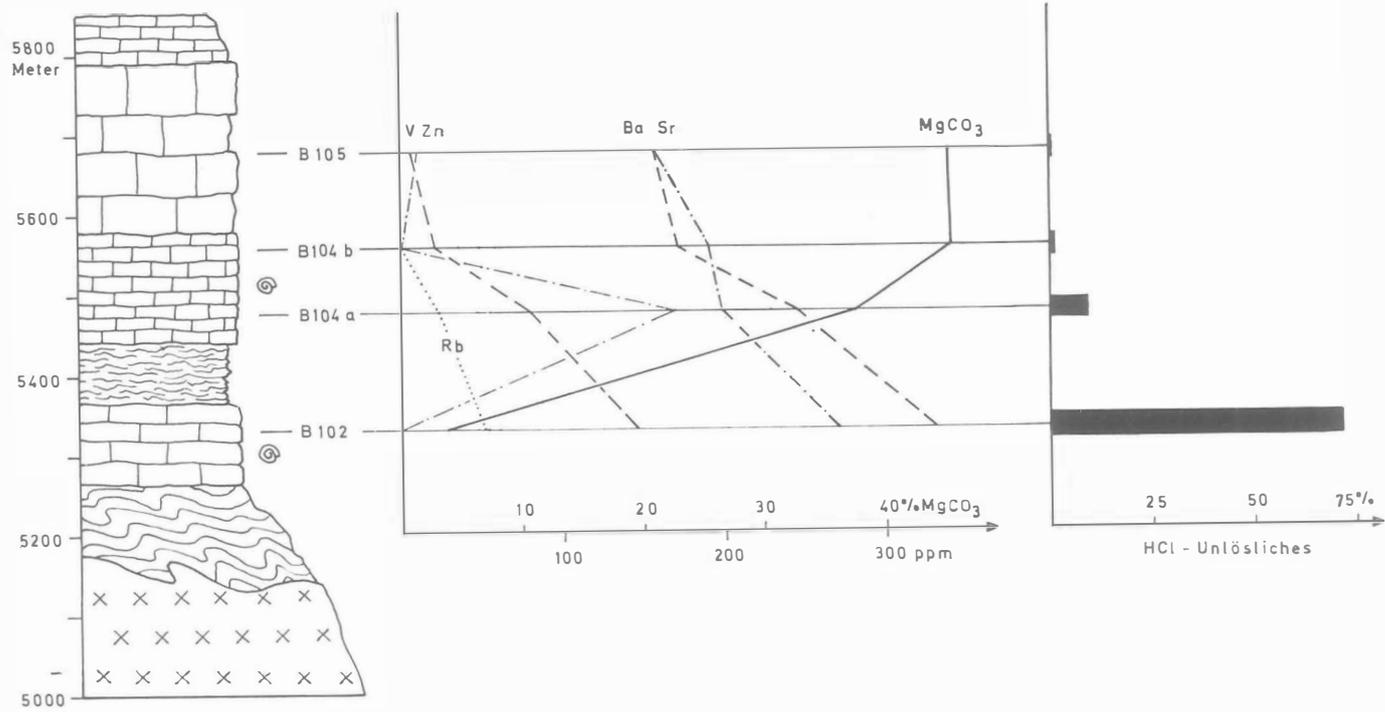


Abb. 4: Spurenelementgehalte in Abhängigkeit von der Lage im Profil Buni Zom

Probe D 10:  
weiß-hellgrauer Bänderkalk. Feiner Wechsel von mittelgrauen und hellgrauen Lagen. Calcit (100:0) 99,7 Gew.-%, graphitische Substanz.

Probe D 11:  
Crinoidenkalk, hellgrau, detritisch, zahlreiche einzelne und z. T. zusammenhängende Crinoidenstielglieder. Calcit (98:2) 96,7 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (3,3 Gew.-%): Quarz, wenig Plagioklas (ca. 10% An), Pyrit.

Probe D 12:  
bräunlich-gelber, faseriger Bänderkalk, Calcit (93:7) 88,6 Gew.-%, Dolomit (48:52) 8,8 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (2,6 Gew.-%): Muskovit, Quarz, etwas Plagioklas und Mikrolin, Chlorit, Goethit.

Probe Li 1:  
grauer Bänderkalk. Calcit (98:2) 96,9 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (3 Gew.-%): Chlorit, Illit, Quarz, Alkalifeldspat, ein Mineral der Amphibolgruppe.

Probe Li 5:  
grauer Bänderkalk. Calcit (98:2) 54,2 Gew.-%, Dolomit (49,5:50,5) 2,4 Gew.-%, HCl-unlöslicher Anteil (43,4 Gew.-%): Quarz, Mikroklin, Goethit, Haematit und Pyrit.

### 3. 3. DIE SPURENGEHALTE

Die Konzentrationen der Spurenelemente in den untersuchten Proben sind in Tab. 1 zusammengestellt.

	B 102	B 104a	B 104b	B 105	D 10	D 11	D 12	Li 1	Li 5
Ag	—	—	—	—	86 ± 3	—	—	—	—
Ba	383 ± 43	244 ± 22	166 ± 19	158 ± 17	< 80	166 ± 12	260 ± 19	164 ± 13	211 ± 22
Rb	54 ± 3	24 ± 2	—	—	—	—	16 ± 1	—	—
Sr	270 ± 14	197 ± 7	192 ± 6	158 ± 5	131 ± 3	487 ± 9	412 ± 8	1061 ± 18	370 ± 16
V	147 ± 7	82 ± 4	20 ± 4	15	—	—	61 ± 4	—	93 ± 4
Zn	—	167 ± 6	—	10 ± 1	20 ± 2	26 ± 1	18 ± 1	16 ± 1	20 ± 2

Tab. 1: Die Elementgehalte (ppm) der Proben vom Khorabort Zom, vom Das Bar-Tal (Darkot-group) und der Nordumrahmung des Karumbar-Gletschers. Die Konzentrationen von Ni, Pb und Bi liegen in allen Proben unter der Nachweisgrenze.

Die Barium-Konzentrationen liegen zwischen 80 und 383 ppm (Mittel [9 Werte]: 195 ppm), ein Wert, der mit dem Ergebnis bei PUCHELT (1972) übereinstimmt, wo sich in einer Häufigkeitsuntersuchung für Ba in Karbonaten ein deutliches Maximum bei ~ 200 ppm Ba abzeichnet.

In den hier untersuchten Proben schwanken die Strontium-Gehalte zwischen 131 und 1061 ppm, (Mittel [9 Werte]: 364 ppm). Untersuchungen fossiler Kalke haben meist mittlere Sr-Konzentrationen zwischen 100 und 800 ppm Sr erbracht, z. B. GRAF (1962), WOLF et al. (1967), KINSMAN (1969), DAVIES (1972), die das Ergebnis einer oder mehrerer Umkristallisationen der ursprünglichen Magnesio-calcite bzw. Aragonite (mit 0,1 bis 1,0% Sr) sind. Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Sr-Verteilungskoeffizienten in Calciten zeigten, daß dieser eine Funktion der Bildungsbedingungen ist, z. B. HOLLAND et al. (1963/1964), FLÜGEL und WEDEPOHL (1967); jüngste Untersuchungen von KATZ et al. (1972)

ergaben Sr-Verteilungskoeffizienten von 0,055 (40° C), womit sich die vorliegenden Sr-Gehalte als das Ergebnis eines einzigen Rekrystallisationsvorganges erklären ließen.

Eine allgemeine Abhängigkeit der Rubidium-Konzentration in Gesteinen vom jeweiligen Gehalt an K-führenden Mineralen ist seit AHRENS, PINSON & KEARNS (1952) mehrfach gefunden worden, z. B. REYNOLDS (1963), ERLANK (1968). Neben Feldspat sind es vor allem Minerale der Glimmergruppe, die bevorzugt Rb einbauen. Die mehr oder weniger gleichlautende Tendenz von Rubidium und der Menge bzw. Zusammensetzung des nichtkarbonatischen Anteiles bestätigen dies.

Die Bindung von Vanadium in Sedimentgesteinen kann einerseits an Tonminerale erfolgen, LE RICHE (1959), oder wie von KRAUSKOPF (1956) festgestellt wurde, an Eisenhydroxyde. Beide Möglichkeiten scheinen in den untersuchten Proben verwirklicht: Im Bereich des Khorabort Zom weist die parallele Tendenz von V und des nichtkarbonatischen Anteiles auf die erste, bei den Proben D 12 bzw. Li 5 könnte der deutlich nachweisbare Goethit als Träger des V in Frage kommen.

Die Zink-Gehalte der Kalkproben D 10—D 12, Li 1, Li 5 liegen im Mittel bei 20 ppm Zn, ein Wert, der in guter Übereinstimmung mit den Angaben bei WEDEPOHL (1972) steht. Im Profil des Khorabort Zom schwanken die Zn-Gehalte erheblich, wieweit der hohe Wert der Probe B 104a mit dem Gehalt an organischem Kohlenstoff in Verbindung gebracht werden kann, muß derzeit noch offenbleiben.

### Dank

Herrn Prof. Dr. K. METZ, Univ. Graz, dürfen wir für seine Unterstützung für die Geländearbeiten im Das Bar-Tal 1968 an dieser Stelle unseren herzlichsten Dank aussprechen. Dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich danken wir für die finanzielle Unterstützung sowohl der Geländeaufnahmen im Rahmen einer Expedition als auch der Röntgenfluoreszenzuntersuchung. Diese Messungen wurden am Forschungszentrum für Elektronenmikroskopie in Graz in dankenswerter Weise durchgeführt. Herrn Dipl.-Ing. Dr. P. GOLOB danken wir für die Erstellung des Eich- und Rechenprogrammes. Herrn Professor Dr. H. SEELMEIER, TH in Graz, danken wir für die Erlaubnis zur Benützung des Röntgendiffraktometers, welches aus Mitteln des Jubiläumsfonds der ÖNB angeschafft werden konnte. Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr. A. POLLAK danken wir für sein Interesse am Fortgang der Untersuchungen und seine tatkräftige Unterstützung.

### Literatur

- AHRENS, L. H., PINSON W. H. & KEARNS, M. M. 1952: Association of rubidium and potassium and their abundance in igneous rocks and meteorites. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 2, 229—242.
- ABU BAKR, M. & JACKSON, R. O. 1964: Geological Map of Pakistan, 1 : 2,000,000. — *Geolog. Survey of Pakistan, Rawalpindi* 1964.
- DAVIES, B. J., 1972: Trace element distribution in reef and subreef rocks of Jurassic age in Britain and Switzerland. — *J. Sed. Petrol.* 42, 183—194.
- DESIO, A., 1966: The Devonian Sequence in Mastuj Valley (Chitral, N. W. Pakistan). — *Riv Ital. Paleont.* 72, 2, 293—320, Milano.

- ERLANK, A. J., 1968: The terrestrial abundance relationship between potassium and rubidium. — In: L. H. AHRENS, Edit.: Origin and distribution of elements. Oxford-London (Pergamon Press), 871—888.
- FLÜGEL, H. & WEDEPOHL, K. H. 1967: Die Verteilung des Strontiums in oberjurassischen Karbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen. — *Contr. Mineral. and Petrol.* 14, 229—249.
- GAMERITH, H., 1972: Zur Geologie des östlichen Hindukusch. — In: K. GRATZL, Edit.: Hindukusch. Eigenverlag. — Akad. Druck- und Verlagsanstalt, 99—110, Graz, 1972.
- GAMERITH, H. & KOLMER, H. 1973: Untersuchungen an Intrusivgesteinen des östlichen Hindukusch. — *Geol. Rdsch.* 62, 161—171.
- GOLDSMITH, J. R. & GRAF, D. L. 1958: Structural and compositional variations in some natural dolomites. — *J. Geol.* 66, 678—693.
- GOLDSMITH, J. R. & GRAF, D. L. 1960: Subsolidus relations in the system  $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3 - \text{MnCO}_3$ . — *J. Geol.* 68, 324—335.
- GOLDSMITH, J. R., GRAF D. L. & JOENSUU, O. 1955: The occurrence of magnesian calcites in nature. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 7, 212—230.
- GRAF, D. L., 1962: Minor element distribution in sedimentary carbonate rocks. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 26, 849—856.
- HAYDEN, H. H., 1916: Notes on the geology of Chitral, Gilgit and the Pamirs. — *Rec. Geol. Surv. India* 45, 271—335.
- HOLLAND, H. D., BORCSIK M., MUNOZ J. & OXBURGH, V. M. 1963: The coprecipitation of  $\text{Sr}^{+2}$  with aragonite and of  $\text{Ca}^{+2}$  with strontianite between 90 and 100° C. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27, 957—977.
- HOLLAND, H. D., HOLLAND H. J. and MUNOZ, J. L. 1964: The coprecipitation of cations with  $\text{CaCO}_3$ -II: The coprecipitation of  $\text{Sr}^{+2}$  with calcite between 90 and 100° C. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 28, 1287—1302.
- IVANAC, J. F., TRAVES D. M. and KING, D. 1956: The geology of the North-West portion of the Gilgit Agency. — *Rec. Geol. Surv. Pakistan* 8, 1—27.
- KATZ, A., SASS, E. STARINSKY A. & HOLLAND, H. D. 1972: Strontium behaviour in the aragonite-calcite transformation: an experimental study at 40—98° C. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 36, 481—496.
- KINSMAN, D. J. J., 1969: Interpretation of  $\text{Sr}^{+2}$  concentrations in carbonate minerals and rocks. — *J. Sed. Petrol.* 39, 486—508.
- KRAUSKOPF, K. B., 1956: Factors controlling the concentration of thirteen rare metals in sea water. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 9, 1—32.
- LE RICHE, H. H., 1959: The distribution of certain trace elements in the Lower Lias of southern England. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 16, 101—122.
- MC MAHON, C. A. & HUDLESTON, W. H. 1902: Fossils from the Hindu Koosh. — *Geol. Mag.*, new. ser., Dec. IV, 9, 3—8, 49—58.
- PRINZ, W. C., 1964: Diagramm for determining mineral composition in the system  $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ . — *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 501—C, C 84—C 85.
- PUCHELT, H., 1972: Chapt., 56, B-O: Barium. — In: K. H. WEDEPOHL, Edit.: *Handbook of Geochemistry*. Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- REYNOLDS jr., R. C., 1963: Potassium-rubidium ratios and polymorphism in illites and microclines from the clay size fractions of proterozoic carbonate rocks. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27, 1097—1112.
- SCHNEIDER, H. J., 1957: Tektonik und Magmatismus im NW-Karakorum. — *Geol. Rdsch.* 46, 426—476.
- SCHOUPPE, A., 1964: Die Mittel- bis Oberdevonische Korallenfauna von Kuragh (Chitral). — *Ital. Exp. Karakorum (K 2) and Hindukush*; A. Desio, Leader, *Scient. Reports*, 1, 13—53, Brill, Leiden.
- THEIS, M., 1955: Die komplexometrische Bestimmung des Magnesiums, Calciums und Bariums mit Chromazurol S als Indikator sowie die Anwendung auf die Analyse des Magnesits und die Bestimmung der Wasserhärte. — *Radex-Rundsch.*, Jg. 1954/55, 333—336.

- VOGELTANZ, R., 1969: *Receptaculites neptuni* (DEFRANCE) from Devonian of Owir, Chitral, West Pakistan. — Rec. Geol. Surv. Pakistan, 19.
- WEDEPOHL, K. H., 1972: Chapt. 30: Zinc. In: K. H. WEDEPOHL Edit.: Handbook of Geochemistry. — Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- WOLF, K. H., CHILINGAR G. V. & BEALES, F. W. 1967: Elemental composition of carbonate skeletons, minerals and sediments. — In: G. V. CHILINGAR, H. J. BISSEL and R. W. FAIRBRIDGE, Edits.: Developments in sedimentology, 9 B: Carbonate rocks, Chapt. 2, 23—149. Amsterdam-London-New York (Elsevier).

Anschriften der Verfasser:

Dr. Herfried GAMERITH, Austromineral, Prinz-Eugen-Straße 8, Wien, Österreich.  
Dr. Hans KOLMER, Institut für Technische Petrographie und Mineralogie, Vorstand Prof. Dr. H. HÖLLER, Technische Hochschule in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz/Österreich.

## Eine permische Korallenfauna aus dem Iran

Walter GRÄF, Graz

Mit 1 Abb. und 1 Tab.

Aus dem von K. METZ 1959 und 1960 im Iran aufgesammelten Fossilmaterial konnte der Verfasser die permischen Korallen bearbeiten (W. GRÄF 1964). Die Bestimmung einiger weiterer 1960 aufgesammelter Korallen sowie die Durcharbeitung der Materialien von 1963 ergab den Nachweis folgender Arten:

### Rugosa MILNE EDWARDS & HAIME 1850

- Akagophyllum akagoense* (OZAWA 1925)  
*Ipciphyllum irregularis* (FONTAINE 1961)  
*Ipciphyllum laosense* (PATTE 1926)  
*Iranophyllum* sp.  
*Lonsdaleiastraea vinassai* GERTH 1921  
*Lophophyllidium pendulum simplex* HUANG (in YOH & HUANG) 1932  
*Polythecalis grayi* DOUGLAS 1936  
*Polythecalis multicystosis* HUANG (in YOH & HUANG) 1932  
*Tachylasma alternatum* HUANG 1932  
*Tachylasma elongatum* GRABAU 1922?  
*Tachylasma magnum magnum* GRABAU 1928?  
*Tachylasma magnum hexaseptatum* HUANG 1932?  
*Waagenophyllum (Waagenophyllum) indicum* (WAAGEN & WENTZEL 1886)  
*Waagenophyllum (Waagenophyllum) virgatense* (WAAGEN & WENTZEL 1886)  
*Waagenophyllum (Liangshanophyllum) chibisiaensis* (YOH [in YOH & HUANG] 1932)  
*Waagenophyllum (Liangshanophyllum) sinense* WU 1957  
*Wentzelella (Wentzelella) regularis* FONTAINE 1961  
*Wentzelella (Wentzelella) kueichowense beta* (DOUGLAS 1950)  
*Yatsengia aberrans* FONTAINE 1961

### Tabulata MILNE EDWARDS & HAIME 1850

- Cystomicbelinia laibinensis* LIN 1963?  
*Cystomicbelinia marginocystosa* (HUANG [in YOH & HUANG] 1932)  
*Cystomicbelinia multicystosa* (YOH [in YOH & HUANG] 1932)  
*Cystomicbelinia sichuanensis* LIN 1962?  
*Protomicbelinia guizhouensis* LIN 1962?

### Anhang

Bryozoa EHRENBERG 1831

*Cyclostomata* BUSK 1852

*Fistulipora waageniana* GIRTY 1908

## Fundpunkte

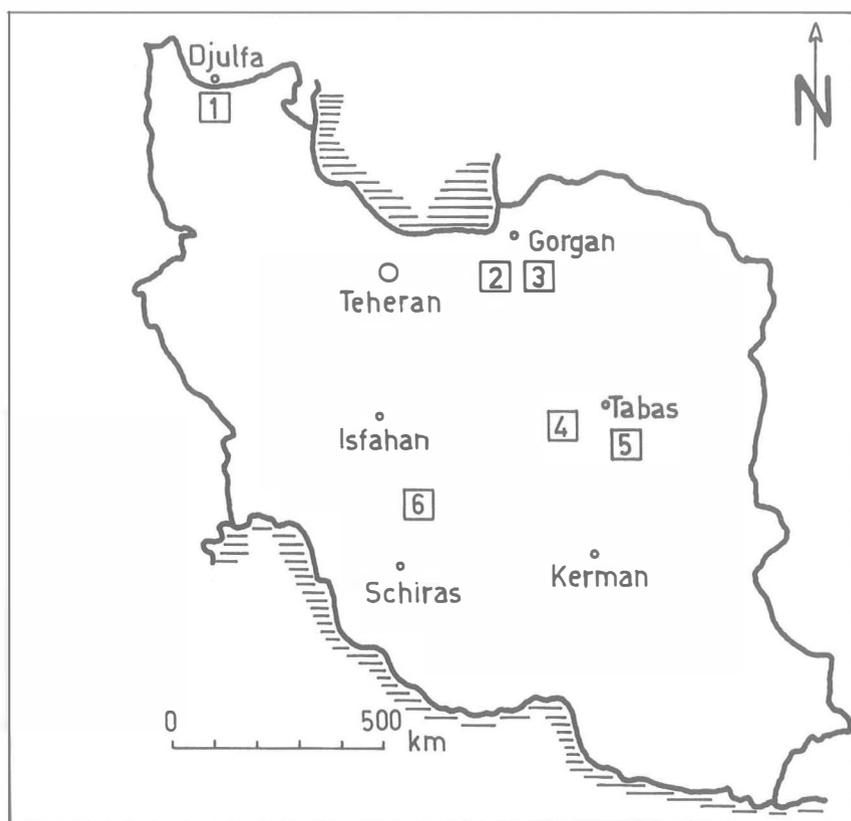


Abb. 1: Lage-Übersicht der behandelten Korallen-Fundpunkte des Iran (siehe auch K. METZ 1961, W. GRÄF 1964).

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1 Azerbeidjan, Dizdere (Diz) | 4 Tabas, Kalmorz/Djafaruh (Kal) |
| 2 Elburz, Firuzkuh (F)       | 5 Tabas, Shotor/Tshiruk         |
| 3 Elburz, Zaringol (Gz)      | 6 Zagros-Gebirge, Abadeh (Ab)   |

Die angeführten Korallenfaunen stammen aus 5 Fundräumen und verteilen sich auf 15 verschiedene Fundpunkte.

### I. Zagros-Gebirge

Bergland von Abadeh (Ab 3/1960, 131/1960, 18/1960, 23/1960)

### II. Elburz

1. Firuzkuh (F 4/1963, 5/1963, 6/1963, 7/1963, 8/1963; Schlucht N F 1—5/1960)
2. Zaringol, SE Gorgan (Gz 3/1960)

- III. Tabas  
 Kalmorz/Djafaruh (2/1963)  
 Kalmorz (5/1963)  
 Shotor/Tshiruk 1963  
 Shotor 6/1963

### Faunenverteilung und Alter der Fundschichten

	Fusulinenzonen	China	UdSSR	Korallen-Aufsammlungen Iran, K. Metz 1959, 1960, 1963
Ober-Perm	Palaeofusulina	Lopingian Changhsing Wuchiaping	Tartarian	Ab 2a Ab 3 <sup>1</sup> Ab 10 <sup>2</sup>
	Codonofusiella			
	Yabeina	Maokou- limestone		
Neoschwagerina	Chihsia- limestone		Kungurian  Artinskian	Ab 13/ Ab 20a Ab 23 (?) Diz 7 F 5/63 F 6/63 F 8/63 Kal 5 Shotor 6
Parafusulina				

Tab. 1: Einstufung der Fundpunkte

1: neubeschriebene Fundpunkte,  
 2: in W. GRÄF 1964 beschriebene Fundpunkte

#### I. ZAGROS-GEBIRGE

Bergland von Abadeh:

Ab 3: Die von diesem Fundpunkt stammende Art *Tachylasma elongatum* wurde von GRABAU 1922:37 aus dem Mittelperm von Kiangsi, China, beschrieben. Das vom selben Fundpunkt stammende *Pleramplexus similis* SCHINDEWOLF 1940 (siehe W. GRÄF 1964: 410) hat seine Typlokalität im Basleo (Mittel- bis Oberperm [?]) von Timor. Bezüglich der vermuteten Einstufung des Fundpunktes siehe S. 79.

Ab 13 l: Bei den neubestimmten Arten *Tachylasma alternatum* HUANG, *Tachylasma magnum magnum* GRABAU und *Tachylasma magnum hexaseptatum* HUANG handelt es sich ebenso wie bei den von diesem Fundpunkt in W. GRÄF 1964: 390, 393 beschriebenen Formen *Styliodophyllum gnomeiense* HUANG<sup>1</sup> und *Yatsengia bangchowensis* HUANG großteils um Faunenbestandteile des Chihsia-Kalkes S-Chinas, die für eine Einstufung der Fundschichten in das untere Mittelperm (Artinskian/Kungurian) sprechen.

Ab 18: *Ipciphyllum laosense* (PATTE)<sup>2</sup> hat eine stratigraphische Reichweite von der *Parafusulina*-Zone bis in die *Yabeina*-Zone (Mittelperm — unteres Oberperm).

<sup>1</sup> M. MINATO & M. KATO 1965: 155 weisen diese Art der Gattung *Ipciphyllum* HUDSON zu.

<sup>2</sup> Bezüglich der Synonymie siehe M. MINATO & M. KATO 1965: 149.

Ab 23: Das in diesem Fundpunkt auftretende *Lophophyllidium pendulum simplex* HUANG ist eine Form des Chihhsia-Kalkes; sie wurde auch aus dem Trogkofelkalk der Karnischen Alpen und der Karawanken bekannt (K. O. FELSER 1937: 8, F. HERITSCH 1938: 91, 1939b: 540) und würde damit für eine Einstufung der Fundschichten in das untere Mittelperm (Artinskian/Kungurian) sprechen. Die Art selbst, zu der H. FONTAINE 1961: 79 auch vorliegende Unterart zählt, tritt im Lopingian von China und im Kazanian von Kambodscha (H. FONTAINE 1961: 80) auf (oberes Mittelperm — Oberperm). [Siehe auch H. FLÜGEL 1970: 153.]

## II. ELBURZ-GEBIRGE

### Firuzkuh:

F 4/1963: *Waagenophyllum (Waagenophyllum) indicum* (W. & W.)<sup>3</sup> und *Waagenophyllum (Waagenophyllum) virgalense* (W. & W.) haben ihre Typlokalität im Mittleren Productuskalk (höheres Unterperm bis oberes Mittelperm) der Salt Range, Westpakistan. Auf Grund der bisherigen Beobachtungen ist mit einer stratigraphischen Reichweite dieser weitverbreiteten Arten von der *Neoschwagerina*-Zone bis in die *Yabeina*-Zone (Oberes Mittelperm—unteres Oberperm) zu rechnen (W. GRÄF 1964: 402, M. MINATO & M. KATO 1965: 108, 109, M. OEKENTORP & M. KAEVER 1970: 282, 294/295). Die weiteren, von diesem Fundpunkt stammenden Arten, *Polythecalis multicystosis* HUANG [Chihhsia-Kalk] und *Ipciiphyllum irregularis* (FONTAINE) [*Neoschwagerina*-Zone nach M. MINATO & M. KATO 1965: 151], stehen dieser Einstufung nicht grundsätzlich entgegen.

F 5/1963: Die in diesem Fundpunkt auftretende Art *Lonsdaleiastraea vinassai* wurde von H. GERTH 1921: 77 von Poetaim, Amanatoen, Timor, erstmals beschrieben. Nach D. HILL in R. C. MOORE 1956: F 310, könnte es sich bei den Fundschichten um Artinskian (unteres Mittelperm) handeln.

Schlucht N F 1—5/1960: *Ipciiphyllum laosense* (PATTE): Mittelperm—unteres Oberperm (siehe Ab 18).

F 6 + F 8/1963: Folgende Arten konnten bestimmt werden:

*Cystomichelinia marginocystosa* (HUANG) (F 8)

*Cystomichelinia multicystosa* (YOH) (F 6)

*Cystomichelinia sichuanensis* LIN? (F 6)

*Wentzeloiphyllum kweichowense beta* (DOUGLAS) (F 6)

Die Fauna enthält vorwiegend Elemente des Chihhsia-Kalkes und ist in das untere Mittelperm (Artinskian/Kungurian) einzustufen.

F 7/1963: Das von diesem Fundpunkt vorliegende *Waagenophyllum (Liangshanophyllum) sinense* WU könnte für ein Äquivalent der *Yabeina*-Zone (unteres Oberperm) sprechen (M. MINATO & M. KATO 1965: 128).<sup>4</sup>

Dieselbe Art konnte auch vom Fundpunkt Zaringol, SE Gorgan, Gz 3, bestimmt werden.

<sup>3</sup> Das vorliegende Material kann dieser Art nicht mit Sicherheit zugeordnet werden.

<sup>4</sup> Nach WU 1957: 337 liegt der Locus typicus im mittleren Teil des Wuchiaping Limestone (= mittl. Oberperm — *Codonofusiella* Zone) von Süd-Shensi.

### III. Tabas

Kalmorz / Djafaruh:

Kal 2: *Wentzelella* (*Wentzelella*) *regularis* FONTAINE wird von M. MINATO & M. KATO 1965: 188 aus der *Yabeina-Lepidolina*-Zone (unteres Oberperm) und von H. FONTAINE 1961: 178 aus dem Kazanian (oberes Mittelperm—unteres Oberperm) angegeben.

Kal 5: Die Bestimmung der beiden hier auftretenden Michelinien als *Cystomichelinia laibinensis* LIN und *Proto-nichelinia guizhouensis* LIN ist auf Grund des vorhandenen Materials nicht völlig gesichert. Die auf dem letztgenannten Stock aufgewachsenen Bryozoen, *Fistulipora waageniana* GIRTY, wurden von YOH & HUANG 1932: 48 aus dem Chihisia-Kalk beschrieben, mit dem die Fundschichten parallelisiert werden.

Shotor / Tshiruk:

Die Fauna dieses Fundpunktes setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

*Akagophyllum akagoense* (OZAWA) (1)

*Iranophyllum* sp.

*Waagenophyllum* (*Waagenophyllum*) *indicum* (W. & W.) (3)

*Waagenophyllum* (*Liangshanophyllum*) *chihisiaensis* (YOH)

*Yatsengia aberrans* FONTAINE

Die einzelnen Arten treten von der *Pseudofusulina*-Zone (1: M. MINATO & M. KATO 1965: 78) bis in die *Yabeina*-Zone (3) auf. Bezüglich der Verbreitung der Gattung *Iranophyllum* unterrichtet H. FLÜGEL 1965: 15.

Es ist am ehesten an eine Einstufung der Fundschichten in das höhere Mittelperm zu denken.

Shotor 6: *Waagenophyllum* (*Liangshanophyllum*) *chihisiaensis* (YOH) und *Polythecalis grayi* DOUGLAS sprechen für Äquivalente der Chihisia-Fauna (M. MINATO & M. KATO 1965: 227) und damit für eine Einstufung in das untere Mittelperm (Artinskian/Kungurian).

### Faunenbeziehungen

Das für das Mittelperm des vorderasiatischen Raumes in zahlreichen Arbeiten (J. A. DOUGLAS 1936, 1950; H. FLÜGEL 1955, 1964; H. FLÜGEL & W. GRÄF 1963; W. GRÄF 1964; H. HERITSCH 1939; R. G. S. HUDSON 1958) betonte Vorkommen ostasiatischer Faunenelemente des Chihisia-Kalkes und Maokou-Kalkes hat sich durch das Auftreten von 13 gemeinsamen Arten erneut bestätigt.

Die jüngere, über den gesamten Tethysraum verbreitete *Waagenophyllum*-Fauna (H. FLÜGEL 1970; H. FLÜGEL & W. GRÄF 1963; W. GRÄF 1964) des hohen Mittelperm (?)—tieferen Oberperm (?) ließ sich mit 3 Vertretern nachweisen. Noch höher wären die von W. GRÄF 1964 aus dem Bergland von Abadeh beschriebenen *Plerophyllum* (*Plerophyllum*) - und *Pleramplexus*-Arten einzustufen (siehe Fp. Ab 3).

H. W. FLÜGEL 1968: 275, 1970: 149 vermutet hierfür im Vergleich mit ähnlichen Faunen aus der Nesen-Formation des Elburz bzw. mit den Korallen-Vergesellschaftungen im Perm von Djulfa eine Zuordnung in die *Codonofusiella*-Zone bzw. die darüberfolgenden Horizonte des Djulfian (mittleres bis oberes Oberperm).

## Literatur

- DOUGLAS, J. A.: A Permo-Carboniferous fauna from South-West Persia (Iran). — *Paleontologia indica*, n. S., 22, Mem. 6: 1—59, Taf. 1—5, Calcutta 1936.
- , The Carboniferous and Permian faunas of South Iran and Iranian Beluchistan. — *Paleontologia indica*, n. S., 22, Mem. 7: 1—56, Taf. 1—5, Calcutta 1950.
- FELSER, K. O.: Rugose Korallen aus dem Oberkarbon-Perm der Karnischen Alpen zwischen Schulkofel und Treßdorfer Höhe. — *Mitt. naturwiss. Ver. Stmk.*, 74; 5—20, Taf. 1, Graz 1937.
- FLÜGEL, H.: Zur Paläontologie des anatolischen Paläozoikums IV: Permische Korallen aus dem südanatolischen Taurus. — *N. Jb. Geol. Paläontol., Abh.*, 101 (3): 293—318, Taf. 33—35, Stuttgart 1955.
- , The geology of the upper Djadjerud and Lar valleys (N-Iran). II. Paleontology. Permian, corals from Ruteh Limestone. — *Riv. ital. Paleontol.*, 70, 403—444, Taf. 28—34, Milano 1964.
- , Rugosa aus dem Perm Afghanistans. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, (1): 6—17, 6 Abb., Stuttgart 1965.
- , Korallen aus der oberen Nesen-Formation (Dzhulfa-Stufe, Perm) des zentralen Elburz (Iran). — *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.*, 130 (3): 275—304, Taf. 25, 10 Abb., Stuttgart 1968.
- , Die Entwicklung der rugosen Korallen im hohen Perm. — *Verh. geol. Bundesanst.*, 146—161, Wien 1970.
- FLÜGEL, H. & GRÄF, W.: Die paläogeographischen Beziehungen einiger neuer Korallenfaunen aus dem Jungpaläozoikum Vorderasiens. — *Anz. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl.*, Nr. 1: 1—3, Wien 1963.
- FONTAINE, H.: Les madreporaires Paleozoiques du Viet-Nam, du Laos et du Cambodge. — *Arch. géol. Viet-Nam*, 5: 1—276, Taf. 1—35, Saigon 1961.
- GERTH, H.: Die Anthozoen des Dyas von Timor. — *Paläontol. Timor*, 9: 65—147, Taf. 145—150, Stuttgart 1921.
- GIRTY, G. H.: Description of new species of Upper Paleozoic fossils from China. — *Proc. U. S. Nat. Mus.*, 33: 37—48, Washington 1908.
- GRABAU, A. W.: Palaeozoic corals of China. Part I. Tetraseptata. Introduction and Petriiidae, Streptelasmaidae and Cythaxonidae. — *Palaeontologia sinica*, (B), 2 (1), 76 S., 74 Abb., 1 Taf., Peking 1922.
- , Palaeozoic corals of China. Part I. Tetraseptata. Second contribution to our knowledge of the Streptelasmoid corals of China and adjacent territories. — *Palaeontologia sinica*, (B), 2 (2), 175 S., 6 Taf., 22 Abb., Peking 1928.
- GRÄF, W.: Permische Korallen aus dem Zagros-Gebirge, dem Elburz und aus Azerbeidjan, Iran. — *Senckenbergiana lethaea*, 45 (5): 381—432, Taf. 34—41, Abb. 1—5, Tab. 1—2, Frankfurt am Main 1964.
- HERITSCH, F.: Die stratigraphische Stellung des Trogkofelkalkes. — *N. Jb. Miner., Geol., Paläont.*, (B), 79: 63—186, Taf. 3—8, 2 Abb., 4 Tab., Stuttgart 1938.
- , Ein Vorkommen von marinem Perm im nördlichen Ala Dagh (Kilikischer Taurus, Türkei). II. Korallen, stratigraphische und paläogeographische Bemerkungen. — *Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, Abt. I, math.-naturwiss. Kl.*, 148: 171—194, Taf. 1—2, Wien 1939 (1939 a).
- , Karbon und Perm in den Südalpen und in Südosteuropa. — *Geol. Rdsch.*, 30 (5): 530—588, Stuttgart 1939 (1939 b).
- HILL, D.: Rugosa and Heterocorallia. — in R. C. MOORE: *Treatise on invertebrate Paleontology, F (Coelenterata)*: 233—327, Abb. 165—221, Lawrence and New York 1956.
- HUANG, T. K.: Permian corals of southern China. — *Palaeontologia sinica*, (B) 8: 1—163, Taf. 1—16, Peiping 1932.
- HUDSON, R. G. S.: Permian corals from northern Iraq. — *Palaeontology*, 1 (3): 174—192, Taf. 32—35, 4 Abb., London 1958.
- LI, Bao-Juj: Tabulata aus dem Unterperm Südchinas. — *Acta palaeontol. sinica*, 10: 206—227, Taf. 1—9, Peking 1962 (Chin. mit russ. Zusammenfassung).
- , Einige karbonische und permische Tabulata Süd-Chinas. — *Acta palaeontol. sinica*, 11: 579—607, 6 Taf., Peking 1963 (Chin. mit russ. Zusammenfassung).

- METZ, K.: Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung des persischen Paläozoikums. — Bull. geol. Inst. Univ. Uppsala, 40: 403—412, Uppsala 1961.
- MINATO, M. & KATO, M.: Waagenophyllidae. — J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., (4) 12 (3—4): 1—241, Taf. 1—20, 56 Abb., Sapporo 1965.
- OEKENTORP, K. & KAEVER, M.: Permische Korallen aus SE-Afghanistan. — Senckenbergiana lethaea, 51 (4): 277—309, 5 Taf., 6 Abb., Frankfurt am Main 1970.
- OZAWA, Y.: Paleontological and stratigraphical studies in the Permocarboniferous limestone of Nagato. Part II. Paleontology. — J. Fac. Sci. Tokyo imperial Univ., 45: 1—90, Tokyo 1925.
- PATTE, E.: Etudes paléontologiques relative à la Géologie de l'est du Tonkin. — Bull. Serv. géol. Indochine, 15 (1), Hanoi 1926.
- SCHINDEWOLF, O. H.: „Konvergenzen“ bei Korallen und bei Ammonoiten. — Fortschr. Geol. Paläontol., 12 (41): 389—492, 1 Taf., 33 Abb., Berlin 1940.
- WAAGEN, W. & WENTZEL, W.: Salt Range fossils. 6. Coelenterata. — Paleontologica indica, (13) 1: 895—904, Taf. 97, 99—101, Calcutta 1886.
- WU, Wang-Shih: Upper Permian corals from Liangshan, S-Shensi. — Acta paleontol. sinica, 5: 334—342, Taf. 1—2, Peking 1957.
- YOH, S. S. & HUANG, T. K.: The coral fauna of the Chihsia Limestone of the lower Yangtze Valley. — Palaeontologia sinica (B) 8: 1—52, Taf. 1—10, Peiping 1932.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz. Dr. Walter GRÄF, Abt. f. Geol., Paläont. & Bergbau, Landesmuseum Joanneum, A-8010 Graz, Raubergasse 10, Österreich.



## Neue Methoden zur Erfassung von Thermolumineszenz- und Fluoreszenzerscheinungen

Johann Georg HADITSCH, Graz

Mit 3 Abbildungen

*In den Wissenschaften ist es höchst verdienstlich,  
das unzulängliche Wahre, was die Alten schon besaßen,  
aufzusuchen und weiter zu führen.*

(J. W. v. Goethe 1821)

Der Lagerstättenforschung kam innerhalb der Geowissenschaften schon immer eine große Bedeutung zu, sie wurde aber in den letzten Jahren durch die rasche Abnahme der uns unmittelbar an der Erdoberfläche zugänglichen Lagerstätten und die Rohstoffverknappung besonders stark in das Bewußtsein aller gerückt. Die Notwendigkeit, verborgene oder ärmere Lagerstättenkörper zu erkunden, hat in außergewöhnlichem Maße auch die Entwicklung neuer, genauerer Untersuchungsmethoden angeregt. Über zwei derartige Verfahren, die der quantitativen Erfassung von Lumineszenzerscheinungen dienen, soll nun berichtet werden.

Von allen Lumineszenzarten hat bis heute wegen der allgemein nur unzulänglichen oder umständlichen und aufwendigen Meßmethoden lediglich die Photolumineszenz für die geowissenschaftliche Forschung eine gewisse Bedeutung erlangt. Durch die uns heute zur Verfügung stehenden leistungsfähigen Photometer ist es nun aber möglich geworden, auch für sehr schwache Lumineszenzen geeignete Meßmethoden zu entwickeln, so daß nun neben der Photo- auch die Thermolumineszenz rasch, genau und relativ billig zur Klärung geologischer und anderer Fragen herangezogen werden kann.

Werden bestimmte Minerale (z. B. Flußspat, Feldspat, Kalkspat, Wollastonit, Zirkon, Baryt) erhitzt, so können sie bei bestimmten Temperaturen in verschiedenen Farben und mit unterschiedlicher Intensität aufleuchten, thermolumineszieren. Die häufigsten Lumineszenzfarben sind gelbe, rote, grüne und blaue, mit einem oft beträchtlichen Weißgehalt. Es hat sich schon sehr bald herausgestellt, daß die Farbe weder für eine bestimmte Mineralart noch selbst für ein bestimmtes Mineral eines Vorkommens charakteristisch ist. Es zeigte sich nämlich einerseits, daß Minerale derselben Art unterschiedlich stark und mit verschiedener Farbe lumineszieren können, andererseits erwies es sich aber auch, daß gleiche Minerale der gleichen Mineralisationsphase in gleicher Weise leuchten, und darin liegt die Bedeutung dieser Methode beispielsweise für die Lagerstätten erkundung.

Hatte man früher die Leuchterscheinungen nur beobachtet, also mehr qualitativ untersucht, so versuchte man etwa seit dem Ende der zwanziger Jahre die Erscheinungen auch quantitativ zu erfassen. In diesem Zusammenhang seien hier nur der von E. H. KRANCK (1933) entwickelte Apparat und die von G. O. BRUNNER (1964) vorgeschlagene Versuchseinrichtung erwähnt.

KRANCK verwendete einen Messingblock, der elektrisch beheizt wurde und eine Bohrung aufwies, in die das Probenpulver geschüttet wurde. Die Temperatur wurde mittels eines Thermometers kontrolliert, die Leuchterscheinung über einen Spiegel, der am oberen Ende der Bohrung angebracht war, beobachtet. Der Spiegel wies eine Bohrung auf, die es gestattete, eine dahinter befindliche Vergleichslichtquelle, d. h. eine einfache kleine Glühbirne, zu beobachten und die Intensität der Lumineszenz mit der dieses Standards zu vergleichen.

Seit KRANCK gab es eine Reihe von Verbesserungen und Neuentwicklungen, darunter auch die schon oben erwähnte Einrichtung von BRUNNER, die auf dem Prinzip des Doppelstrahlspektrometers beruht, und deren Weiterentwicklungen (K. BÄCHTIGER 1967).

G. ZESCHKE (1964) schlug, weil bei den bis dahin entwickelten Geräten ein Mißverhältnis zwischen technischem Aufwand und erzielbaren Ergebnissen bestand, eine weniger aufwendige Methode vor. Bis heute hat sich diese aber, obwohl mit ihrer Hilfe eine Untersuchung sehr einfach und kostensparend durchzuführen ist, in der Lagerstättenforschung deshalb keinen Platz sichern können, weil es diese Methode leider nur gestattet, die Intensität nach fünf Klassen (sehr stark, stark, mittel, schwach, null) grobquantitativ abzuschätzen und besonders auch deshalb, weil diese Methode für besonders schwach lumineszierende Minerale oder Mineralgemenge oder selbst für stark leuchtende Minerale in einer sterilen Umgebung (z. B. spurenhafter Flußspat in einem nicht lumineszierenden Kalk) unbrauchbar ist. Sie ist auch dort nicht zu verwenden, wo es auf eine genaue Korrelation Intensität/Temperatur oder überhaupt Lumineszenz/Temperatur ankommt. Derartige Fragestellungen können sich aber bei der Untersuchung von Bohrschmantproben aus der näheren oder weiteren Umgebung einer Lagerstätte oder von deren Ausgehendem ergeben. Es galt demnach eine Methode zu finden, die nicht umständlich, teuer und zeitraubend ist, die aber dennoch genauere Ergebnisse als die Prospektionsmethode ZESCHKES liefert.

Die Möglichkeit, geringe Probenmengen bei genau bestimmbareren Temperaturen zu untersuchen, ist uns heute durch den Mikroskopheiztisch, und die, auch nur geringe Lichtintensitäten zu messen, durch die modernen Photometer geboten. Die Apparatur, der man sich bei derartigen Untersuchungen bedient, besteht aus drei Teilen, nämlich dem Mikroskop, dem Heiztisch und dem Mikroskop-Photometer, also etwa — wie bei unseren Arbeiten verwendet — aus einem Leitz-Ortholux-Pol, einem Heiztisch 1350 und einem Mikroskop-Photometer MPV. Während meiner Untersuchungen wurde kein Schutzgas verwendet, also bei normaler Atmosphäre gearbeitet. Als Probenhalter diente eine planparallele Kupferscheibe mit einem Durchmesser von 6,5 mm. Sie hatte zentral eine etwa 0,7 mm tiefe Bohrung mit einem Durchmesser von 2 mm. Dementsprechend konnte der Probenhalter etwa 2 mm<sup>3</sup> Material fassen und betrug die für die Messungen zur Verfügung stehende Fläche beiläufig 3 mm<sup>2</sup>. Da ohne Schutzgas gearbeitet wurde, war es, um eine gute Temperaturübertragung vom Heiztisch

zur Probe zu gewährleisten, notwendig, den Probenhalter nach jedem Versuch kurz zu polieren. Die Probe wurde allgemein nur lose in den Halter eingefüllt und hernach unter sanftem Druck glattgestrichen. Die Meßfläche wurde bei eingeschaltetem Analysator scharfgestellt. Da sich bald herausstellte, daß durch Dekrepitation Material aus dem Halter geschleudert wurde und sich so beträchtliche Fehler ergaben, wurden die Proben durch ein 0,4 mm dickes farbloses Korundplättchen mit einem Durchmesser von 7 mm abgedeckt.

Es ist eine Erfahrungstatsache, daß ein Mineral umso besser aufleuchtet, je rascher es aufgeheizt wird. Deshalb wählte man bisher Aufheizgeschwindigkeiten bis zu 60° C/sec. Die Aufheizzeit war daher normalerweise schon nach 10 Sekunden zu Ende. Derartig große Geschwindigkeiten konnten wegen der relativ trägen Temperaturübertragung vom Heiztisch über den Probenhalter bis zur Probe nicht angewandt werden. Durch mehrere Versuche wurde bewiesen, daß die höchstzulässige Heizgeschwindigkeit für Flußspatproben der vorhin angegebenen Menge bei etwa 80° C/min. liegt.

Lumineszenzmessungen können bei vollkommen geöffneter Photometerblende bis 620° C durchgeführt werden. Wird über diese Temperatur hinausgegangen, so muß wegen des Glühens des Heiztisches mit kleineren Blendenöffnungen gearbeitet werden. Da aber ohnedies die Mehrzahl der in Frage kommenden Minerale unter 620° C luminesziert (der Flußspat tut dies üblicherweise zwischen 150 und 550° C), kann meist die volle Blendenöffnung genutzt werden.

Die Eichung des Anzeigegerätes erfolgte mit Kaliumbichromat pro analysi (mit einem Schmelzpunkt von 394° C) und reinstem Silber (mit einem Schmelzpunkt von 961° C). Mit Kaliumbichromat wurde auch die höchstzulässige Aufheizgeschwindigkeit bestimmt, indem ein Körnchen auf die Probenoberfläche aufgebracht und die Heizgeschwindigkeit so lange variiert wurde, bis die Schmelztemperatur korrekt angezeigt wurde.

Es wurde sowohl mit ungefiltertem („weißem“) als auch mit gefiltertem Licht gearbeitet. Als Versorgungsgeräte dienten für einen Teil der Untersuchungen ein Netzgerät der Firma Leitz, für den anderen eines der Firma Knott. Als Anzeigegerät wurde ein Norma-Lichtmarken-Galvanometer benutzt. Bei völlig geöffneter Blende betrug das Meßfeld bei der gewählten Vergrößerung (Objektivvergrößerung: 5,6 x) 0,4 mm<sup>2</sup>, also nur rund ein Achtel der Probenoberfläche. Damit die erhaltenen Werte jederzeit reproduzierbar sind, wurden die Reglerstufen mittels der Korundglühkurve geeicht.

Die Proben wurden teils händisch, teils maschinell gemahlen und hernach gesiebt. Es wurden von jeder Probe mehrere Siebklassen untersucht. Es erscheint mir sehr wesentlich, darauf hinzuweisen, daß die Intensität der Lumineszenz bei allen Proben sehr stark von der Korngröße des untersuchten Materials abhing. Dieser Konnex Korngröße — Intensität bedeutet, daß eine beliebig zerkleinerte und nicht weiter klassierte Probe, also eine Probe der bisher üblichen Art, nur Werte liefert, die von den Anteilen der verschiedenen Kornklassen bestimmt werden. Es ist leicht einzusehen, daß bei derartigen Mischproben das Ergebnis sehr deutlich von der Mahlbarkeit des Materials, den Eigenschaften der Mühle und der Mahldauer bestimmt wird. Für qualitative Bestimmungen wird in vielen Fällen auch in Hinkunft eine unklassierte Probe ausreichen. Für quantitative Untersuchungen, wie z. B. die Gehaltsbestimmung einer lumineszierenden Phase in

einer nicht oder in einer wesentlich schwächer leuchtenden Umgebung, sind aber Korngrößenmäßig genau definierte Proben unerlässlich.

Die Erfassung des Lumineszenzspektrums kann, wie auch die Untersuchungen von J. G. HADITSCH & I. O. MÜLLER zeigen, auch zu einer besseren Charakterisierung verschiedener Substanzen beitragen. Ein Beispiel möge hier genügen: Der Flußspat der Grube Beihilfe hatte in der Körnung  $500\text{--}630\ \mu$  zwei stark ausgeprägte und einen schwachen Kurvengipfel ( $300^\circ\text{C}$ ,  $380^\circ\text{C}$  bzw.  $190^\circ\text{C}$ ). Dabei geht der Hauptgipfel bei  $300^\circ\text{C}$  auf entsprechende Peaks der Kurven für  $497\text{ nm}$  und  $590\text{ nm}$  zurück, wogegen der Gipfel bei  $390^\circ\text{C}$  nahezu ausschließlich auf den entsprechenden Peak der Wellenlänge  $436\text{ nm}$  zurückgeführt werden kann. Am dritten, schwachen Gipfel sind alle Wellenlängen mit Ausnahme der von  $436\text{ nm}$  beteiligt (Abb. 1).

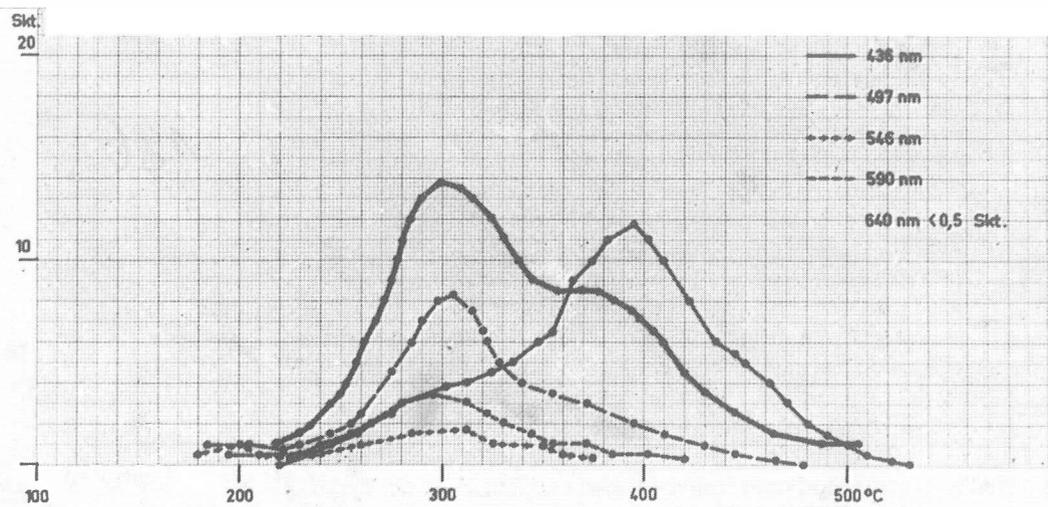


Abb. 1

Es kann als allgemein bekannt vorausgesetzt werden, daß thermisch gebildete Lagerstätten einen Dispersionshof besitzen, d. h. daß die nächste Umgebung derartiger Lagerstätten eine Aureole mit charakteristischen Mineralassoziationen aufweist. Die moderne Geochemie nutzt diese meist nur spurenhafte Mineral-(Element-)Führungen allgemein für die Lagerstättenuche. Sofern diese Aureolen auch thermolumineszierende Minerale enthalten — und dies kommt häufig vor —, kann diese Eigenheit auch dem angegebenen Zweck dienen. Um die untere Nachweisgrenze thermolumineszierender Minerale festzustellen, wurde beispielsweise Flußspat verschiedener Vorkommen in einem wechselnden Verhältnis mit sterilem Kalk intensiv gemischt und aufgeheizt. Die Untersuchung zeigte, daß Flußspat noch in einer Konzentration von nur 1% eindeutig nachweisbar ist. Eine empirische Ableitung ergab für diesen nachzuweisenden Gehalt von 1% für ein Meßfeld von  $0,40\text{ mm}^2$  und unter der Voraussetzung einer isometrischen Kornform eine Korngröße des Probenpulvers von maximal  $0,02\text{ mm}$ .

Die untere Sichtgrenze eines normalsichtigen Menschen in einem abgedunkelten Raum liegt bei den gewählten Untersuchungsbedingungen bei 1,0 bis 1,3 Skalenteilen, entsprechend dem Glühen eines Korundplättchens bei 576 bis 585° C. Mit dem Mikroskop-Photometer sind Lumineszenzerscheinungen in einem Ausmaß von nur 0,2 Skalenteilen, also etwa ein Fünftel bis ein Sechstel der vom Menschen feststellbaren Intensität, noch eindeutig erfäßbar.

Die Probenvorbereitung (Mahlen, Sieben usw.) erfordert im Durchschnitt pro Probe zehn Minuten, die Untersuchung unter dem Mikroskop vom Beginn des Aufheizens bis zum Wiedererreichen der Anfangstemperatur durchschnittlich 15 Minuten. Zwei Mann können so in acht Stunden rund 20 Proben untersuchen. Bei Verwendung eines Schreibers anstelle des Galvanometers kann die Untersuchung durch eine Person allein durchgeführt werden.

Allein auf Grund der Lage und der Intensität der Peaks ist es unmöglich, auf eine bestimmte Substanz zu schließen. Da die Lumineszenz verschiedener Proben der gleichen Mineralart stark variieren kann, ist es bei Gehaltsbestimmungen vorerst notwendig, an einer reinen, hochprozentigen Probe den Lumineszenztyp festzustellen. Steht dieser fest, so können über verschiedene Mischungen im interessierenden Bereich für die einzelnen Gehalte Eichkurven aufgestellt werden, an Hand derer — nicht störende Beimengungen vorausgesetzt — beispielsweise der Halt einer Bohrschmantprobe im Hof einer Lagerstätte an einer lumineszierenden Substanz und darüber hinaus beispielsweise eine Annäherung an die Lagerstätte oder eine Entfernung von dieser, also der Annäherungsindex (HADITSCH 1974), festgestellt werden kann.

Ergänzend sei noch bemerkt, daß diese Methode vielleicht auch in der Glasindustrie oder in der Keramik mit Vorteil angewendet werden könnte.

Die hier nur kurz umrissenen Thermolumineszenzuntersuchungen zeigten eine weitere interessante Möglichkeit auf:

Es ist bekannt, daß verschiedene Minerale bei bestimmten Temperaturen zerplatzten. Aus dem durch eine sogenannte Dekrepitationsanalyse gewonnenen Temperatur- und sonstigen Angaben lassen sich wertvolle Schlüsse auf die Bildungsbedingungen der Minerale ziehen. Deshalb haben sich beispielsweise die Pariser Schule (um DEICHA) oder der Kuttenger Kreis (um TRDLIČKA) dieser Forschungsrichtung besonders angenommen. Leider erfordern derartige Untersuchungen kostspielige Apparaturen. Bei Verwendung der oben geschilderten Anlage können auf einfache Weise derartige Dekrepitogramme erhalten werden. Es treten nämlich durch die Dekrepitation Lageänderungen der einzelnen Probenkörnchen auf, welche wiederum eine photometrisch leicht erfäßbare Änderung der Reflexion oder der Lumineszenzintensität zur Folge haben.

Wie schon eingangs erwähnt, hat von allen Lumineszenzarten bisher lediglich die Photolumineszenz — man müßte genauer sagen: die Fluoreszenz im ultravioletten Licht — in den Geowissenschaften eine gewisse Bedeutung erlangt. Allgemein ist die oft deutliche UV-Fluoreszenz von W-, Zr- und U-Mineralen bekannt. Man weiß auch, daß sich drei Viertel aller Uranminerale über ihre Fluoreszenz besser nachweisen lassen als durch radiometrische Methoden. Für die Scheelitprospektion ist die Fluoreszenzmethode heute noch die einzige mögliche. Es sei in diesem Zusammenhang nur kurz auf die Tatsache verwiesen, daß

es schon vor einiger Zeit gelungen ist, in pakistanischen Flußsanden Scheelit 1500 km von der primären Lagerstätte entfernt nachzuweisen.

Die Kenntnis der Paragenese erlaubt es auch, über ein fluoreszierendes Mineral auf Lagerstätten anderer Minerale zu schließen, so beispielsweise über den Scheelit auf Lagerstätten von Mo, Sn und Li, über den Hydrozinkit, auch ein sehr stark fluoreszierendes Mineral, auf Pb-, Zn-, Ag- und Flußspatlagerstätten, oder über den Zirkon auf Lagerstätten des Titans, des Niobs und des Tantal. Die aus dem Gesagten hervorgehende große Bedeutung dieser Prospektionsmethode hat dazu geführt, daß verschiedentlich, so z. B. auch von G. ZESCHKE (1964), Listen mit Angaben über fluoreszierende Minerale veröffentlicht wurden.

Obwohl diese Methode, besonders seit dreißig Jahren, soweit ausgebaut wurde, daß heute mit ihr über vierhundert Minerale nachgewiesen werden können, ließ sie sich bisher nur unter gewissen Vorbehalten verwenden. Aus den bisherigen Veröffentlichungen ist nämlich leicht zu entnehmen, daß viele verschiedene Minerale unter Umständen megaskopisch die gleiche Fluoreszenzfarbe haben können, weshalb auch beispielsweise ZESCHKE (1964, p. 38) vor dem Gebrauch der von ihm selbst wiedergegebenen Listen warnte: „Es ist nicht ratsam, daß ein weniger Geübter an Hand der Tabellen versucht, eine Mineralbestimmung durchzuführen.“

Die eigentliche Schwierigkeit liegt oder lag also nicht darin, fluoreszierende Minerale nachzuweisen, als vielmehr darin, diese auf Grund ihrer Fluoreszenzfarbe eindeutig anzusprechen.

Noch ein anderer Aspekt: Auch in den Geowissenschaften hat in den letzten Jahren die Chromatographie eine gewisse Bedeutung erlangt. So werden in zunehmendem Maße in der Geochemie und Sedimentpetrographie Rf-Werte bestimmt, d. h. solche, die das Verhältnis der Substanzwanderung zur Entfernung der Lösungsmittelfront vom Start angeben und denen bei der Charakterisierung verschiedener Substanzen die größte Bedeutung zukommt. Nun kann z. B. ein durch eine Oxin-Alkohol-Ammoniak-Chromatographie gewonnener Fleck auf dem Papier unter dem ultravioletten Licht megaskopisch einen gelbgrünen Ton, der für Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Mn, Hg und Al sprechen kann, zeigen. Konnte bisher in einem solchen Fall nur durch Erfahrung unter den acht möglichen das richtige Element herausgefunden werden, so gestattet es nun die von mir angewandte und unten geschilderte Methode, durch reines Ausmessen des UV-Lumineszenz-Spektrums das Element zu bestimmen.

Für die Messungen wurden ein Leitz-Mikroskop mit MPV und neun Filter verwendet. Die Untersuchungen zeigten, daß für die Erfassung der Fluoreszenzspektren bereits sechs verschiedene Filter ausreichen. Als UV-Quelle diente eine Hanau-Quecksilber-Niederdrucklampe, die Licht der Wellenlänge 253,7 nm lieferte. Die Ergebnisse der Messungen wurden von einem Goertz-Schreiber registriert.

Bekanntlich hängt der wirtschaftliche Wert des Scheelits von seinem Mo-Gehalt ab, der sich, wie das folgende Beispiel zeigen soll, UV-spektralanalytisch gut erfassen läßt:

Es wurden 12 Scheelitproben mit genau bekanntem Mo-Gehalt untersucht. Die Intensitäten für zwei bestimmte Wellenlängen (432 nm und 550 nm) herausge-

griffen und zueinander in Beziehung gebracht, ergaben ein Nomogramm, das sehr rasch eine Molybdängehaltsbestimmung erlaubt (Abb. 2). Der Zeitbedarf beträgt pro Bestimmung etwa drei Minuten.

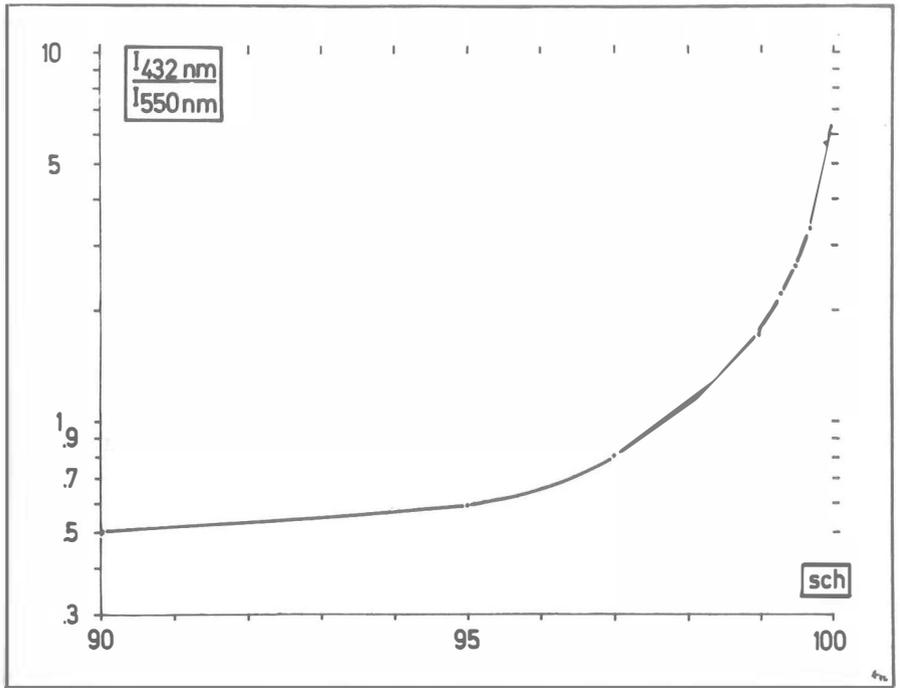


Abb. 2

Ein großer Vorteil dieser Methode liegt wieder in der Möglichkeit, auch kleinste Bereiche zu vermessen, also etwa Waschproben genau zu bestimmen. Die folgende Darstellung (Abb. 3) zeigt das Spektrogramm eines nur  $20 \mu\text{t}^2$  großen Meßfeldes. Was hier für den Scheelit gezeigt wurde, gilt in gleicher Weise auch für alle anderen spektralanalytischen Untersuchungen unter dem UV-Licht, also etwa für die Bestimmung sekundärer Uranminerale oder die Auswertung von Papier- oder Dünnschicht-Chromatogrammen usw. Auch Schmelzkuchen lassen sich nun besser untersuchen als früher, da es noch nicht möglich war, die Elemente eindeutig anzusprechen, weil z. B. Cu, Sr, W und Zr gelb, Sb, As, Bi, Cd und Nb grün leuchten.

Für die Geowissenschaften und die Geotechnik ergeben sich aber auch noch andere Möglichkeiten. So kann z. B. die Fluoreszenz der Feldspäte und Zirkone für eine genauere Systematik alter Erstarrungsgesteine und Metamorphite genutzt werden, was vielleicht auch zu einer besseren Kenntnis ostalpiner Gesteinsserien, beispielsweise des Altkristallins, beitragen könnte.

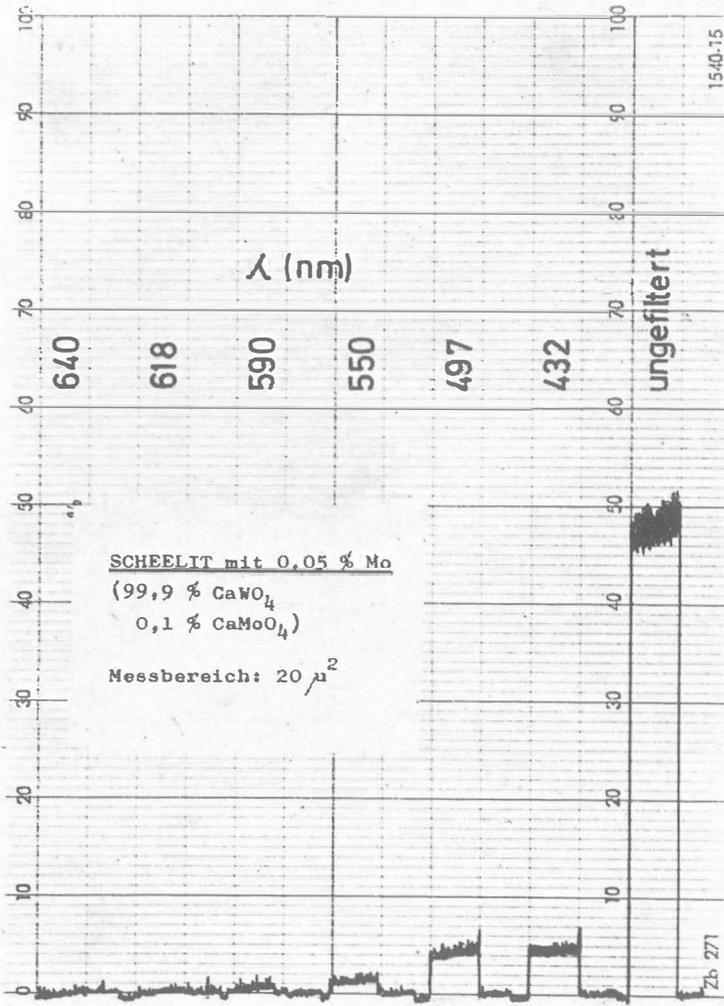


Abb. 3

Bekanntlich kann man für die Deutung der Herkunft detritärer Zirkone morphologische Gesichtspunkte heranziehen. Möglicherweise kann man auch hier mittels der UV-Spektralanalyse weiterkommen.

In der Petrographie kann diese Methode in Verbindung mit Fluorochromen (Fluorescein-Natrium = Uranin, Rhodamin B, Thiochrom, Auramin usw.) und mit oder ohne automatische Integrationstische beispielsweise zur Texturmessung quasisotroper Gesteine, zur Feststellung der Klüftigkeit, der Klüftweite, der

Porosität, der Penetrationsgeschwindigkeit und des Durchtrennungsgrades der Mikrorisse dienen, alles Fragen, die vor allem auch für die Klärung felsmechanischer Probleme wichtig sind.

In der Geochemie wird sich nun wahrscheinlich die Möglichkeit ergeben, mit Hilfe der UV-Absorption und der Darstellung auf einem Willemitschirm noch geringere Hg-Mengen nachzuweisen, als dies nun, z. B. mit dem Quecksilberdetektor, möglich ist.

Gleiche Minerale, aber verschiedene Vererzungsphasen zeigen häufig, bedingt durch ihren Spurenelementgehalt oder durch syngenetische Gitterfehlstellen, eine unterschiedliche Fluoreszenz. Es lassen sich so an Hand unterschiedlicher UV-Spektren eines Minerals unterschiedliche Vererzungsphasen nachweisen.

Weitere Möglichkeiten ergeben sich in der Geohydrologie für die Wassergüte- und -wegebestimmung.

Dem Erdölgeologen bietet sich die Möglichkeit, die Zusammensetzung des Erdöls besser zu bestimmen: Rohöl hat eine andere UV-Lumineszenz als raffiniertes, leichtere Öle eine andere als schwerere, naphthenbasiische eine andere als paraffinbasiische.

In der Baustoffprüfung kann man nun bedenklichen Hornstein besser und rascher nachweisen als mittels des verlängerten Kupfernitrattests oder der Wassertropfenprüfung. Auch kann die Güte von Steinhärtepräparaten nun durch Fluoresceinimpfung quantitativ erfaßt werden. Eine einfache fluoreszenzanalytische Untersuchung kann auch einen Hinweis auf die Brauchbarkeit einer Hochofenschlacke für den Straßen- und Eisenbahnbau liefern.

Auch im Gesteinshüttenwesen gibt es Anwendungsmöglichkeiten für diese Methode. So gibt es überhaupt nur wenige Gläser und Glasuren, die fluoreszenzfrei sind. Die Seltenen Erden zeigen eine besonders starke Fluoreszenz, Aluminiumhydroxydanreicherungen leuchten gelb. So lassen sich die verschiedenen Gläser auf Grund ihres Fluoreszenzspektrums besser charakterisieren, Inhomogenitäten und Schlieren lassen sich auf diese Weise quantitativ festhalten. Beim Quarzglas kann die Fluoreszenzfreiheit oder -armut als Reinheitskriterium angesehen werden. Reparaturen an Porzellanwaren, an Glasuren und an der Emaille können nun besser erkannt und Fälschungen aufgedeckt werden.

Schließlich ist auch zu erwarten, daß diese Methode auch in anderen Bereichen der Wissenschaft und Technik, so in der Medizin, in der Botanik, Pharmakognosie, Lebensmittelkontrolle, Gummiindustrie, im Umweltschutz und in der Kriminologie zu genaueren Ergebnissen führen wird.

### Ausgewähltes Schrifttum

- BÄCHTIGER, K.: Die Thermolumineszenz einiger skandinavischer und nordamerikanischer Plagioklase (Teil V der Laboratoriumsuntersuchungen an Plagioklasen). — Schweiz. Min. Petrogr. Mitt., 47, 1967, 1: 365—384.
- BRUNNER, G. O.: Thermolumineszenzmessung mit Doppelstrahlspektrometer. — Helv. Phys. Acta, 37, 1964, 1: 51—54.
- HADITSCH, J. G.: Eine neue Methode der Thermolumineszenzuntersuchung und ihre mögliche Anwendung in der Lagerstätten erkundung. — Im Druck (1974).
- , Eine Schnellmethode zur Bestimmung des Mo-Gehaltes im Scheelit. — Im Druck (1975).
- , & MÜLLER, I. O.: Die quantitative Bestimmung von Thermolumineszenzspektren, dargestellt an verschiedenen „weißblau“ lumineszierenden Flußspäten. — Im Druck (1974).

- KRANCK, E. H.: Einige Beobachtungen über Thermolumineszenz. — Soc. Sci. Fenn., Comm. Phys.-Math., V, 1933, 1: 1—14.
- MOENKE, H. & MOENKE, L.: Optische Bestimmungsverfahren und Geräte für Mineralogen und Chemiker. — 568 p., 264 Abb., 14 Tab., Akad. Verlagsges. Geest & Portig K.-G., Leipzig 1965.
- ZESCHKE, G.: Prospektion und feldmäßige Beurteilung von Lagerstätten. — 307 p., 218 Abb., Springer-Verlag, Wien 1964.

Anschrift des Verfassers: Hochschulprof. Dr. Johann Georg HADITSCH, Maria-trosterstraße 193, A-8043 Graz, Österreich.

# Einige Anwendungsmöglichkeiten von Bodenstabilisierungen im steirischen Straßenbau

Oskar HOMANN, Graz

Mit 5 Abbildungen

## 1.0 Einleitung

Ende der fünfziger, Anfang der sechziger Jahre begann nach erfolgreicher Anwendung in den USA, wo auf Flugplätzen während des 2. Weltkrieges durch die Stabilisierung mit Kalk höhere geforderte Festigkeiten im Unterbau erzielt werden sollten, auch in Europa, vornehmlich in den Alpenländern, diese Baumaßnahme Fuß zu fassen. Wurden zunächst nur untergeordnete Wegebauten erfaßt, so konnte der Durchbruch der Kalkstabilisierung im größeren Umfang erst durch den Autobahnbau in der Steiermark verzeichnet werden. Die Anfänge in dieser Richtung liegen nun schon 10 Jahre zurück, als damit begonnen wurde, im Probeinschnitt auf der Laßnitzhöhe für die Südautobahn das Unterbauplanum in schluffig-tonigen Jungtertiärschichten mit Hydratkalk zu versiegeln.

Bei Beobachtungen dieser Maßnahme durch einige Monate bzw. bis zum eigentlichen Baubeginn nach 5 Jahren, konnten Tragfähigkeitszunahmen festgestellt werden, obwohl die mangelnde Herstellung — Verteilung aus in Säcken angeliefertem Hydratkalk von Hand aus und noch nicht so perfektionierter Maschineneinsatz — viele Wünsche offenließ, was vor allem die Homogenisierung Boden—Kalk anlangt. Daß beim Autobahnbau zwischen Gleisdorf und Graz die Anwendung der Kalkstabilisierung nicht zur weiteren Anwendung kam, lag daran, daß aus einigen, der Autobahn nächst gelegenen pliozänen Kiesablagerungen geeignetes Dammschüttmaterial gewonnen werden konnte.

## 2.0 Verbesserung des Untergrundes

Mit der Trassenführung der Autobahn im Kainachtal wurde besonders das Problem akut, die durch hohe Dammauflasten verursachten Porenwasserüberdrücke im Untergrund abzubauen und die Tragfähigkeiten in der stark durchnässten und zum Teil aufgeweichten Dammaufstandsfläche zu verbessern. Durch zahlreiche, den natürlichen Verhältnissen angepaßte Laboruntersuchungen konnte auch nachgewiesen werden, daß mit Kalk stabilisierte Lehmböden insofern wasserunempfindlich werden, als sie im Wasser ihre Festigkeiten weitestgehend beibehalten. Diese Erkenntnisse waren für den hier vorliegenden Fall von wesentlicher Bedeutung, da die Dammaufstaufflächen niederschlagsbedingt im Talboden der Kainach zeitweise unter Wasser gesetzt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Stabilisierung in den Dammaufstandsflächen erstens der Porenwasserdruck rascher abgebaut, zweitens die Tragfähigkeit erhöht und drittens der Boden gegen Quellung und Auflösung unter Wasser geschützt wird. Letzten Endes wird durch eine Erhöhung der Scherfestigkeit und durch einen geringen Aufbau der Biegezugfestigkeit eine eventuelle Grundbruchgefahr herabgesetzt bzw. verhindert.

Die Herstellung der Kalkstabilisierung erfolgt in der Form, daß im Untergrund auf volle Frästiefe mit einer Bodenvermörtelungsmaschine, d. s. 30 cm, ein Weiß-Feinkalk (Branntkalk) in einer Menge von rund 4 Gew.-% bezogen auf das verdichtete Trockenraumgewicht (erreichbare Proctordichte) homogen in den Boden eingemischt und mittels Gummiradwalzen von 20 t Dienstgewicht verdichtet wird. Zur Erreichung einer Plattenwirkung unter den relativ hohen Dämmen bis 10 m Höhe, wurden weiters 2—4 Schüttlagen von Lehm mit je 20 cm Stärke in gleicher Weise, jedoch mit 3 Gew.-% Kalkzusatz, aufgebracht. Von dieser nun 70—110 cm starken Platte wird vorausgesetzt, daß die zu erwartenden Setzungen gleichförmig ausfallen und bei Überflutung des Talbodens das im Wasser stehende Dammauflager nicht aufgeweicht werden kann und seine Festigkeit beibehält.

Zur Erläuterung sei folgender Aufbau des Untergrundes festgehalten:

3—5 m Lehm (jungpleistozäne bis alluviale Talfüllung)

3—7 m Sand-Kies (zwischenzeitliche Ablagerungen; mit Grundwasser, zum Teil durch die relativ dichte Lehmdecke gespannt),

bei 8—10 m Tiefe überkonsolidiertes Tertiär (Torton-Badenien) in Form von gelben Feinsanden bis sandig-tonigen graugrünen Schluffen.

### 3.0 Damm- und Straßenunterbau

Zur Herstellung der Dämme wurde vorwiegend Lehmmaterial aus einer nahe gelegenen Seitenentnahme („Kaiserwaldterrasse“) verwendet. Bei trockener Witterung konnte der Lehm, bestehend aus 10—20 % Ton (unter 0,002 mm), 70—80 % Schluff (0,002—0,06 mm) und Sand (über 0,06 mm) bei einem natürlichen Wassergehalt von 3—6 % über dem nach Proctorbestimmungen optimalen ( $w_p \cong 22\%$ ), mit vollen für einen Straßendamm geforderten Tragfähigkeitsanforderungen eingebaut werden. Bei nasser Witterung wurden nur wenige Zwischenlagen ebenfalls mit Kalk stabilisiert, um den Feuchtigkeitsgehalt, der die Tragfähigkeit herabsetzt, abzubauen.

Das Unterbauplanum erhielt in 1 oder 2 Schichten zu je 20 cm sodann durchgehend eine Stabilisierung mit Kalk, um den Tragfähigkeitsansprüchen ( $E_{v_2} = 450 \text{ kg/cm}^2$ ), die von einer Unterlage des Oberbaues gefordert werden, gerecht zu werden. Auch hier wird durch die Beimischung von 3 % Branntkalk eine hohe Wasserunempfindlichkeit und ein hoher Grad von Frostbeständigkeit erreicht.

### 4.0 Untersuchungen auf Frostbeständigkeit

Zwischenzeitlich wurden kalkstabilisierte Dammschüttungsplanien im Winter und zu jeder Witterung für den schweren Baustellenverkehr verwendet. Es zeigte sich dabei vielfach, daß trotz Frosteindringung und der durch Lastverkehr hohen dynamischen Beanspruchung kaum nennenswerte Schäden in dem für den Bau-

stellenverkehr verwendeten Fahrbahnen auftraten. Aus diesen Erkenntnissen heraus war es naheliegend, die hier verwendeten Lehme, wenn sie mit Kalk stabilisiert wurden, auf Frostsicherheit zu untersuchen. Weiters war zu überlegen, inwieweit Frostschäden an Fahrbahndecken, bei Anwendung solcher Schichten in der Oberbauherstellung als Ersatz von Frostschutzkies, zustande kommen können.

Die Transportweiten von geeignetem Frostschutzkies und vor allem die zunehmende Nachfrage nach qualitativ einwandfreiem Material sind heute im Straßenbau preisbestimmend. Wenn man außerdem die volkswirtschaftliche Seite hinsichtlich der vorhandenen Vorkommensreserven betrachtet, so muß immer wieder die Frage gestellt werden, ob nur reine Sand-Kiesgemenge für die Herstellung von Frostschutzschichten allein geeignet sind.

Die teilweise Frostbeständigkeit von kalkstabilisierten Feinböden ist nun schon allgemein bekannt geworden. Es war daher naheliegend, diese Erkenntnisse praktisch anzuwenden und gleichzeitig parallel dazu im Labor experimentell entsprechende Untersuchungen vorzunehmen.

#### 4.1 Teststrecke

Wie sich nun die Frosteindringungstiefe in alpinen und voralpinen Regionen wirklich auswirkt und wie weit diese vom Materialaufbau bzw. von der Deckenkonstruktion einer Straße abhängig ist, soll aus einer rund 100 m langen Teststrecke auf einer 6spurigen Vollaubahn in einer Dammstrecke hervorgehen. Der Aufbau dieser Teststrecke geht aus Abb. 1 hervor. Für den teilweisen Ersatz der Frostschutzschichte durch kalkstabilisierten Lehm wurden lediglich höhere

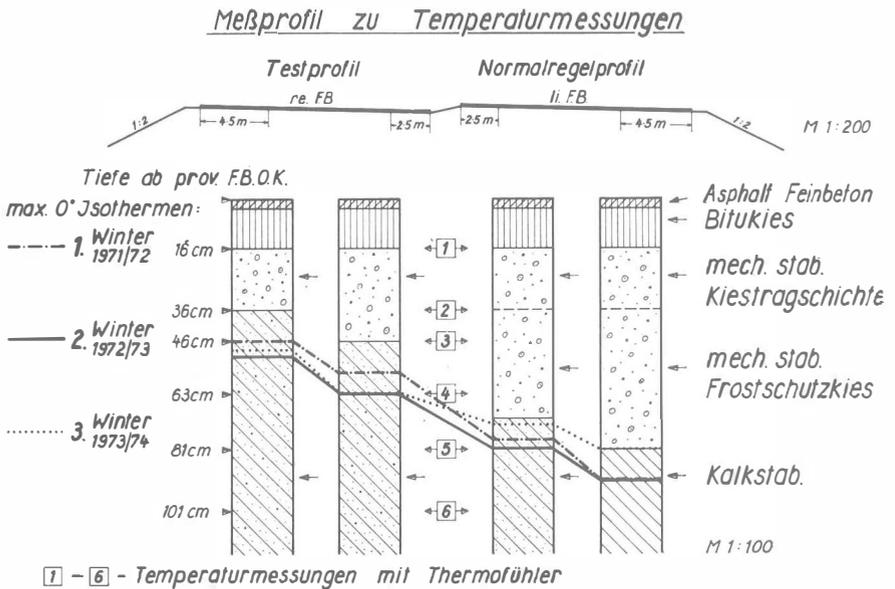


Abb. 1: permanente Temperaturmessungen auf einer Teststrecke zeigen die maximalen Frostbeanspruchungen an.

Tragfähigkeitsansprüche gefordert, und zwar Werte, die für eine Frostschutzschicht gefordert werden, d. s. mindestens  $1000 \text{ kg/cm}^2$  im Zweitbelastungswert an durchgeführten Lastplattenversuchen. Von dieser Schichtlage wird also vorausgesetzt, daß eine volle Frostbeständigkeit besteht. Um nun die eigentliche Frostbeanspruchung kennenzulernen, wurden in einem Querprofil, über die beiden Fahrbahnen verteilt, vier Meßpunkte errichtet, die in 6 Stufen bis in eine Tiefe von 1 m permanent die Temperaturen aufzeichneten. Die einzelnen Thermoelemente, 24 an der Zahl, wurden an 4 Schreiber, die in einer Meßhütte am Mittelstreifen untergebracht sind, angeschlossen.

Die größte Frosteindringung (siehe Abb. 1) wurde, bedingt durch eine Kälteperiode von ca. 10 Tagen mit einer Durchschnittstemperatur von  $-10^\circ \text{C}$ , am 1. 2. 1972 registriert. Man sieht daraus deutlich die Abhängigkeit der Frosteindringungstiefe von der Mächtigkeit des Frostschutzkieses. Durch die gute Temperatur-Leitfähigkeit des Kiesmaterials bedingt, werden Frost-Tauwechsel in rascher Aufeinanderfolge auf das Unterbauplanum übertragen. Vielfach sind Frostlinsen dort noch längere Zeit resistent, wo mächtigere Frostschutzkieslagen eingebaut werden, während bei geringer Kieslage unter Verwendung frostbeständiger, kalkstabilisierter Lehm Böden im sogenannten Frostschutzbereich bereits volle Plustemperaturen vorhanden sind.

Diese Teststrecke wurde 3 Winter hindurch zunächst unter sehr starkem Baustellenverkehr und nunmehr unter öffentlichem Verkehr beobachtet. Es sind bisher keinerlei Fahrbahnschäden aufgetreten.

In Verlängerung dieser Teststrecke wurde eine weitere in der Form hergestellt, daß die 20 cm mächtige, frostsichere Sand-Kieslage durch eine zementstabilisierte Tragschicht ersetzt wurde, bei der das dazu verwendete Sand-Kiesmaterial mit 15—20% Schluffanteil und einer 7%igen Zementzugabe ebenfalls im „mixed in place“-Verfahren (mittels Bodenfräse) eingebaut wurde. Es wurde also hier ganz auf ein frostsicheres Sand-Kiesmaterial verzichtet (siehe Abb. 2, Teststrecke II). Es ist naheliegend, den vollständigen oder teilweisen Ersatz von Frostschutzkies — bzw. ungebundenen Tragschichten unter Anwendung von Stabilisierungsmaßnahmen je nach Kornzusammensetzung mit Kalk oder Zement überall dort anzustreben, wo frostsicheres Sand-Kiesmaterial bei wirtschaftlicher Gewinnung fehlt.

#### 4.2 Frosthebungsversuch im Frostschrank

Leider kamen dieser o. a. Teststrecke die letzten 3 Winterperioden, denen sie ausgesetzt war, nicht besonders entgegen. Der Winter 1972/73 war zwar noch der kälteste, beeinträchtigte aber die Bodenverhältnisse mit Frosttemperaturen nur bis Anfang Februar 1972. Der Winter 1973/74 begann zwar sehr früh, bereits Mitte November 1973, aber mit Mitte Jänner 1974 drang keine Frosttemperatur mehr in die Frostschutzschicht ein.

In Anbetracht dieser Situation wurden von Beginn dieser Untersuchungen parallel dazu Frostversuche im Frostschrank vorgenommen. Sie sollen über die Frostbeständigkeit dieser kalkstabilisierten Böden und ihrer eventuellen Auswirkung auf die Fahrbahndecke eine Aussage zulassen.

Es wurden daher Probekörper, um die Langzeitreaktion kalkstabilisierter Böden und die damit zusammenhängende Festigkeitszunahme zu erfassen, in eigens

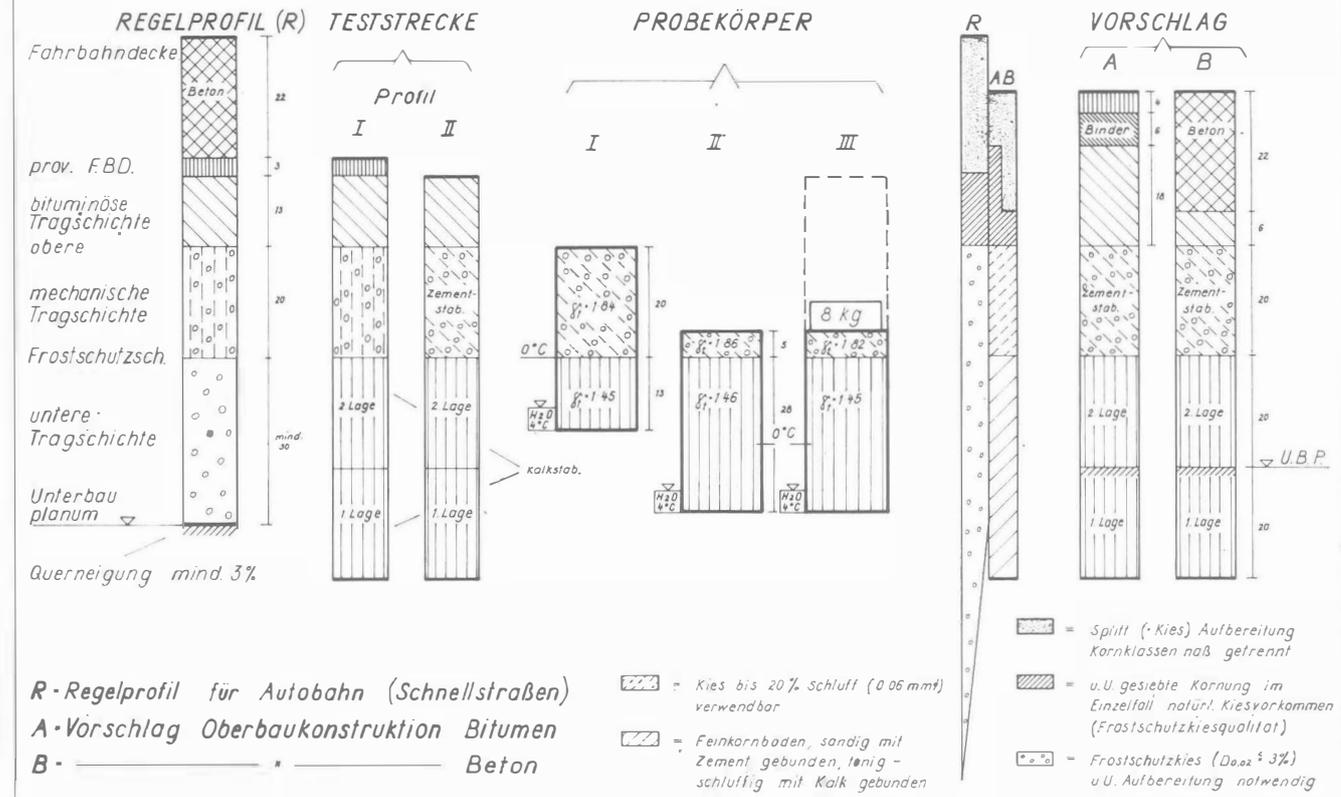


Abb. 2: graphische Darstellung von Fahrbahnkonstruktionen (R, A, B) unter Gegenüberstellung von Materialverbrauch an einwandfreiem Sand-Kies einerseits und Stabilisierung von für Frostschuttkies ungeeigneten Böden andererseits, sowie Darstellung der Probekörper

dafür konstruierten Zylindern aus Kunststoff hergestellt und nach Lagerungszeiten von 1 Monat, 3 Monaten, 6 Monaten und nach 1 Jahr Frostbeständigkeitsprüfungen unterzogen.

Die Probekörper mit 33 cm Höhe und 15 cm  $\varnothing$  wurden mit derselben Verdichtungsleistung, wie sie für den Proctorversuch vorgeschrieben ist, verdichtet und zunächst unter Luftabschluß gelagert. Circa 1 Woche vor dem Frosttest wurden die Probekörper, die an ihrer Unterseite einen Filterstein eingebaut bekamen, in Wasser gestellt, so daß sie kapillar Wasser aufnehmen konnten. Im Frostschrank wurde von oben her der Probekörper auf  $-20^{\circ}\text{C}$  befrosten und gleichzeitig dem Probekörper die Möglichkeit gegeben, von unten Wasser aufzunehmen. Während der Befrostung von rund 1 Woche wurde die Hebung an der Oberseite und die Wasseraufnahme gemessen.

Versuche im Frostschrank an Probekörpern ( $d=150\text{ mm}$ ,  $h=330\text{ mm}$ )  
mit 3 Gewichtsprozenten Brantkalk

Probenalter	Wasseraufnahme in $\text{cm}^3$					Frosthebungen noch 7 Tagen Dauerfrost bei $-20^{\circ}\text{C}$	Zylinderdruck- festigkeiten in $\text{kg/cm}^2$ an Proctorproben Wasserlagerung ohne      mit		
	A			B	A+B				
	nach 1 <sup>h</sup>	nach 20 <sup>h</sup>	nach 4 Tg						
0 bzw. ohne Kalk	—	—	—	980	980	71 mm	18	0	
7 Tage	—	—	—	600	600	45 mm	3.6	18	
1 Monat	m	68	214	273	142	415	16 mm	6.2	5.2
	o	119	195	212	140	352	13 mm		
3 Monate	m	68	178	268	150	418	13 mm	14.0	7.7
	o	52	80	103	100	203	6 mm		
6 Monate	o	0	65	170	60	230	11 mm	19.4	9.7
1 Jahr	o	5	38	62	0	62	4.5 mm	29.0	12.1

A - vor Versuchsbeginn      m - mit  
B - während der Versuchsdauer      o - ohne } Wasseraufnahmemöglichkeit während der Lagerungszeit

Abb. 3: tabellarische Übersicht der Frosthebungsversuche an 33 cm hohen Probekörpern bei gleichzeitiger Registrierung der Wasseraufnahmefähigkeit aus einem Grundwasser.

Es zeigt sich dabei ganz deutlich eine mit der Abbindereaktionszeit zunehmende Frostbeständigkeit, die wiederum von der Zylinderdruckfestigkeit und Wasseraufnahme abhängig ist (Abb. 3). Eine Wiederholung der Befrostung führt zu einer geringen Wasseraufnahme und ebenfalls geringeren Hebung nach einer teilweisen Zerstörung des Gefüges in horizontalen Fugen. Vergleicht man nun die Hebungs- und Wasseraufnahmewerte während der Befrostung, so kommt ganz deutlich der Vorteil der Kalkzugabe im allgemeinen als auch der Langzeitreaktion im besonderen zum Ausdruck. Wesentlich erscheint mir, auf die Wasseraufnahmefähigkeit hinzuweisen, die sowohl vor der Befrostung als auch während der Befrostung mit zunehmender Reaktionszeit stark abnimmt. Von der Wasseraufnahmefähigkeit kann auch die Frostbeständigkeit abhängig gemacht werden.

Mit der zunehmenden Wasseraufnahme sind größere Frostschäden zu erwarten. Diese in der Tabelle (Abb. 3) zusammengestellten Werte werden gleichzeitig in einem Diagramm (Abb. 4) anschaulich dargestellt.

In der Natur selbst sind extreme Frostbedingungen, wie sie experimentell im Frostschrank vorgegeben sind, kaum vorhanden, da jedes Unterbauplanum bzw. jede Straßenoberbaukonstruktion eine absolut funktionierende Entwässerung haben muß.

Versuche an mit 3 Gew.%, stabilisierten Probekörpern unter Luftabschluß gelagert

- a) Zylinderdruckfestigkeiten  $q$  (Probekörper  $d=100\text{ mm}$ ,  $h=120\text{ mm}$ )  
 b) Frostversuche (Probekörper  $d=150\text{ mm}$ ,  $h=330\text{ mm}$ )

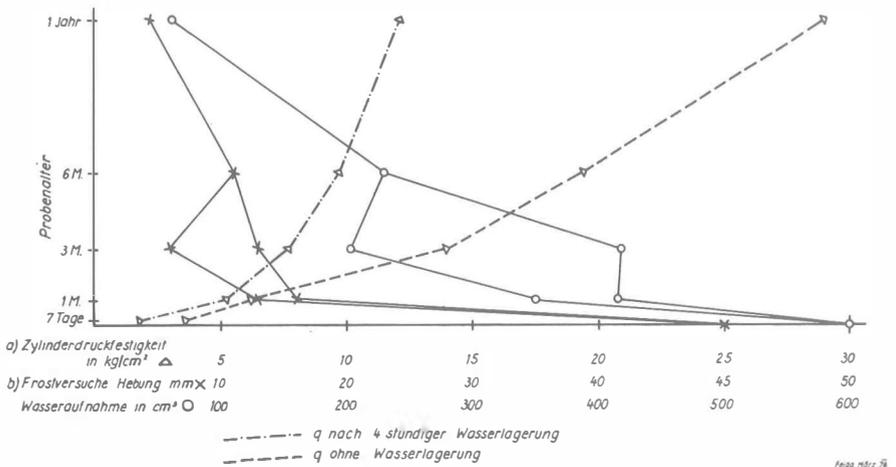


Abb. 4: graphische Darstellung der Frosthebungen und Wasseraufnahme an verschiedenen alten Probekörpern.

**4.3 Konstruktive Ausblicke**

Aus all diesen Erfahrungen und experimentellen Untersuchungen leiten sich einige volkswirtschaftliche Überlegungen ab, die ihren Niederschlag darin finden, daß von den bisherigen konservativen Regelprofilgestaltungen einer Straßenbaukonstruktion auf andere Fahrbahnaufbauten im Straßenbau übergegangen werden soll. Es wird regional verschieden vorzugehen sein, inwieweit die eine oder andere Oberbaukonstruktion ausfallen soll. Abgesehen von der Oberbaudimensionierung, die durch Verkehrsbelastung und Verkehrsfrequenz bestimmt wird, ist die Art des Aufbaues vom örtlich zur Verfügung stehenden Material abhängig zu machen. Nicht nur, daß die Transportweiten den Herstellungspreis bestimmen, soll auch der Umweltschutz, wie Lärmbelästigung und Luftverschmutzung, bei der Wahl des Konstruktionstypes Beachtung finden. Wenn also in unmittelbarer Nähe für eine Großbaustelle einwandfrei frostsicheres Sand-Kiesvorkommen fehlt, soll man sich nicht scheuen, den vollen oder teilweisen Ersatz von Frostschutzkies durch kalkstabilisierten Lehm oder Zementstabilisierung von lehmigem

Kies bzw. gebrochenem Felsmaterial auszuführen. Es ist derzeit kaum mehr volkswirtschaftlich vertretbar, reine Sand-Kiesvorkommen für Frostschuttschichten im Straßenbau auszubeuten, wenn andere minderwertige Materialvorkommen unter Stabilisierung mit Kalk oder Zement einen gleichwertigen Ersatz bieten. Außerdem ist aus rein bodenmechanischen Berechnungen und langjährigen Erfahrungen im Straßenbau für die Haltbarkeitsdauer einer Straßendecke eine gebundene (Verfestigung mit Zement, Kalk, Bitumen o. ä.) Tragschicht bzw. Frostschuttschicht einer ungebundenen, mechanisch verfestigten vorzuziehen. Eine Übersicht von Fahrbahnkonstruktionen und der damit verbundene Materialverbrauch soll mit der Tabelle (Abb. 2) die hier aufgezeigten Verhältnisse darstellen.

## 5.0 Sanierung von Böschungsrutschungen

Als ganz junge Anwendungsmöglichkeit soll die Sanierung von Böschungsrutschungen beschrieben werden. Im Anstieg auf die Pack mit der Südautobahn unmittelbar nach der Anschlußstelle Mooskirchen werden tertiäre Schluffe, z. T. mergelig-sandig, bis 10 m tief eingeschnitten. Die bei einer Böschungsneigung von 2 : 3 vorliegende Böschung bis zu 30 m Länge im Gefälle erwies sich nur im Anfangsabschnitt für diese Neigungsbildung genügend standfest. Im weiteren Verlauf, genau unterhalb eines Wohnhauses, zeigten sich im Zuge der Böschungsherstellung Gleitharnische, die sich mit ca. 60° gleichsinnig mit der Böschung ausbildeten. Eine zuerst von der Bauleitung angeordnete Böschungsverflachung brachte keinen Stillstand in die bereits ausgelöste Bewegung und die damit zurückversetzte Böschungstirn kam bedrohlich nahe an das Wohnhaus zu liegen. Der Entschluß, diese Böschung in Lagen mit Kalk stabilisiert, unter Verwendung des do. anfallenden Materials vom Böschungsfuß neu aufzubauen, mußte rasch getroffen werden. Der Vorteil für diese Maßnahme bestand in der kurzen Ausführungszeit von nur 2 Tagen, bei einer Massenbewegung von rd. 1700 m<sup>3</sup> Material unter Einsatz einer Schubraupe (Cat D 6), eines zeitweilig im Einsatz stehenden Ladegerätes, 2 LKWs und dem Kalkstabilisierungszug, bestehend aus Bodenfräse und Verteilergerät.

Das Bodenmaterial wurde von der Schubraupe unter gleichzeitigem Unterschneiden der Böschung bzw. der Gleitharnische gewonnen. Der muldenartige Aufbau erfolgt auf durchschnittlich 2 Arbeitsspuren der Bodenfräse. In ca. halber Höhe der Böschung wurde eine wasserführende Schicht angetroffen, die für die Gleitung verantwortlich war. Sie wurde mittels Drainagekies an die Böschungsaußenseite entwässert und zunächst provisorisch über die Böschung abgeleitet. Die Wasserführung lag bei ca. 1 l/min. Das zu befürchtende Weitergreifen der Rutschung in Richtung des Wohnhauses wurde unter kürzestem Arbeitsaufwand verhindert. Eine sonst in der Steiermark übliche Böschungssanierung mittels Steinmaterial hätte zeitlich ca. 1 Woche Arbeit in Anspruch genommen, wobei dies die vollständige Wegnahme des Böschungsmaterials bedeutet hätte. Das Material wäre dabei als nicht brauchbar auf Deponie zu schützen und durch Steinmaterial zu ersetzen gewesen. Diese hier aufgezeigte Methode konnte allerdings nur durch die Möglichkeit einer Böschungsverflachung auf nahezu 20° durchgeführt werden. Gleichzeitig lag die Voraussetzung vor, daß das in der Böschung angetroffene Bodenmaterial für eine Kalkstabilisierung geeignet war (siehe Abb. 5).



## 6.0 Schlußbemerkung

Aus den aufgezeigten Anwendungsmöglichkeiten der Stabilisierung mit Kalk als auch mit Zement, wobei die Wahl des Bindemittels im wesentlichen vom Kornaufbau abhängig ist, geht hervor, daß an einzelnen Straßenbaukonstruktionen bei Verwendung von für den Straßenbau als minderwertig bezeichneten Materialien eine bedeutende Qualitätsverbesserung erreicht werden kann. Darüber hinaus kann durch die aufgezeigten Maßnahmen aus volkswirtschaftlichen Erwägungen — dem Raubbau an Sand-Kiesvorkommen — diese Vorkommen sollten ausschließlich zur Herstellung von Fahrbahndecken, sowohl Beton als auch Bitumen, d. h. der Gewinnung für Betonzuschlagstoff im allgemeinen vorbehalten bleiben — Einhalt geboten werden. Es geht dabei nicht um eine technisch billige Ersatzmaßnahme, sondern um eine echte Verbesserung bzw. wirtschaftlichere und im einzelnen umweltfreundlichere Herstellung von Straßenbaukonstruktionen.

## Literaturhinweise

- AICHHORN, W. & WINTERKORN, H.: Grundlagen der Bodenstabilisierung im Straßen- und Wegebau — Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen im ÖIAV, Arbeitsgruppe Untergrundforschung — Wien 1960.
- BRAND, W.: Die Bodenverfestigung als konstruktive und betriebstechnische Maßnahme im Erd- und Straßenbau — Zeitschrift Straßenbautechnik, Heft 13/1964.
- HINTSTEINER, E.: Der ländliche Wegebau in der Steiermark — Zeitschrift Straße und Autobahn, Heft 4/1969.
- HOMANN, O. & ANDERSSON, H.: Das Baulos 5 „Kaiserwald“ bei Graz der österreichischen Südautobahn — Europastraßen, Heft 3/70 — München 1970.
- HOMANN, O. & BAUMGARTNER, E.: Kalkstabilisierung als notwendige Baumaßnahme im Autobahnbau — Zeitschrift Bau im Spiegel, 3 Jg. Nr. 2 — Wien 1970.
- HOMANN, O.: Kalkstabilisierung beim Autobahnbau in der Steiermark — Österreichische Ingenieurzeitschrift, Jg. 14, Heft 3 — Wien 1971.
- : Untersuchung für einen Ersatz von Frostschutzkies durch Kalkstabilisierungsschichten. — abgedruckter Vortrag zur 3. Internationalen Kalktagung in Berlin am 9. 5. 1974.
- KUONEN, V.: Boden- und Straßenunterbau — Schweizerische Bauzeitung, 91. Jg., Heft 10 — Zürich 1973.
- SPATZEK, H., & BROUSEK, CH. — SAUER, E.: Die Bodenstabilisierung mit Kalk — Montanrundschau 1961, Sonderheft Steine und Eden.

Anschrift des Verfassers: Reg. OBR. Dr. Oskar HOMANN, Rohrbachhöhe 76, 8010 Graz, Österreich.



## Neue Möglichkeiten für die Wasserversorgung der höher gelegenen Gebiete des Grazer Paläozoikums zwischen Gleinalpe und Mur

Gottfried KOPETZKY, Graz  
Mit 3 Abb.

### Vorbemerkung

Als freischaffender Geologe erhielt der Verfasser im Jahre 1971 vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, den Auftrag, die hydrogeologischen Gegebenheiten der Einzugsgebiete des Söding- und Liebochtales zu untersuchen.

Das Ergebnis dieser hydrogeologischen Bestandsaufnahme war die Abgrenzung der Wasserüberschuß- und Wasserdefizitregionen in den Einzugsgebieten der beiden Bäche.

Die Einzugsgebiete des Lieboch- und Södingbachtals liegen, insbesondere im Bereich der Quellgebiete der beiden Wasserläufe, in den nördlichen Randzonen des Grazer Paläozoikums, zum Teil auch in der Kaincher Gosau sowie in den limnisch-fluviatilen, jungtertiären Sedimenten (Mittelmiozän).

Bei der Erfassung und Beschreibung der Seitenzubringer des Liebochtales wurden gerade im Jahre 1971 die Wasserversorgungsprobleme in den höher gelegenen Teilen der Gemeinde Stiwoll akut.

Dieses Gebiet von Stiwoll am Südabfall des Plesch und Kehrerkogels leidet wie viele andere Gebiete des Grazer Paläozoikums seit eh und je an Wasserknappheit, die die Entwicklung dieser Gebiete erheblich negativ beeinflusste. Jahrhundertlang bestanden die Wasserversorgungen in diesem Gebiet aus Einzelwasserversorgungsanlagen.

In den höhergelegenen Teilen am Südabfall des Plesch beschränkte man sich auf die primitive Fassung kleiner Kluftquellaustritte, die eine maximale Tageserschüttung von 0,5—1,0 m<sup>3</sup> aufwiesen.

In den tiefergelegenen Teilen des Höhenrückens von Weizberg und Jaritzberg wurden bis in die letzte Zeit in die dort anstehenden jungtertiären Sedimente Brunnen vorgetrieben, die aber auf Grund des geringen Einzugsgebietes nur unbefriedigende Ergebnisse brachten. Wenn die Niederschläge in diesen Gebieten längere Zeit ausblieben, gab es sofort akute Trinkwassernot.

In den höhergelegenen Bauernhöfen der Streusiedlung Fallentsch und Formegg, die zwischen 650 m bis 800 m Seehöhe liegen, betrieben einzelne Besitzer sogenannte Widderanlagen, also Eigendruckpumpanlagen, durch welche das Wasser, allerdings mit einem Verlust von zwei Dritteln der vorhandenen Wassermengen, bis zu 60 Meter hochgepumpt wurde.

Die Bauern mußten, um die Wasserversorgung ihrer Höfe notdürftig aufrechtzuerhalten, oft über viele Kilometer in Felskünetten Rohrleitungen verlegen, die teilweise aus Holz- und Eisenrohren bestanden.

Die Erhaltung der Betriebe dieser Einzelwasserversorgungen war für diese Bergbauern eine ständige Sorge sowie eine körperliche und finanzielle Belastung.

Es war daher für den Verfasser eine in ihrer Aufgabenstellung besonders lohnenswerte und interessante, praktisch-hydrogeologische Arbeit, hier aus einer vorerst regionalen, theoretischen Fragestellung heraus ein Projekt für eine Wasserversorgung der hochgelegenen Streusiedlungen Fallentsch, Formegg, Weizberg entwickeln und verwirklichen zu können.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind bereits 60 Anwesen und Einzelhaushalte über ein Hauptleitungsnetz von ca. 15 km Länge versorgt.

Es war dazu die Fassung von 9 kleinen Quellen am Südabfall des Kehrerkogels und Plesch notwendig, die in einem sinnvollen Leitungssystem diese ganze Gegend mit Gefällsleitungen, also ohne Einsatz von Pumpen, mit Trink- und Nutzwasser versorgen können.

Die Folgerungen aus diesem gelungenen Projekt einer Hochwasserversorgung aus vielen hochgelegenen Quellen im kalkigen Grundgebirge sind durchaus positiv, weil bereits jetzt in Betracht gezogen wird, durch Hinzufassung von neuen Quellen, über die Gemeindegrenze von Stiwill hinaus Wasser über eine Hauptleitung am Höhenrücken von Jaritzberg bis nach St. Oswald bei Plankenwarth zu bringen. Dadurch könnten große Teile der Gemeinden von St. Oswald bei Plankenwarth ebenfalls mit einer Gefällsleitung mit Trink- und Nutzwasser versorgt werden. In St. Oswald, das auf einem Höhenrücken liegt, sind die Wasserversorgungsprobleme derzeit ebenfalls nicht befriedigend gelöst, da die bestehenden Einzelwasserversorgungsanlagen durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung nicht den hygienischen Erfordernissen entsprechen und in Trockenzeiten Wassermangel herrscht.

### **Geländemäßige und hydrogeologische Gegebenheiten am Südostabfall des Plesch- und Kehrerkogels**

Die Streusiedlungen Fallentsch, Formegg und Weizberg befinden sich in der Kammregion, der dem Plesch und Kehrerkogel nach Süden vorgelagerten Höhenrücken. Dieselben sind ca. zu 50% bewaldet, 50% sind landwirtschaftliche Nutzflächen. Teile des Weizberges sind in den letzten Jahren durch Wochenendaussiedlungen zusätzlich verbaut worden.

Aus dem sich in Ost-West-Richtung hinziehenden Höhenzug des Plesch und Kehrerkogels entspringen nach Süden hin der Fallentschbach und der Pleschbach. Während der Pleschbach nach Nordosten in das Schirningerbecken und weiter nach Gratwein in die Mur entwässert, fließt der Fallentschbach mit seinen zwei Quelllästen durch ein tiefeingeschnittenes bewaldetes Tal in die Lieboch nördlich von Stiwill.

Das Quellgebiet des Fallentschbaches mit seinen zwei Quelllästen, der sogenannten Kehrermulde einerseits und der Schnitzermulde andererseits, bildet die Grundlage des oben angeführten Wasserversorgungsprojektes Fallentsch — Weizberg. Die hochgelegenen Bauernhöfe liegen auf isolierten Höhenrücken. Die Flanken

dieser Höhenrücken fallen steil, mit Neigungen von 20 bis 30°, gegen Süden, Südosten und Südwesten ab. Der Fallentschbach und auch der Pleschbach haben sich in die hier vorwiegend kalkigen paläozoischen Gesteine tief eingeschnitten. Das generelle Streichen der Gesteine ist hier Nordwest-Südost. Die Hauptfallrichtung der S-Flächen weist nach Nordosten.

In großen Zügen läßt sich vom Hangenden ins Liegende, also vom Kammrücken des Plesch-Kehrerkogels bis in die Niederung des Liebochbaches nördlich von Stiwill, das paläozoische Schichtpaket wie folgt gliedern:

Die Kammregion wird von klüftigen, hellen Kalken eingenommen, die in einer Verebnung auf ca. 780 m Seehöhe auskeilen. Darunter lagern dünnplattige Kalkschiefer; sie neigen stark zur Verwitterung. Die Verwitterungsdecke auf diesen hochgelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen ist bis zu 6 Meter mächtig. Nach Süden zu, an den vorgeschobenen Rändern der Hügelkuppen, treten Grünschiefer und diabasartige Gesteine zu Tage, die zwar durch saiger stehende Kluftscharen stark geklüftet sind, jedoch eine wesentlich geringere Anfälligkeit gegen Verwitterung zeigen.

Diese Grünschiefer, in Wechsellagerung mit den Kalken, bilden das steile Gehänge, durch welches sich die beiden Quelläste des Fallentschbaches schluchtartig einen Weg gebahnt haben. Im Bachbett des Fallentschbaches, dessen Flanken hier beiderseits dicht mit Wald bestanden sind, entstehen durch die verwitterungsresistenten Grungesteine kleine Felsstufen.

Im mittleren Teil des Fallentschbaches, dort wo sich die beiden Quelläste vereinigen, treten wieder Kalkschiefer, die in ihrer Ausbildung den höhergelegenen ähnlich sind, auf. An dieser Stelle ist eine deutliche Zunahme der Wassermenge festzustellen. Der Fallentschbach wird durch zahlreiche Folgequellen aus dem Kalkschiefer gespeist.

Im weiteren Verlauf wiederholt sich abermals quer zur Fließrichtung des Baches das vorher beschriebene Schichtpaket, das heißt, Kalke und Grungesteine wechseln einander dreimal ab. Gegen den Austritt des Fallentschbaches in das Liebochtal, ca. 300 m talaufwärts, kommt es zu einer auffälligen Erscheinung. Der Fallentschbach, der bis in den Bereich der Kalkschiefer ca. 5—7 Liter pro Sekunde an minimaler Schüttung aufweist, verschwindet hier ganz.

Im Beobachtungszeitraum von 1971 bis Anfang 1975 konnte festgestellt werden, daß der Fallentschbach nur bei starken Niederschlägen in seinem unteren Teil Wasser führt.

Die nach Südwesten gerichteten Flanken dieses Höhenrückens, welcher den Liebochbach vom Fallentschbach trennt, zeigen in einigen Steinbruchaufschlüssen, daß hier eisenschüssige, massive, klüftige Kalke vorhanden sind, die bis an die Talsohle keinerlei Anzeichen für eine Wasserführung zeigen. Das Wasser muß demnach bereits an der Grenze zwischen den Grungesteinen und dem genannten Kalkzug im Untergrund verschwinden.

Es sei noch erwähnt, daß im Liebochtal, im Bereich des Anwesens Kehrer Schmied ebenfalls über viele Hunderte Meter eine Schwinde festzustellen ist. Die Lagerung und die Zusammensetzung der Gesteine ist hier ähnlich wie im Fallentschbachgraben.

In diesem Zusammenhang sei auch noch darauf hingewiesen, daß sich in den schmalen Höhenrücken zwischen Liebochbach und Fallentschbach, auf dem sich das Anwesen Raudner befindet, ein alter Silberbergbau bekannt ist, dessen Stollen zwar verfallen, aber auch heute teilweise noch begehbar sind. Die Bergbaustollen befinden sich in dem Gebiet zwischen der Grenze der Grüngesteine und der vorgelagerten Kalke. In den Kalken treten Karsterscheinungen aller Art auf.

Diese hydrogeologische Feststellung wird im Jahre 1975 vom Verfasser noch einer näheren Untersuchung unterzogen werden.

Der Höhenrücken des Raudnerkogels weist hydrogeologisch ein interessantes Phänomen auf. Auf der dem Liebochbach zugeneigten steilen Flanke bei der sogenannten Raudnermühle, ca. 100 m vor Auslaufen dieses Bergrückens, neben der Fahrstraße nach St. Pankratzen, tritt eine Quelle aus dem Kalkfels zutage, die eine gleichmäßige Schüttung von mindestens 2 Liter/sek. aufweist. Diese Erscheinung ist deshalb so ins Auge springend, weil talabwärts nach Süden, ca. 100 m, das Bett des Fallentschbaches gegen die Liebochniederung hin, fast das ganze Jahr, wie bereits erwähnt, trocken ist.

### Spezielle, praktische hydrogeologische Betrachtungen und Überlegungen

Die beschriebenen hydrogeologischen Gegebenheiten im Quellgebiet des Fallentschbaches waren der Anlaß für eine nähere Untersuchung der Art der Quell-

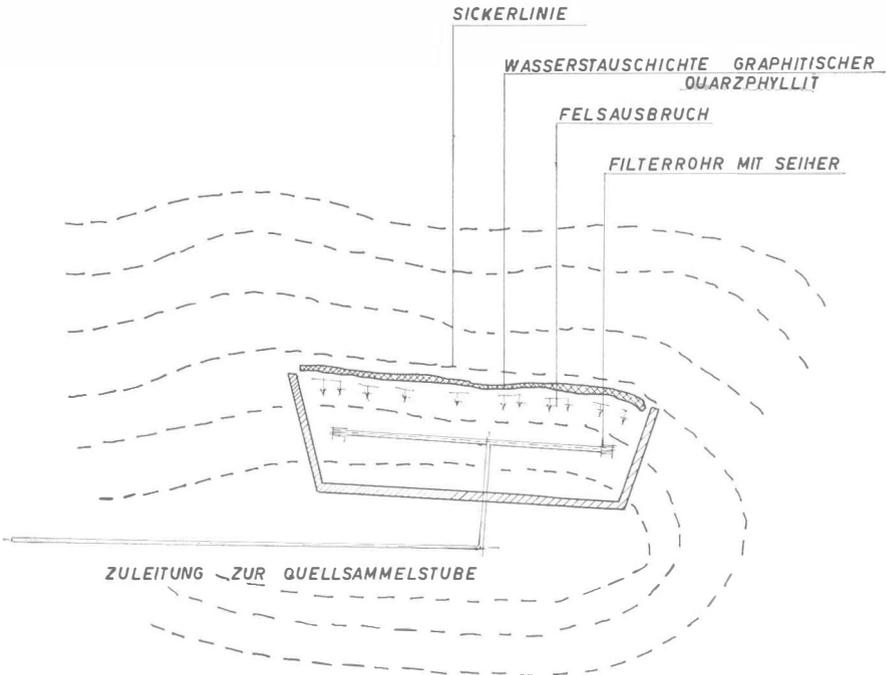


Abb. 1: Quellfassung obere Mörtenhanselquelle; schematischer Grundriß

austritte, die schließlich dann auch die Art der Fassung dieser Quellen bestimmte. Die Grenze des Hangendkalkes des Plesch und Kehrerkogels zu den Kalkschiefern mit der darüberliegenden mächtigen Verwitterungsdecke war jene Stelle, wo die Fassung der Quellen am erfolgversprechendsten erschienen.

Die Kehrermulde war unterhalb des Höhenfahrweges vor der Fassung der Quellen einige tausend Quadratmeter durchnäßt, bevor im unteren Teil der Mulde das Wasser als geschlossenes Gerinne zutage trat. Neben dem Fahrweg an der Bergseite befand sich seinerzeit ein kleiner Quelltümpel, aus dem das Wasser aus den Schiefern offen zutage trat. Diese Quelle wurde notdürftig zur Versorgung des Anwesens Kehr verwendet. Das auf gleicher Höhe ca. 400 m nordöstlich liegende Gehöft des Besitzers Url, vulgo Wödner, wurde aus einer kleinen Quelle, die heute noch besteht und die schon im Kalk liegt, mit Wasser versorgt.

Es wurde nun versucht, beim Aufschluß der Quellen den anstehenden Fels in einer Tiefe von 4 bis 6 m zu erreichen. Die mittels Erdbewegungsmaschinen hangparallel vorgetriebenen Quellkünetten brachten auch tatsächlich dann in einer Tiefe von 4 m das Zutagetreten von Quellwässern. Das Wasser trat an diesen Stellen auf ganzer Fläche sickernd aus den Kalkschiefern zutage. Es war technisch schwierig, die ca. 3—4 m schwammartig mit Wasser gesättigte Verwit-

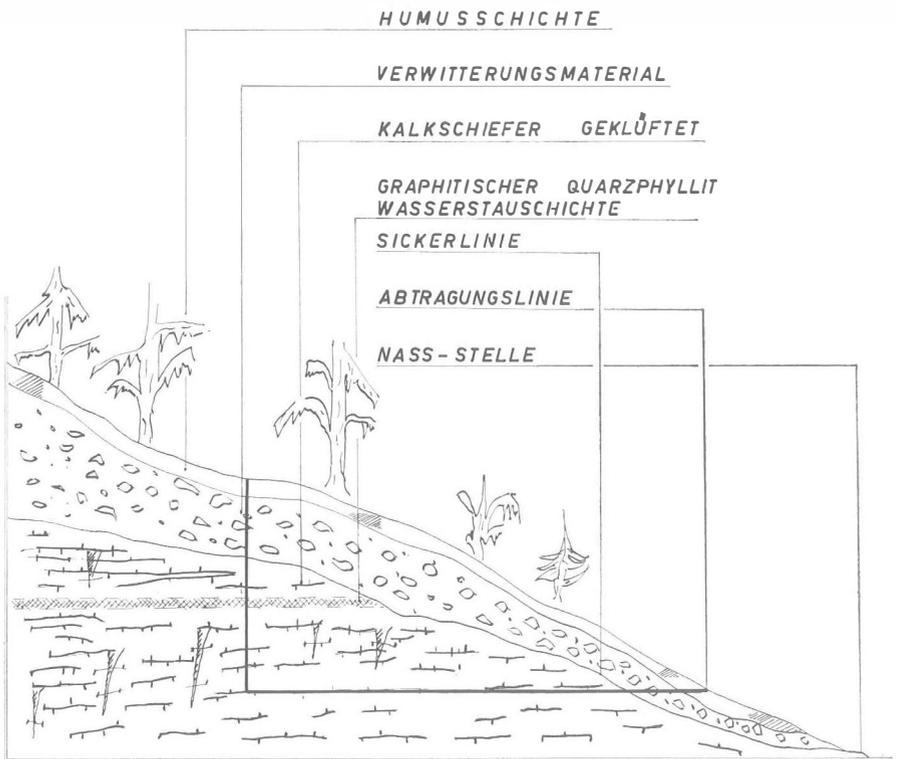


Abb. 2: Quellfassung obere Mörtenhanselquelle; schematischer Querschnitt, ungefaßt

terungsdecke unter Kontrolle zu bringen. An der Basis dieser Künetten wurden Kunststofffilterrohre verlegt und die Flanken mit Plastikbahnen gegen Eindringen von Oberflächenwasser abgedeckt. Der Raum über den Filterrohren wurde mit Filterkies hinterfüllt und schließlich gegen die Oberfläche hin ebenfalls wieder dicht abgedeckt.

Die aus einzelnen Strängen gesammelten Wässer wurden in Sammelschächten zusammengeführt und schließlich in einem festen Bauwerk, einer Quellsammelstube, einzeln eingeleitet. Es zeigte sich dabei, daß die Quellen aus den Schiefern zwar weniger, aber wesentlich gleichmäßiger schütteten als die hochgelegenen Quellen aus den klüftigen Kalken.

Beim Aufschluß der Quellen wurde es offenkundig, daß dieselben stockwerksartig übereinander austreten. Die Ursache dafür sind Lagen von wasserundurchlässigen, graphitisch-quarzitischen Schichten in den Kalken und Kalkschiefern. Durch diese Einlagerungen kommt es zum breitflächigen Austreten von Schichtquellen. Dies erklärt auch die Eigenart, daß es im Bereich des Fallentschbaches zu dieser wechselhaften Wasserführung kommt, weil im Bereich der Quellläufe bzw. des Bachlaufes immer wieder Folgequellen von den Flanken in das Bachbett sickern.

Überraschend ist auch die Tatsache, daß die Quellen trotz ihrer Höhenlage — die höchsten liegen auf 870 m, also nur 100 bis 130 Meter unter der Scheitelregion

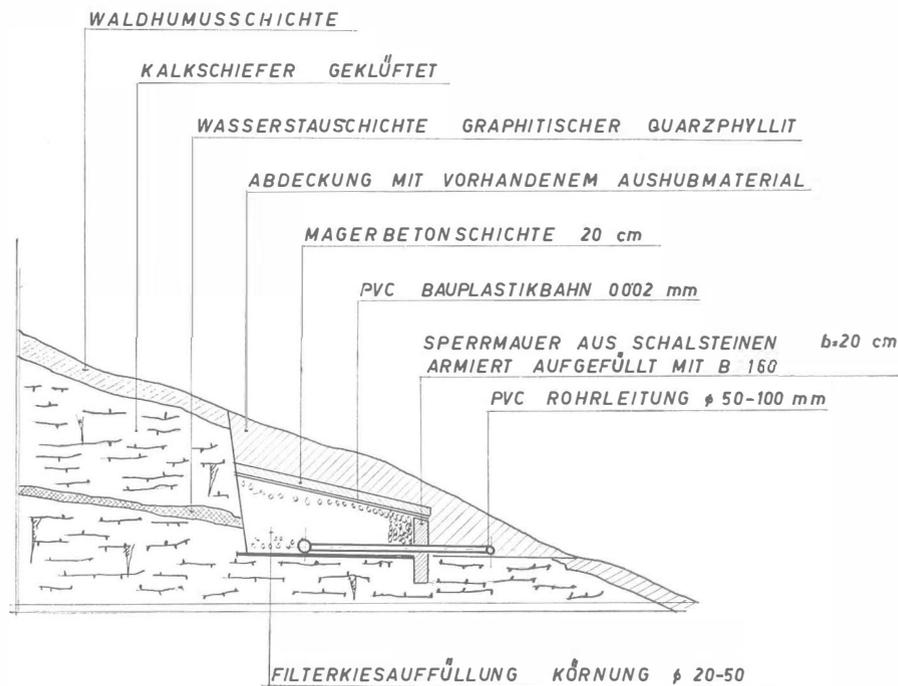


Abb. 3: Quellsfassung obere Mörtenhanselquelle; schematischer Querschnitt, gefaßt

des Plesch und Kehrerkogels — auch bei langandauernder Trockenheit noch Wasser führen. Die Ursache dürfte in der Wechsellagerung zwischen den Kalk- und Kalkschiefern, die mehr oder minder durchlässig sind, und den dazwischen eingelagerten graphitisch-quarzitischen Schichtpartien zu suchen sein. Für die gleichmäßige Wasserführung kommt noch der günstige Umstand hinzu, daß der Südfall des Plesch und Kehrerkogels dicht bewaldet ist und daher die Verdunstung optimal eingeschränkt ist. Dieser Umstand wurde beim Schutz dieser Quellen besonders beachtet und das weitere Schutzgebiet entsprechend weit gezogen. Das gefaßte Wasser weist auch einen für Trinkwasser günstigen Chemismus auf:

Temperatur	9,7° C	NH	<	0,05 mg/l
pH-Wert	8,0	Fe	<	0,05 mg/l
Gesamthärte	16,3 d. H.°	Mn	<	0,05 mg/l
Karbonathärte	11,9 d. H.°	Cl		1,1 mg/l
Sauerstoff, gelöst	11,6 mg/l	NO <sub>3</sub>	<	0,1 mg/l
Sauerstoffsättigung	105,6%	NO <sub>2</sub>	<	0,005 mg/l
		PO <sub>4</sub>	<	0,05 mg/l

Tab. 1: Analyse (Mörtenhanselquellen) 1, 2 und 3 (Mischwasser)  
Analytiker: Dr. R. OTT, 17. 6. 1974

Die Härte des Wassers ist zwangsläufig auf Grund der Tatsache, daß diese Quellen aus einem Kalkgebiet kommen, entsprechend hoch, was aber der Qualität als Trinkwasser eher zuträglich ist. Erwähnenswert ist noch die Tatsache, daß Quellen, die aus der Grenze zwischen der Verwitterungsdecke und den Kalkschiefern kommen, stark mit Eisen angereichert sind und daß diese Wässer, die zwar wesentlich weicher sind, den Nachteil aufweisen, daß eine Enteisung durchgeführt werden muß.

Die Beeinflussung der Quellen durch Oberflächenwasser bei stärkeren Niederschlägen ist verhältnismäßig gering, da sich die Veränderungen in der Schüttung erst 40—60 Stunden nach erfolgten Niederschlägen zeigen. Für Quellen, die unmittelbar im Bereich der natürlichen Quellläufe gefaßt werden, ist es allerdings notwendig, daß die Abdeckung entsprechend mächtig ist und daß die Oberflächenwässer durch geschlossene Gerinne sofort abgeführt werden.

Beim Aufschluß der ca. 15 km langen Leitungskünetten über den ca. 4 km langen Höhenzug des Weizberges von der Streusiedlung Formegg über den Eckwirt nach Jaritzberg, bei der Abzweigung der Landesstraße ins Schirningtal, zeigte sich, daß hier tiefgründig verwitterte jungtertiäre Sedimente vorhanden sind, die auffällig viel Eisenhydroxyd führen. Teilweise sind die hier anstehenden schluffigen Sande bis auf 2—3 m unter Geländeoberkante verlehmt. Dies erklärt auch, daß die dort vorhandenen Hausbrunnen zum Teil kein qualitativ befriedigendes Trinkwasser liefern.

Der im Bau befindliche Hochbehälter befindet sich auf einer idealen ebenen Waldlichtung, unmittelbar vor dem Steilabfall des Höhenrückens von Formegg zum Weizberg. Hier stehen die hellgelben Kalkschiefer im Untergrund an. Der Hochbehälter soll 200 m<sup>3</sup> fassen.

Die Entleerungsleitung mit einem Höhenunterschied von 150 m zum Fallentschbach ist als Druckleitung ausgebildet. Dadurch können die tief im Fallentschbach austretenden Quellwässer in weiterer Folge auch in diesen Hochbehälter befördert

werden. Von diesem Hochbehälter aus kann, sofern die notwendigen Wassermengen aus dem Gebiet des Fallentschbaches noch gefaßt werden, ohne Einsatz von Pumpen mit idealen Gefällsverhältnissen Trinkwasser bis in das ca. 8 km entfernte St. Oswald bei Plankenwarth und nach Neudorf bei Rohrbach geleitet werden. Auch das Schirningerbecken könnte auf Grund der vom Verfasser angestellten hydrogeologischen Generalstudie technisch und wirtschaftlich günstig von hier aus mit Trink- und Nutzwasser versorgt werden.

Dem Fallentschbach mit seinen Quellen kommt deshalb hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich eine besondere Bedeutung zu, da das hier im Waldgebiet sich sammelnde Wasser geschlossen durch die Klüftigkeit der Kalke für die Wassernutzung bis in das mittlere Liebochtal verloren ist. Der Liebochbach führt nämlich in Zeiten großer Trockenheit in seinem mittleren Lauf zwischen Stiwill bis in das Gemeindegebiet von St. Bartholomä weniger Wasser als der Fallentschbach in seinem Mittellauf.

Stiwill selbst und auch die südlich angrenzenden Teile des Jaritzberges beziehen ihr Wasser aus Wasserspenden aus dem Grenzbereich zwischen dem Sockel der paläozoischen Gesteine und den darüberlagernden, ca. 30—40 m mächtigen jungtertiären Sedimenten, die die Funktion von wasserführenden Schichten auf Grund ihrer korngrößenmäßigen Zusammensetzung haben. Die Qualität dieser Wässer ist allerdings durch ihre hohe Eisenführung unterschiedlich.

### Zusammenfassung

Durch die praktischen, hydrologischen Zielsetzungen einer systematischen Erfassung der möglichen Wasserspenden in einem Gebiet, wo noch vor kurzer Zeit Wassernotstand herrschte, sind in dem an sich gut erforschten Gebiet des Grazer Paläozoikums, unmittelbar im Nordwesten von Graz, wieder eine ganze Reihe von interessanten geologischen und hydrogeologischen Details offenkundig geworden, die zu einer weiteren Bearbeitung anregen.

Es wurde hier versucht, eine Fülle von Einzelbeobachtungen, die beim praktischen Aufschluß dieser Wasserspenden bekannt wurden, aufzuzeigen, mit dem Zwecke, darauf hinzuweisen, daß die praktische Hydrogeologie vor den Toren von Graz ein beachtenswertes und befriedigendes Betätigungsfeld hat.

Es sollte mit diesem Beitrag auch gezeigt werden, daß für die Lösung derartiger diffiziler Wasserversorgungsprobleme nur der Hydrogeologe prädestiniert ist. Der Brunnenbauer und die Installationsfirma, aber auch die Wasserleitungsprojektanten sind für derartige Probleme sicher überfordert. Nur das hydrogeologische Detailwissen über die mögliche Wasserführung im Untergrund, unter Bedachtnahme auf die regionalen geologischen und morphologischen Gegebenheiten, kann hier zum Ziele führen. Es gehört daher auch zu den vornehmsten Aufgaben des technisch tätigen Hydrogeologen, die Art und die Örtlichkeit der Quelfassungen zu bestimmen, weil diese Frage im klüftigen und aus wechselnden Gesteinen zusammengesetzten Gebirge über Erfolg oder Mißerfolg eines Wasserversorgungsprojektes entscheidet.

Aus dem hier dargelegten Beispiel geht auch hervor, daß es wasserwirtschaftlich sehr wohl zielführend ist, derartige Projekte durch die öffentliche Hand zu fördern, weil durch einen sinnvollen Zusammenschluß von kleineren Wasserverbänden die gesamte Region zwischen der Gleinalpe und der Kainach bzw. bis

zur Mur ein Netz von zeitgemäßen Trinkwasserversorgungsanlagen erhalten kann, das auch Aussicht auf eine baldige Realisierung hat.

### Literatur

FLÜGEL, H. W.: Die Geologie des Grazer Berglandes, 2. neubearb. Auflage. — Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, Sh. 1, 288 S., 47 Tab., 6 Textabb., Graz 1975 (cum lit.).

Anschrift des Verfassers: Dr. Gottfried КОРЕТЗКҮ, Hugo-Wolf-Gasse 10/XVI,  
8010 Graz, Österreich.



# Pfenderina (Foraminifera) from the Jurassic Sediments of Ethiopia

Aziz T. MANSOUR, Houston  
With 4 plates

## Abstract

The genus *Pfenderina* HENSON, 1948 represents an important stratigraphic marker in the Jurassic sediments of Ethiopia. A cf. form of a known species (*Pfenderina salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962) is recorded and illustrated from Bathonian and younger strata. The taxonomic background of the genera *Pfenderina* and *Pseudopfenderina* HOTTINGER, 1967 is discussed in the light of the Ethiopian material to check the validity of the latter genus.



Fig. 1. LOCATION MAP

## Introduction

This study is a part of an all-out study of the Jurassic foraminifera in the surface and subsurface sediments of Ethiopia. It was carried out between the years 1971 and 1973 within the general exploration program of Tenneco Oil Co. in Ethiopia. Later in 1972, Texaco Inc. and Standard Oil Co. of California joined Tenneco as partners in its efforts to explore for oil and gas in this country.

The material of this study derives from four deep wells and three surface sections (see text—figure 1). All of the thin sections used here are stored in the research laboratory of Tenneco Oil Co. in Houston.

The genus *Pfenderina* occurs in Ethiopia together with several other members of the so-called "Middle Eastern Jurassic fauna" such as *Pseudocyclammina jaccardi*, *Everticyclammina virguliana*, *Kurnubia palastinensis*, *Trocholina palastinensis*, *Rbapydionina deserta-amiji*, *Orbitopsella praecursor* . . . etc. It was, however, chosen to be studied separately because of its stratigraphic importance and the somewhat intermingling of its different species as shown in the literature. So, to attain a clear picture of its taxonomic background, a chronologic review of the literature is presented below.

We feel deeply indebted to the managements of Tenneco Oil Co., Texaco Inc. and Standard Oil Co. of California for permission to publish this paper. Particular thanks are due Tenneco Oil Co. for allowing us to use their research facilities and work on this paper on company's time. We also would like to express our personal thanks to Dr. Jan E. VAN HINTE (EPR-Houston) for reviewing the manuscript. Thanks are also due Mrs. M. M. RAINWATER for editing and typing the text and to my wife for her help in translating many French references. Thanks are also due Mr. F. R. ALLCORN (Tenneco's Senior Technician) for his valuable technical help.

### **Pfenderina and related forms as seen and dealt with by different authors**

*Pfenderina* was erected by HENSON in 1948 based on *Eorupertia neocomiensis* described by PFENDER in 1938 from the Valanginian of Provence (France) and on his own material from the Middle East. PFENDER (1938) stated in her French description that a characteristic feature of this form is the reticulate "wall", and although she used the word "muraille" for wall, we believe that she was referring to the axis (or the central column) rather than to the wall as being reticulate or „guilloche“. This is simply because she referred to fig. 7, pl. XVI in her paper which shows a clear reticulate axis and not wall. HENSON (1948a) made the same observation and he concluded that: p. 610 "PFENDER evidently misinterprets the orientation of her section shown in pl. XVI, fig. 7. . .".

His diagnosis of the genus is largely the same as that of Pfender for her *Eorupertia neocomiensis*. He described the axial core or the central column as: p. 609 "... due to thickening of shell material which occasionally shows an irregular, reticulate texture in sections; . . .".

SMOUT and SUGDEN (1962) erected the family *Pfenderinidae* to include the genera *Pfenderina* Henson, 1948, *Kurnubia* Henson, 1948 and *Meyendorffina* AROUZE and BIZON, 1958. This family was later reduced in rank to a subfamily by LOEBLICH and TAPPAN (1964). SMOUT and SUGDEN saw PFENDER's (1938) original "aspect

guilloche" of the chamber walls as caused by either a secondary growth of rhombic crystals or by: p. 582 "...the perforations of the apertural part of the septa and by the labyrinthic passages in the endoskeleton of the central part of the chamber..." They gave this very clear and detailed description of the inner structural elements of the tests of *Pfenderina*: p. 584 "Typically the chambers are low and rather oval, each occupying a considerable part of the base and overlapping the axis of coiling. An outer, crescentic part of the chamber is empty and the part of the septum covering this is imperforate. The large remaining inner part of the chamber is occupied by endoskeleton in which there are labyrinthine passages and the corresponding part of the septum is perforated by the pores of the cribrate apertures." They then went on to state that: p. 584 "...the aggregation of the infilled parts of the chambers form an axial columella." On the same page (p. 584) they wrote that: "In the earlier chambers of the test the labyrinthine passages were infilled during the life of the organism and the columella ... is solid in this part. A secondary intercameral foramen is present in each septum in the form of a circular aperture. These foramina lie in what amount to a spiral groove in the margin of the columella." They also cite, with clarity and simplicity, several generic differences between *Pfenderina* und *Kurnubia* where, as HENSON (1948) originally suggested, the absence of subepidermal partitions in *Pfenderina* is the major difference between both genera.

BRUN in a paper published in 1962 on a Middle Liassic new species (*Pfenderina butterlini*) from Morocco apparently accepted PFENDER's description of the wall as being "guilloche" or reticulate and went on to establish that *Pfenderina* does possess subepidermal partitions contrary to HENSON's original diagnosis of the genus. These subepidermal partitions are particularly visible in the tangential sections. They are perpendicular to the principal partitions and never reach the center of the test. This, according to BRUN, makes the difference between *Pfenderina* and "*Valvulinella*" or *Kurnubia* difficult to establish because HENSON (1948 a) cited the absence of subepidermal partitions in *Pfenderina* as the only difference between both genera. BRUN maintained the "*Valvulinella*" described by HENSON (1948 a) still as an independent genus from *Kurnubia* but he admitted their similarity. For simplicity, we regard here his remarks on "*Valvulinella*" as pertaining to *Kurnubia*, because the validity of *Kurnubia* to include HENSON's "*V. jurassica*" and "*V. wellingsi*" is out of the question. According to BRUN's examination of many sections of *Kurnubia* it appears to him that in this form the subepidermal partitions perpendicular to the epidermis do not reach the septa. They form rather "subepidermal alveolar canals" similar to those observed in *Pseudocyclamina*. According to BRUN also, there exists some ambiguity in HENSON's description of *Kurnubia* because HENSON writes that in *Kurnubia* "there is a well-marked sub-epidermal cellular layer". BRUN then stated that we cannot talk about true subepidermal partitions in *Kurnubia*, but rather about subepidermal alveolar canals. In *Pfenderina*, on the contrary, although the secondary partitions do not reach the center, they are perpendicular to the epidermis and the septa. He then points out that the micropaleontological vocabulary should differentiate between "subepidermal partitions" and "subepidermal alveolar canals". This difference, according to him, is essentially the following: subepidermal partitions perpendicular to the epidermis and to the septa as in *Pfenderina*, versus subepidermal alveolar canals as in *Kurnubia*. Apparently unaware at the time of his paper, of

SMOUT and SUGDEN's paper, BRUN then emended the genus *Pfenderina* on the basis of his new species *Pfenderina butterlini*. His emendation largely stresses the presence of secondary subepidermal partitions which are perpendicular to the principal partitions.

SARTONI and CRESCENTI (1962) identified a new species, *Pfenderina salernitana*, from Bathonian and Callovian strata of the Southern Appennines which is closely related to *Pfenderina neocomiensis* (PFENDER 1938). This new species comes closest to our Ethiopian material both stratigraphically and paleontologically. However, some differences in the internal structure of both materials restrained us from identifying our material as *Pfenderina salernitana* sensu strictu. These differences and our views of *P. salernitana* will be discussed elsewhere in this paper.

REDMOND (1964) in his paper on the *Pfenderinidae* of the Jurassic of Saudi Arabia stated that: p. 251 "the endoskeletal material mentioned by SMOUT and SUGDEN does not lie within the chamber cavity itself but, instead, outside of it, forming a labyrinthine filling between a porous apertural plate and the anterior wall of the corresponding chamber". More important, REDMOND (1964) subdivides the *Pfenderinidae* on the basis of the presence or absence of the secondary infilling of the labyrinthine passages in the central part of the test, into two subfamilies, *Pfenderiniinae* with secondary infilling during the life of the individual, and *Kurnubiinae* without. REDMOND then emended the genus *Pfenderina* on the basis of his above stated observation that the endoskeletal material lies outside the chamber cavity. He further notes that BRUN's (1962) *Pfenderina butterlini*: p. 255 "is neither a *Pfenderina* nor a member of the *Pfenderina* nor a member of the *Pfenderiniinae*, and thus cannot serve as a valid basis for emendation of *Pfenderina*". He cites the following differences to support his point of view: *Pfenderina butterlini* BRUN (1962): p. 255 "lacks the apertural apparatus of the *Pfenderinidae*", "shows no evidence of secondary infilling during the life of the individual", the "walls of the chambers do not show the characteristic outward taper of the *Pfenderiniinae*" and finally "there is no semblance of a solid central core or subcameral tunnel". REDMOND then describes two new species of *Pfenderina* (*gracilis* and *inflata*) of which he publishes photographs of isolated specimens but no thin sections. The outside appearance of this new material, its stratigraphic range and its geographical location (just across the Red Sea) make it highly probable that this Saudi Arabian material and our Ethiopian material are identical. The lack of thin-section photographs of this material does not permit the justification of this probability at this time. REDMOND also records two other better known species (*neocomiensis* and *trochoidea*) and erects three new genera: *Pfenderella*, *Sanderella* and *Steinevella* belonging to the same new subfamily *Pfenderiniinae*.

Finally, based on the remarks made by REDMOND (1964) about *Pfenderina butterlini* BRUN, 1962, HOTTINGER (1967) erected the new genus *Pseudopfenderina* and chose BRUN's *P. butterlini* as his genotype. HOTTINGER had many random sections of identical material from the Middle Liassic of Morocco. He suggested that his and BRUN's Liassic forms represent the older member of the family of *Pfenderinas* which differs from the genera *Pfenderina* and *Pfenderella* in the absence of a "subcameral tunnel" as defined by REDMOND. HOTTINGER further gives an astonishingly detailed description of the internal structure of *Pseudopfenderina* based on his

random sections. He disagrees with BRUN on the subject of the subepidermal partitions for he stated in his valuable work on the Moroccan Mesozoic foraminifera that: p. 87 (translated from the French) "The chamber has simple external partitions. It does not possess supplementary exoskeletal structural elements like those *Kurnubia* and *Praekurnubia* have". His description of the endoskeletal columellar apparatus resembles in general, the description of SMOUT and SUGDEN'S (1962) new family *Pfenderinidae*. HOTTINGER'S description seemingly differs from SMOUT and SUGDEN'S in the absence of a "secondary intercameral foramen" sensu SMOUT and SUGDEN (1962) or "subcameral tunnel" sensu REDMOND (1964). HOTTINGER (1967) also mentioned the presence of a new species *Pseudopfenderina* (n. sp.) in his Moroccan material. According to him, it is always accompanied by *P. butterlini* but a smaller form than the true *P. butterlini*. For lack of enough material, he did not give a detailed description of this new species. It is worth mentioning here that a very similar small-size form was recognized in our Ethiopian material. In the beginning stages of our research, it was mainly differentiated from the more abundant, larger and better developed *Pfenderina* by its smaller size, and was designated by the unofficial name "dwarf *Pfenderina*" (group no. 3 in the following pages). It will be discussed in more detail elsewhere in this paper.

The Ethiopian material lacks any isolated specimens, and although this material is very abundant, the fact that there are no isolated specimens for oriented thin sections, limited very much our ability to study and record their internal structure, and accordingly to examine the many small details described by the many authors and to check their validity. Therefore, it is worth mentioning here that our identification of the Ethiopian material is based solely, like most paleontological works, on comparison of published descriptions and photographs. We have not seen or compared our material with actual specimens described in the literature.

The basic differences between *Pfenderina* and *Pseudopfenderina* (= *Pfenderina butterlini*) originated by REDMOND (1964) and later adopted by HOTTINGER (1967) are not clear at all. From the literature, it is evident that the description of the endoskeletal columellar elements by SMOUT and SUGDEN (1962) of the family *Pfenderinidae* which includes *Pfenderina* but not *Pseudopfenderina*, as REDMOND (1964) indirectly indicated, and the description of the same elements by HOTTINGER (1967) of the genus *Pseudopfenderina* are largely the same, excluding the difference of a "solid" columella for *Pfenderina* versus a "spongy" columella for *Pseudopfenderina* which seems to be one of the main differences between both genera. In this connection it is important to state that although our Ethiopian material does not allow us to confirm or deny definitely that the columella was already "solid" during the life of the individual as in *Pfenderina* or "spongy" as in *Pseudopfenderina* (that means if the labyrinthine passages within the columellar region were or were not infilled with secondary deposition during the life of the individual), we strongly tend to believe that it was solid. However, we regard this whole argument of a "solid" versus a "spongy" columella to characterise both genera as an invalid argument because, for example, the original *Pfenderina neocomiensis* (PFENDER), 1938 shows a clear reticulate, in other words "spongy" columella, and *Pfenderina salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962 has also the same feature (although to a lesser extent). It is also evident from the published

photographs of both genera by the different authors that both share the presence of a "spiral groove" or "subcameral tunnel" which puts the validity of the genus *Pseudopfenderina* in doubt for the absence of this feature is the main factor behind the erection of this new genus. These facts and the fact that HOTTINGER's description (1967) of *Pseudopfenderina* resembles very much that of SMOUT and SUGDEN's (1962) of *Pfenderina* lead us to believe that we do not actually have *Pseudopfenderina* and *Pfenderina* as separate genera, but in fact we are dealing with one and the same genus, in which case of course, it will be *Pfenderina*. Also the fact that our material identifies, in lesser or larger degree, with some individual specimens which are published as different species (e.g. *Pfenderina butterlini* in BRUN, 1962, pl. 2, fig. 3 — *Pfenderina neocomiensis* in SMOUT and SUGDEN, 1962, pl. 75, no. 1 middle specimen — *Pfenderina salernitana* in SARTONI and CRESCENTI, 1962, part of pl. 16 — *Pfenderina* sp. in DERIN and REISS, 1966, no. 70 — *Pseudopfenderina butterlini* in HOTTINGER, 1967, pl. 19) lends much support to our suggestion that we are dealing with one and the same genus with different stratigraphic range according to the geographic locality. We have in Ethiopia some questionable Bajocian occurrences, which if enough material is found, could throw some light on this problem and answer the question if *Pfenderina* has originated in Middle Liassic times and has managed to survive and evolve up till the Bathonian and probably higher to the Neocomian (see stratigraphic range of the Ethiopian material).

### Introduction to the systematics

In the beginning stages of our exploration, and for the benefit of our day to day work requirements, we subdivided the Ethiopian fauna into four different groups.

These four groups were:

1. The large abundant forms with 4—6 chambers in the equatorial section similar to those illustrated by BRUN, 1962, pl. 2, no. 3 (as *Pfenderina butterlini*); SARTONI and CRESCENTI, 1962, part of pl. 16 (as *Pfenderina salernitana*); DERIN and REISS, 1966, no. 70 (as *Pfenderina* sp.); HOTTINGER, 1967, pl. 19, most of the axial and tangential sections<sup>1</sup> (as *Pseudopfenderina butterlini*); and BRUN, 1969, pl. 2, no. 14 and 15 (as "*Pfenderina*" *butterlini*).
2. The large much fewer forms (than gr. no. 1) with 7—8 chambers in the equatorial section similar to those illustrated by PFENDER, 1938, pl. 16, no. 3, 4 and 5 (as *Eorupertia neocomiensis*); DUFAURE, 1958, pl. 2, no. 5 (as *Pfenderina neocomiensis*); HOTTINGER, 1967, pl. 19, most of the equatorial sections (as *Pseudopfenderina butterlini*).

Although the number of chambers per whorl is considered to have the least taxonomic value, we made this subdivision because more than 80% of our fauna lies within the first group which has an average of five chambers per whorl and the appearance of a very few forms with an average of more than seven chambers per whorl indicated at that time, an independent group.

---

<sup>1</sup> The citation of similarity of certain sections of HOTTINGER's photographs with both our groups 1 and 2 is an „evidence“ that we are dealing, basically, with one and the same species in both groups.

However, a major difference between group no. 2 and *Pfenderina neocomiensis* sensu strictu is the central column which in our material is much smaller in diameter and less clearly reticulate than the true *P. neocomiensis*, as is also the case in group no. 1 and its similar above-mentioned published forms.

3. The "dwarf fauna" which occurs abundantly for example, in Marda Pass surface section (Lat.  $9^{\circ} 25'$  N., Long.  $42^{\circ} 45'$  E.). These are tiny specimens which usually have three to four and rarely five chambers in the equatorial section and in many cases are coated with oolites (see pl. 2, fig. 9, 10 and pl. 3, fig. 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13 and 14). The fact that these "dwarf forms" occur always in association with, or immediately overlying or underlying the large typical forms of group no. 1 led us to the assumption that they are either phylogenetically closely related to or actually are a true but younger generation of *Pfenderina*. In a particular case, in Buri surface section (lat.  $8^{\circ} 45'$  N., long.  $42^{\circ} 50'$  E.) they were found homogeneously spar cemented with pellets of the same tiny size (see pl. 3, fig. 13, 14 and pl. 4, fig. 1). This might indicate that, in some cases, the underwater currents separated the two generations (the adults and the youngsters) according to their size and later deposited them in different places.

MACOIN, SCHROEDER and VILA (1970) described and illustrated several forms of *Campanellula capuensis* from the Barremian of Algeria. This form, in some photographs of the equatorial section (especially pl. 2, no. 12) resembles, to some extent, our "dwarf fauna" but differs from it in the following characteristics:

- a) the initial spire of *C. capuensis* is typically trochospiral, whereas in our case, this characteristic feature is not recognized (see pl. 2, fig. 9).
- b) the adult test of *C. capuensis* is multi or triserial, whereas ours is exclusively biserial.
- c) the central column in *C. capuensis* (if there is any true one) is less developed and defined than in our case.

4. The tiny misleading forms, which were first thought to belong to group no. 3 because of their tiny size and their occurrence with them. But a closer look (with a larger magnification) showed that they were unrelated to *Pfenderina*, and were actually dwarf specimens of *Verneuilinoides* (see pl. 4, no. 5, 6, 7, 8, 9 and 12), and accordingly they were excluded from our study.

The reason why we identified our fauna in this paper as a cf. form of *Pfenderina salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962 is because we consider it to be identical with only a part of SARTONI and CRESCENTI's original population of that species (see pl. 1, fig. 3). The rest of SARTONI and CRESCENTI's material including holotype is different from ours and is more closely related to *Pfenderina neocomiensis* (PFENDER, 1938). It differs basically from our material in the larger size of the test, in the larger central column and in having more chambers per whorl. DERIN and REISS (1966) published some material from Israel which shows these differences. In their photograph no. 70, they have a specimen exactly identical with our material which they identified as *Pfenderina* sp., and in photograph no. 71, they have a specimen very close to the holotype of *Pfenderina salernitana* which they properly identified as *P. salernitana*.

A grand possibility also exists that our material could be identical with REDMOND's (1964) new species from Saudi Arabia (*Pfenderina gracilis*) but because he published only photographs of isolated specimens and no thin sections we

could not compare both material as we stated before, and accordingly we did not describe our fauna as a new species.

### Systematics

Family Pavonitidae LOEBLICH and TAPPAN, 1961

Genus *Pfenderina* HENSON, 1948

*Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962

Plate 1, fig. 1, 4, 6, 7, 9 and 10; Plate 2, fig. 2-10;

Plate 3, fig. 1, 3-5, 7-14; Plate 4, fig. 1-4

For comparison:

1962 *Pfenderina salernitana* — S. SARTONI and U. CRESCENTI, part of pl. 16.

1966 *Pfenderina* sp. — B. DERIN and Z. REISS, no. 70.

Correlation with other species: Our forms differ from *Pfenderina neocomiensis* (PFENDER), 1938 mainly through their smaller and less reticulate central column (columella). Also more than 80% of our material has fewer chambers per whorl (average 5) than *P. neocomiensis* (average 7). In some individual cases we encountered other forms with seven chambers or more with a relatively larger central column (see pl. 3, fig. 1 and 3 and pl. 4, fig. 3). Also the younger age of the forms (L. Cretaceous and Kimmeridgian) suggests that they are more closely related to the predominately L. Cretaceous *P. neocomiensis* than they are to the older *Pfenderina salernitana*. But because we lack any free specimens for oriented thin sections, we are unable at this time to determine their proper identity.

Our forms further are easily differentiable from *Pfenderina trochocidea* SMOUT and SUGDEN, 1962 which is so low trochospiral that, in thin sections, it appears almost planispiral.

As we stated above, we believe that *Pfenderina salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962 should be divided into two forms: one closely related to our fauna (see pl. 1, fig. 3), and the second is very much related to *P. neocomiensis* (PFENDER), 1938, a fact which SARTONI and CRESCENTI also admitted in their paper where the different stratigraphic range of their fauna (Bathonian — Callovian) helped justify the erection of their new species.

Another species to consider in our correlation is *Pfenderina butterlini* BRUN, 1962 which in spite of BRUN's erroneous observation that it shows subepidermal partitions, its choice by HOTTINGER (1967) as the genotype of *Pseudopfenderina* and its older stratigraphic range (Pliensbachian), shows a striking similarity to our fauna (see pl. 1, fig. 2) and the fauna recorded by DERIN and REISS (1966) from the Bathonian of Israel and identified as *Pfenderina* sp. As we showed in the generic review of *Pfenderina*, the erection of the genus *Pseudopfenderina* HOTTINGER, 1967 is not justified and accordingly the name *Pfenderina butterlini* BRUN, 1962 should regain its validity.

### Stratigraphic range of the Ethiopian material

The Ethiopian *Pfenderinas* derive from Bathonian and younger strata. This age dating is based on the fact that the *Pfenderinas* are always directly overlain by *Kurnubia palastinensis* HENSON, 1948 which, in its turn is occasionally overlain by

*Pseudocyclammina jaccardi* (SCHRODT, 1894). Below our *Pfenderinas* comes a relatively thick, scarcely fossiliferous interval of probable Bajocian to Upper Liassic age. Then the Middle Liassic follows with its unmistakable *Orbitopsella praecursor* (GÜMBEL, 1872).

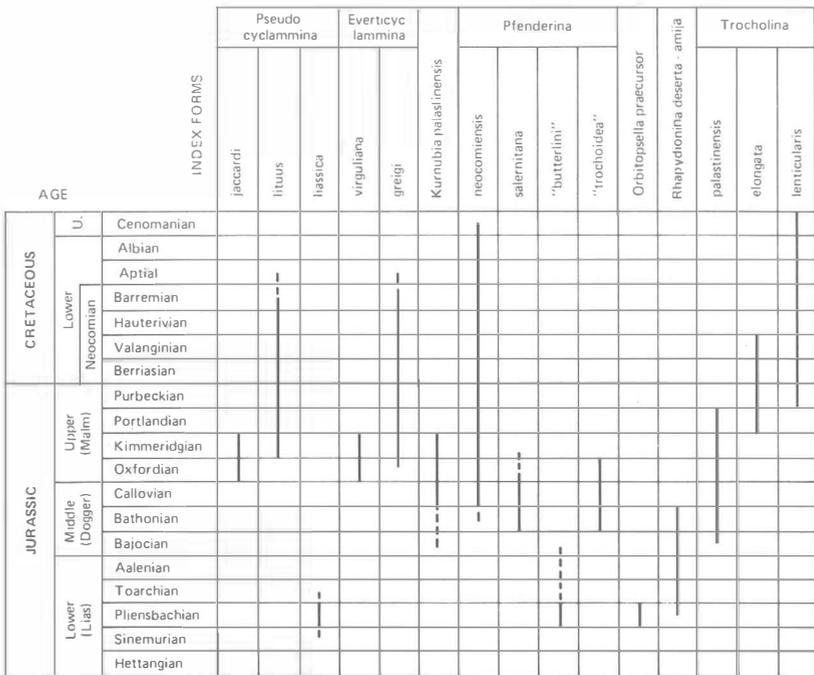


Fig. 2. Biostratigraphic range chart of some important index Foraminifera of the Jurassic and Lower Cretaceous in Ethiopia and worldwide.

In some particular sections we even have some *Pfenderinas* of probable younger age (than Bathonian). These sections are:

1. Abred well no. 1 (at 1560 m) with *Pseudocyclammina jaccardi*. Age: Upper Oxfordian — Kimmeridgian.
2. Callafo well no. 1 (at 3830-3840 feet). Age: Kimmeridgian (see pl. 3, fig. 3).
3. Calub well no. 1 (at 3660—3780 feet). Age: Lower Cretaceous (see pl. 3, fig. 1).
4. Ganale Doria surface section (samples I-27-3 and 4) with *Pseudocyclammina jaccardi*. Age: Upper Oxfordian — Kimmeridgian (see pl. 2, fig. 7 and 8).

Although the record of stratigraphic range of such a fauna in different parts of the world lends much support to the idea that these younger occurrences are in situ, we also leave the possibility of the reworking of the material open until solid proof to the contrary is found.

We also have few questionable occurrences of the Ethiopian *Pfenderinas* in strata believed to be of Bajocian age (see pl. 3, fig. 4 and 5).

## Bibliography

- F. BARBIERI: Jurassic microfacies in Western Somalia. — Riv. Ital. Paleont., vol. 74, no. 3, pp. 805—826, pls. 57—61, text — figs. 1—3, Milan 1968.
- M. BEYTH: Paleozoic-Mesozoic Sedimentary Basin of Mekele Outlier, Northern Ethiopia. — Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., vol. 56, no. 12, pp. 2426—2439, text — fig. 1—7, table 1, Tulsa 1972.
- F. BOZORGNIA and S. BANAFI: Microfacies and microorganisms of Paleozoic through Tertiary sediments of some parts of Iran. — 22 pp., 158 pls., National Iranian Oil Co., Tehran 1964.
- L. BRUN: Note sur le genre *Pfenderina* HENSON, 1948, Description d'une nouvelle espèce (*Pfenderina butterlini*) dans le Domerien du Maroc. — Revue de Micropaléontologie, vol. 5, no. 3, pp. 185—190, pls. 1—2, Paris 1962.
- L. BRUN: Etude biostratigraphique du Jurassique de la bordure atlasique Nord-Orientale et des Plis Marginaux (Maroc Oriental). — Proceedings 3rd African Micropal. Coll., pp. 185—213, pls. 1—7, text — figs. 1—2, table 1—3, NIDOC, Cairo 1969.
- P. CANUTI and C. PIRINI-RADRIZZANI: Micro-facies from the upper portion of the Antalo Limestone (Blue Nile Sequence-Ethiopia). — Proceedings 5th African Micropal. Coll., Addis Ababa 1972 (in press).
- W. O. CLIFT: Sedimentary history of the Ogaden District, Ethiopia. — 20th International Geological Congress, Symposium on Oil and Gas Reservoir, vol. 1 Africa, pp. 89—112, text — figs. 1—4, table 1, Mexico City 1956.
- B. DERIN and Z. REISS: Jurassic microfacies of Israel. — Israel Inst. Petroleum, Special publication, 43 pp., 320 photographs, 2 tables, Tel-Aviv 1966.
- B. DERIN and E. GERRY: Jurassic biostratigraphy and environments of deposition in Israel. — Proceeding 5th African Micropal. Coll., Addis Ababa 1972 (in press).
- PH. DUFAURE: Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique et du Néocomien, de l'Aquitaine à la Provence. — Rev. Micropaléontologie, vol. 1, no. 2, pp. 87—115, pls. 1—6, text — fig. 1, Paris 1958.
- F. R. S. HENSON: New *Trachamminidae* and *Verneulinidae* from the Middle East. — Ann. Mag. Nat. Hist., ser. 11, vol. 14, pp. 605—630, pls. 14—18, text — fig. 1, London 1948 (a).
- F. R. S. HENSON: Larger Imperforate Foraminifera from South Western Asia. — Monogr. British Mus. (Nat. Hist.), 127 pp., 16 pls., 16 text — figs., London 1948 (b).
- H. HÖLDER: Jura, Handbuch der stratigraphischen Geologie Bd. 4. — 603 pp., 158 text — figs., 43 tables, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1964.
- L. HOTTINGER: Foraminifères imperforés du Mésozoïque marocain. — Notes et memoires du Service Geologique du Maroc, no. 209, 169 pp., 20 pls., 61 text — figs., Rabat 1967.
- P. MACOIN, R. SCHROEDER and J.-M. VILLA: *Campanellula capuensis* DE CASTRO (Foram.), position systematique et repartition stratigraphique en Algerie. — Proceedings 4th African Micropal. Coll., pp. 248—267, pls. 1—2, text — figs. 1—4, Abidjan (1970).
- W. MAYNC: Microbiostratigraphy of the Jurassic of Israel. — Geol. Surv. Israel, Bull. no. 40, 56 pp., 15 pls., 3 tables, Jerusalem 1966.
- MICROFACIES ITALIANE. — 35 pp., 145 pls., 2 maps, Agip Mineraria, (San Donato) Milan 1959.
- E. PERCONI: Microfacies of the Triassic and Jurassic sediments of Spain. — 63 pp., 123 pls., 11 text — figs., E. J. Brill, Leiden 1968.
- J. PFENDER: Les Foraminifères du Valanginien provençal. — Bull. Soc. Geol. France, vol. 8, 5th series, no. 3—4, pp. 231—242, pls. 13—16, Paris 1938.
- R. W. POWERS: Arabian Upper Jurassic carbonate reservoir rocks. — in Class. of carbonate rocks, a symposium, Am. Assoc. Petroleum Geologists, Memoir 1, pp. 122—192, pls. 1—8, text — figs. 1—23, table 1, Tulsa 1962.
- C. D. REDMOND: The foraminiferal family *Pfenderinidae* in the Jurassic of Saudi Arabia. — Micropaleontology, vol. 10, no. 2, pp. 251—263, pls. 1—2, New York 1964.
- R. SAID and M. G. BARAKAT: Jurassic microfossils from Gebel Maghara, Sinai, Egypt. — Micropaleontology, vol. 4, no. 3, pp. 231—272, pls. 1—6, text — figs. 1—5, table 1, New York 1958.

- R. SAID and M. G. BARAKAT: Foraminifera from subsurface Jurassic rocks of Wadi El-Natrun, Egypt. — Egypt. Acad. Science Proceedings, vol. 13, pp. 1—8, text — figs. 1—9, Cairo 1959.
- S. SARTONI and U. CRESCENTI: Ricerche biostratigrafiche nel Mesozoico dell'Appennino Meridionale. — Giorn. Geol., vol. 29, pp. 159—302, pls. 1—42, table 1, Bologna 1962.
- A. H. SMOUT and W. SUGDEN: New information on the foraminiferal genus *Pfenderina*. — Palaeontology, vol. 4, part 4, pp. 581—591, pls. 73—76, text — fig. 1, London 1962.
- TREATISE ON INVERTEBRATE PALEONTOLOGY. — Part C, Protista 2, vol. 1, R. C. MOORE editor, The Geological Soc. of America and the University of Kansas Press, New York, 1964.
- C. VIOTTI: Resultats stratigraphiques du sondage Puerto Cansado 1 du Bassin Cotier de Tarfaya. — in Le Bassin Côtier de Tarfaya (Maroc meridional), vol. 1 Stratigraphie, Service Geol. Maroc Mem. No. 175, pp. 225—249, pls. 1—6, Rabat 1966.

Address of the author: Dr. A. T. MANSOUR, Tenneco Oil Co., P. O. Box 2511, Houston, Texas 77001, USA.

### Plate 1

- Fig. 1: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, 5120—30 feet, Upper Bathonian, equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 2: "*Pfenderina*" *butterlini* BRUN, 1962, original photograph after BRUN (1962).
- Fig. 3: *Pfenderina salernitana* SARTONI & CRESCENTI, 1962, original photograph after SARTONI and CRESCENTI (1962) from the L. Callovian — U. Bathonian of Italy for comparison with fig. 1, equatorial section, x 34.
- Fig. 4: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5215 feet), Bathonian, axial section (partly tangential in the upper portion), approx. x 80.
- Fig. 5: "*Pfenderina*" *butterlini* BRUN, 1962, original photograph after BRUN (1962) from the Middle Liassic of Morocco for comparison with fig. 4, axial section (partly tangential in the upper portion), x 60.
- Fig. 6: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5215 feet), Bathonian, equatorial and axial sections, approx. x 20.
- Fig. 7: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5189—5228 feet), Bathonian, equatorial and tangential sections, approx. x 20.
- Fig. 8: *Pfenderina salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, original photograph after SARTONI and CRESCENTI (1962) from the L. Callovian — U. Bathonian of Italy, equatorial sections (slightly oblique), x 34.
- Fig. 9: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (around 5200 feet), Bathonian, equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 10: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2, (5215 feet), Bathonian, both axial section (lower specimen is magnified in fig. 4), approx. x 20.

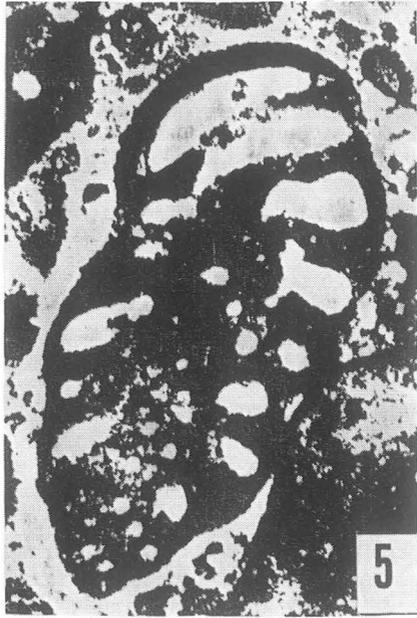
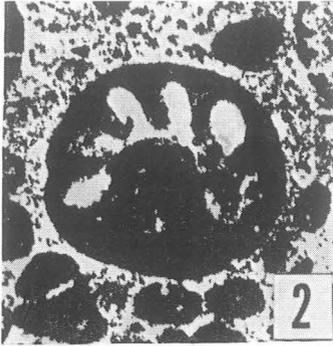
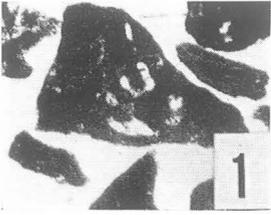


Plate 1

## Plate 2

- Fig. 1: *Pseudopfenderina butterlini* (BRUN), 1962, original photograph of a model reconstructed by Hottinger (1967), tangential and oblique sections.  
HOTTINGER meant to exaggerate the free height of the chambers in the umbilical area to show the pillars and the complexity of this zone. Original magnification was  $\times 5000$  (see attached cm. scale).
- Fig. 2: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5189—5228 feet), Bathonian, axial section (partly tangential in the upper portion), approx.  $\times 80$ .
- Fig. 3: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5215 feet), Bathonian, axial and equatorial sections, approx.  $\times 20$ .
- Fig. 4 and 5: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5189—5228 feet), Bathonian, both axial sections (fig. 4 slightly tangential in the upper portion), approx.  $\times 20$ .
- Fig. 6: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5215 feet), Bathonian, all three specimens axial sections (the lower specimen with more than 6 chambers), approx.  $\times 20$ .
- Fig. 7 and 8: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962 and *Pseudocyclammina jaccardi* (SCHRODT), 1894, Ganale Doria surface section, sample I-27-3, U. Oxfordian — Kimmeridgian, the *Pfenderinas* are probably reworked?, fig. 7 axial section and fig. 8 equatorial section, both *Pseudocyclamminas* are axial sections, approx.  $\times 20$ .
- Fig. 9 and 10: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, surface section, sample D-2-7, Lowest Bathonian, small specimens of group no. 3 (see p. 7), axial sections (both photographs are of the same specimen), fig. 9  $\times 80$ , fig. 10  $\times 20$ .

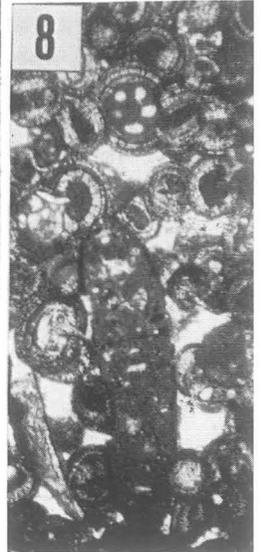
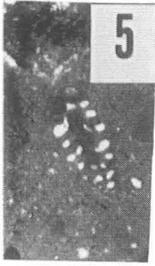
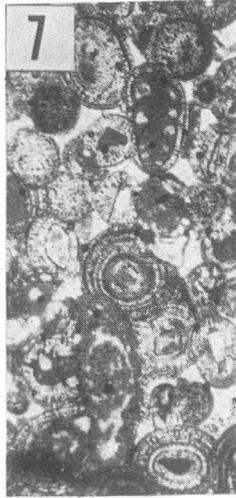
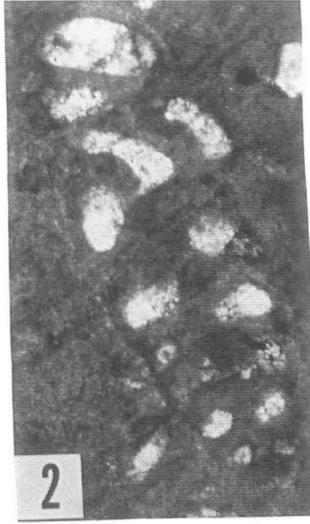
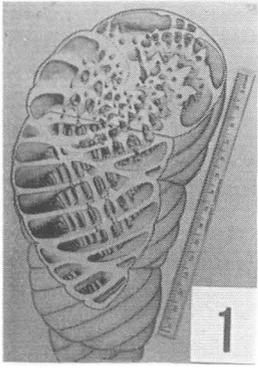


Plate 2

### Plate 3

- Fig. 1: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Calub well no. 1, 3670—80 feet, Lower Cretaceous, equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 2 and 6: *Pfenderina neocomiensis* (PFENDER), 1938, original photograph after PFENDER (1938) from the Valanginian of France for comparison with fig. 1 and 3, equatorial sections, x 40.
- Fig. 3: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Callafo well no. 1, 3830—40 feet, Kimmeridgian, equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 4 and 5: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Callafo well no. 1, 6200—10 feet, highest Bajocian?, equatorial sections (both photographs are of the same specimen), fig. 4 x 20, fig. 5 x 80.
- Fig. 7 and 8: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Buri surface section, sample D-2-7, highest Bathonian, equatorial sections (both photographs are of the same specimen), fig. 7 x 20, fig. 8 x 80.
- Fig. 9: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, core no. 2 (5189—5228 feet), Bathonian, oblique equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 10: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, El Kuran well no. 1, 5310—20 feet, Bathonian, oblique equatorial section, approx. x 20.
- Fig. 11 and 12: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Buri surface section, sample D-2-7, highest Bathonian, equatorial sections (both photographs are of the same specimen), fig. 11 x 20, fig. 12 x 80.
- Fig. 13 and 14: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Buri surface section, fig. 13 is from sample D-2-8 and fig. 14 is from sample D-2-16, both Bathonian, mixed axial and equatorial sections homogeneously spar cemented with pellets of the same small size, approx. x 20.

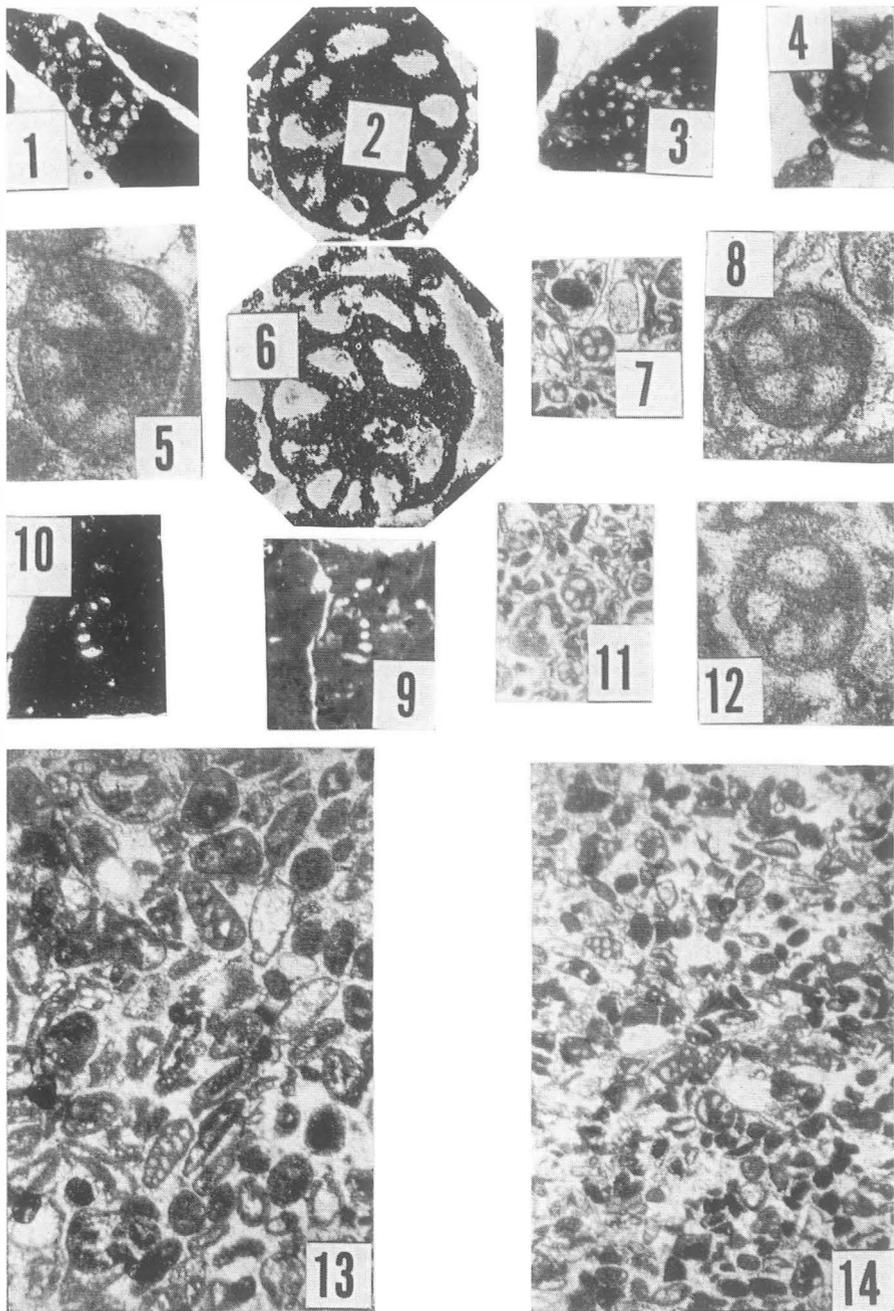


Plate 3

#### Plate 4

- Fig. 1: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Buri surface section, sample D-2-8, Bathonian, mixed axial and equatorial sections homogeneously spar cemented with pellets of the same size, approx.  $\times 20$ .
- Fig. 2: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Callafo well no. 1, 5780—90 feet, Bathonian, oblique equatorial section, approx.  $\times 80$ .
- Fig. 3: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Callafo well no. 1, 3880—90 feet, Kimmeridgian, equatorial section, approx.  $\times 20$ .
- Fig. 4: *Pfenderina* cf. *salernitana* SARTONI and CRESCENTI, 1962, Buri surface section, sample D-2-10, Bathonian, equatorial section, approx.  $\times 20$ .
- Fig. 5 and 6: *Verneuilioides minuta* SAID and BARAKAT, 1958, Callafo well no. 1, 5370—80 feet, Callovian, cross section (both photographs are of the same species), fig. 5  $\times 20$ , fig. 6  $\times 80$ .
- Fig. 7 and 8: *Verneuilioides minuta* SAID and BARAKAT, 1958, Buri surface section, sample D-2-16, Bathonian, cross section (both photographs are of the same species), fig. 7  $\times 20$ , fig. 8  $\times 80$ .
- Fig. 9 and 12: *Verneuilioides minuta* SAID and BARAKAT, 1958, Buri surface section, sample D-2-16, Bathonian, cross section (both photographs are of the same species), fig. 9  $\times 80$ , fig. 12  $\times 20$ .
- Fig. 10: *Nautiloculina circularis* (SAID and BARAKAT), 1959, Callafo well no. 1, 3670—80 feet Kimmeridgian, equatorial section, approx.  $\times 80$ .
- Fig. 11: *Verneuilioides minuta* SAID and BARAKAT, 1958, Buri surface section, sample D-2-16, Bathonian, axial section, approx.  $\times 80$ .

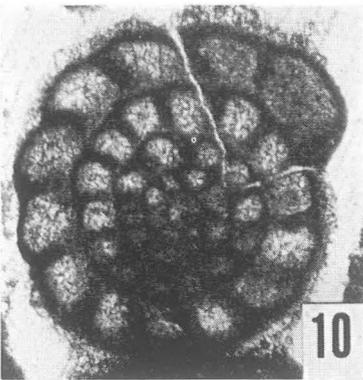
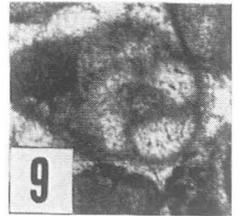
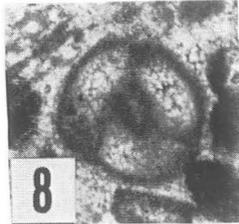
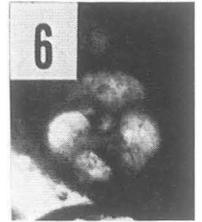
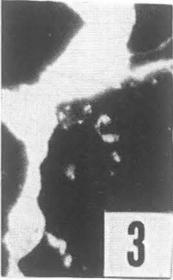
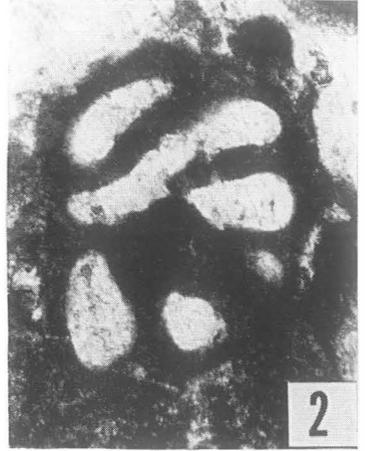
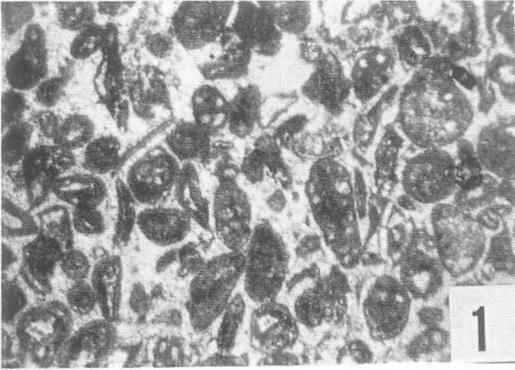


Plate 4



## Horizontalbewegungen im Braunkohlengebiet von Soma (Westanatolien)

Karl NEBERT, Graz

Mit 14 Abbildungen

### Zusammenfassung

NW-SE ausgerichtete Horizontalbewegungen im vorneogenen Grundgebirge sowie im neogenen Deckgebirge des Braunkohlengebietes von Soma werden aus einem reichen Material von mesoskopischen Strukturelementen, bestehend aus Harnischflächen, Harnischstreifen und Abscherungsflächen, abgeleitet. Geologische Detailkartierungen in Verbindung mit einem umfassenden Bohrprogramm lieferten die Unterlagen zur Klärung des Baues sowie der tektonischen Vorgänge, die zu diesen Horizontalbewegungen führten.

### Abstract

A large number of mesoscopic structural elements, consisting of slickensides, striae, and décollement surfaces, recorded in the pre-Neogene basement and the Neogene sedimentary cover of the

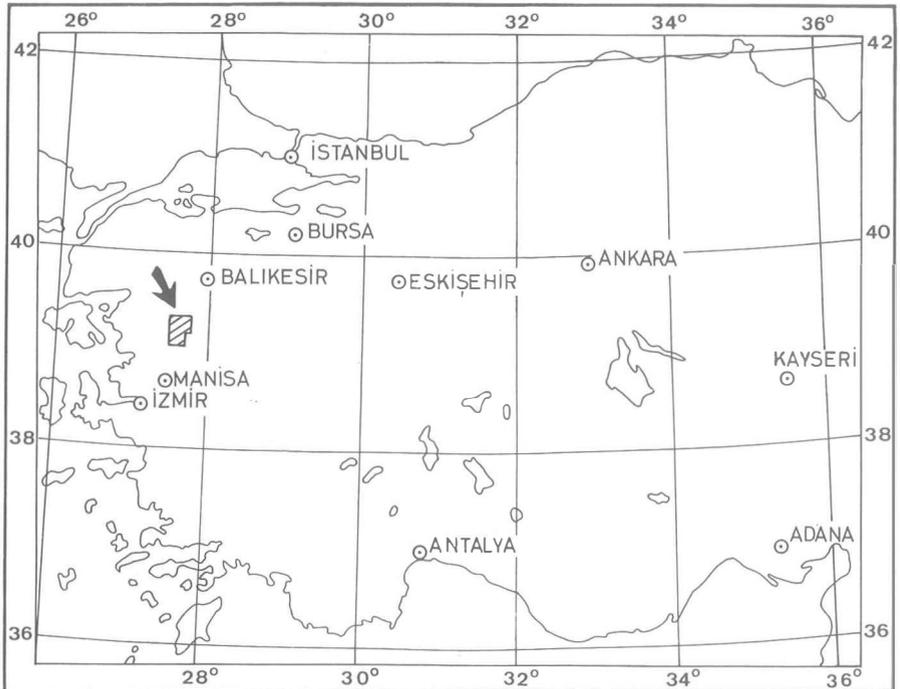


Abb. 1: Geographische Lage des Braunkohlengebietes von Soma in Westanatolien.

lignite-bearing area of Soma suggests NW-SE oriented horizontal movements. The results of a geological mapping programme combined with those of a comprehensive drilling project contributed to the elucidation of the area's tectonic setting and the processes which produced these horizontal movements.

Das Braunkohlengebiet von Soma liegt in Westanatolien (Abb. 1), und zwar nördlich und südlich des in das Ägäische Meer mündenden Flusses Bakir Çay (Abb. 2). Ein vom M.T.A.-Institut in Ankara durchgeführtes Explorationsprogramm verfolgte in erster Linie das Ziel, die Perspektiven hinsichtlich einer Kohleföhrung des neogenen Raumes von Soma zu klären. Die Erkundungsarbeiten bestanden aus einer Detaillkartierung (im Maßstab 1 : 10.000) des südlich des Bakir Çay liegenden Abschnittes, an die sich ein umfassendes Bohrprogramm anschloß, sowie aus einer geologischen Spezialaufnahme (im Maßstab 1 : 25.000) des nördlich des Bakir Çay liegenden Abschnittes. Diese Erkundungsarbeiten klärten nicht nur die montageologischen Verhältnisse dieses Raumes, indem sie die Beschaffenheit der drei Kohlenflöze und deren Auftreten im Verband der neogenen Schichtfolge festlegten, sondern sie brachten auch neue Erkenntnisse über die lithostratigraphische Zusammensetzung der neogenen Schichtfolge, vor allem aber neue Erkenntnisse über den Bau und die tektonische Entwicklungsgeschichte des Braunkohlengebietes von Soma.

Neben anderen tektonischen Vorgängen gehören zur jüngsten tektonischen Entwicklung dieses Raumes auch Horizontalbewegungen. Deren Spuren lassen sich sowohl im vorneogenen Grundgebirge als auch im neogenen Deckgebirge nachweisen. Über diese Horizontalbewegungen soll im folgenden berichtet werden. Der heutige Grundgebirgsrahmen entspricht in keiner Weise der einstigen neogenen Beckenumrahmung. Die Grenzlinien zwischen vorneogenem Grundgebirgsgestein und den neogenen Ablagerungen sind tektonisch bedingte Scheidelinien. Sie sind das Ergebnis junger tektonischer Vorgänge.

Das Grundgebirge besteht in der Hauptsache aus Grauwacken und mesozoischen Kalksteinen, Halb-marmoren und Dolomiten.

Die graublauen bis braungrauen Grauwacken sind die ältesten Gesteine des Gebietes. Sie bestehen aus leichtmetamorphen Sandsteinen, Arkosen, Konglomeraten und Schiefen, denen dunkle Kalksteinbänke zwischengeschaltet sind. Der Grauwackenkomplex ist z. T. beachtlich deformiert und tektonisiert. Dies äußert sich vor allem in den zahlreichen dünnen und dicken Kalzitadern, die das Gestein anscheinend richtungslos durchziehen. KLEINSORGE (1941) stellte den Grauwackenkomplex der Umgebung von Soma ins Karbon bzw. Permo-Karbon. Diese Einstufung wurde durch neuere Untersuchungen bestätigt (BRINKMANN et al., 1970), wobei die Ablagerung der Grauwacken-Schiefer-Folge bereits im Karbon begonnen und bis ins mittlere Perm angehalten haben soll.

Die mesozoischen Kalksteine sind hinsichtlich ihrer Lithologie uneinheitlich ausgebildet. Neben massigen, ungebankten Kalksteinen treten auch gut gebankte bzw. geschichtete Varietäten auf. Lokal findet man rote Mergelkalke in Wechselagerung mit roten oder grünen Hornsteinen. Gelegentlich sind im mesozoischen Verband Halb-marmore und Dolomite zu sehen. Die Färbung der Kalksteine ist desgleichen Änderungen unterworfen: hellgrau, mittelgrau, dunkelgrau bis schwarz. Altersmäßig wurden die mesozoischen Kalksteine auf Grund ihrer Mikrofauna in den Oberen Mitteljura bis Unterkreide eingestuft (BRINKMANN et al., 1970).

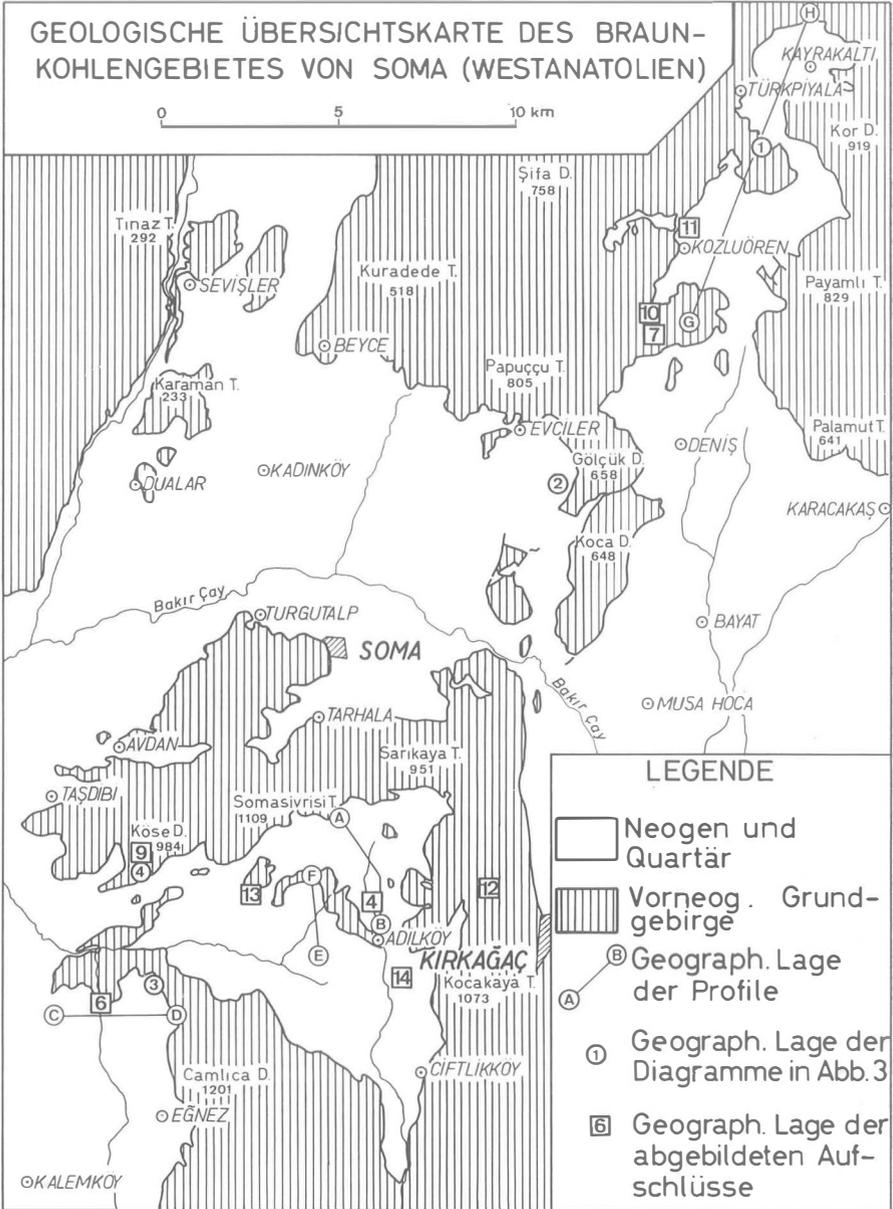


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte des Braunkohlengbietes von Soma (Westanatolien).

Die neogenen Ablagerungen ließen sich lithostratigraphisch in zwei Serien gliedern (NEBERT, 1959): in eine „untere Serie“, deren Gesteinseinheiten das Symbol „m“ (Miozän) erhielten, und in eine „obere Serie“, deren Untereinheiten mit dem Symbol „p“ (Pliozän) versehen wurden. Den beiden Serien wurde neuerdings der Status von Formationen übertragen (NEBERT, 1976).

Die untere Serie erhielt den Namen „Soma-Formation“. Sie ließ sich lithostratigraphisch in drei Formationsglieder (member) weiter unterteilen (s. Profil A-B, Abb. 14). Zuunterst erscheint ein klastisches Basal-Glied ( $m_1$ ), dessen Mächtigkeit Schwankungen unterworfen ist (50 m—200 m). Darüber folgt ein etwa 100 m mächtiges Mergel-Glied ( $m_2$ ). Zuoberst — die Soma-Formation abschließend — tritt ein Kalkstein-Glied ( $m_3$ ) auf. Dessen Oberkante fällt mit einer früheren Erosionsoberfläche zusammen. Aus diesem Grund ist die Mächtigkeit des Kalkstein-Gliedes ( $m_3$ ) Schwankungen unterworfen (s. Profile A-B und E-F, Abb. 14). Im Durchschnitt beträgt sie etwa 70 m.

Zwischen dem Basal-Glied ( $m_1$ ) und dem Mergel-Glied ( $m_2$ ) tritt das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) auf (s. Profil A—B, Abb. 14). Es stellt das Hauptflöz im Kohlenrevier von Soma dar und kann eine Mächtigkeit von über 20 m erreichen. Bauwürdig ist jedoch nur das obere Flözdrittel bzw. die obere Flözhälfte mit einer festen und harten, pechschwarzen Glanzkohle von guter Qualität.

Im oberen Abschnitt des Kalkstein-Gliedes ( $m_3$ ) tritt das mittlere Lignit-Glied ( $k_2$ ) auf. Infolge der erwähnten Erosionsoberfläche kann der oberste kalkige Abschnitt des Kalkstein-Gliedes ( $m_3$ ) fehlen, so daß in solchen Fällen die Erosionsoberfläche die Oberkante des mittleren Lignit-Gliedes ( $k_2$ ) bildet und damit praktisch mit der Oberkante der Soma-Formation zusammenfällt (s. Profil A—B, Abb. 14). Das mittlere Lignit-Glied ( $k_2$ ) erreicht maximal eine Stärke von 4 m und enthält stellenweise eine bauwürdige Glanzkohle von mittlerer Qualität.

Das Alter der Soma-Formation ließ sich auf Grund von Süßwasser-Gastropoden und zahlreichen Blattabdrücken eindeutig mit Miozän festlegen (NEBERT). Neuerdings konnte mit Hilfe von Ostrakoden das Alter der Soma-Formation mit Torton präzisiert werden (BRINKMANN et al., 1970). Demnach würde die erwähnte Erosionsoberfläche, welche die Oberkante der Soma-Formation bildet, einer an der Wende Miozän—Pliozän auftretenden Trockenlegungs- und Abtragungsphase entsprechen.

Die obere Serie wurde „Deniş-Formation“ benannt (NEBERT, 1975), weil sie im Gebiet der Ortschaft Deniş, nördlich des Bakir Çay, am vollständigsten entwickelt ist. Die Deniş-Formation ließ sich in vier Formationsglieder unterteilen.

Gleich über der Soma-Formation tritt das rund 150 m starke Tegel-Glied ( $p_1$ ) auf (Profile A-B, C-D und E-F, Abb. 14). Mit ihm beginnt ein neuer Sedimentationszyklus. Es besteht überwiegend aus einem graublauen, sehr glimmerreichen Tegel (= feinsandiger Ton), der an der Luft rostbraun verwittert. Im tieferen Abschnitt des Tegel-Gliedes ( $p_1$ ) treten in verschiedenen stratigraphischen Niveaus Grobsande und Schotterlagen auf. Das Korn des Schotters erreicht maximal die Größe einer Haselnuß.

Dicht an der Oberkante des Tegel-Gliedes ( $p_1$ ) bzw. dicht an der Basis des darüberfolgenden Tuff-Mergel-Gliedes ( $p_2$ ) ist das obere Lignit-Glied ( $k_3$ ) entwickelt. Es besteht aus einer stark verunreinigten Braunkohle und hat daher keine wirt-

schaftliche Bedeutung. Obwohl das obere Lignit-Glied ( $k_3$ ) in vertikaler Richtung in keiner Weise eine beständige Zusammensetzung aufweist, ist es in horizontaler Richtung ziemlich aushaltend und kann bei der Festlegung der stratigraphischen Grenze zwischen dem Tegel-Glied ( $p_1$ ) und dem Tuff-Mergel-Glied ( $p_2$ ) als Leitbank fungieren.

Über dem Tegel-Glied ( $p_1$ ) folgt das Tuff-Mergel-Glied  $p_2$  (s. Profile A-B und E-F, Abb. 14). Es besteht aus einer Wechsellagerung von hellen Tuffen und hellgelben bis hellgrauen, sehr dünn geschichteten Mergeln (Papiermergel). Die Mergel sind reich an verschieden geformten Kieselbildungen, die lose im Sedimentverband stecken. Die Mächtigkeit des Tuff-Mergel-Gliedes ( $p_2$ ) wurde auf über 500 m geschätzt.

Das Kieselkalk-Glied ( $p_3$ ) folgt mit scharfer Grenze über dem Tuff-Mergel-Glied ( $p_2$ ) und besteht aus einem hellen, äußerst harten Kalkstein, der von Kieselbildungen massenhaft durchsetzt ist. Die einzelnen Kiesellagen erreichen oft Stärken von mehreren Zentimetern und sind innigst mit dem Kalkstein verwachsen. Die konstruktiv ermittelte Mächtigkeit des Kieselkalk-Gliedes ( $p_3$ ) beträgt 200 m bis 300 m.

Die Deniř-Formation wird von einem Tuff-Agglomerat-Glied ( $p_4$ ) abgeschlossen. Dieses Formationsmitglied kommt nur im westlichen, südwestlichen und nordwestlichen Gebietsabschnitt von Soma vor. Lithologisch handelt es sich hierbei um pyroklastische Produkte.

Das Alter der Deniř-Formation ließ sich an Hand von Fossilien (*Theodoxus*- und *Melanopsis*-Arten) ganz allgemein mit Pliozän festlegen (NEBERT, 1959). BRINKMANN (1970) und seine Mitarbeiter bestätigten dieses Alter mit Hilfe von Ost-rakoden.

Quartäre Sedimente erstrecken sich in Form einer kontinuierlichen Decke nordwärts von Soma. Besonders gut lassen sich die Lagerungsverhältnisse sowie die lithologische Beschaffenheit der quartären Sedimentfolge in zahlreichen künstlichen Einschnitten entlang der Eisenbahnstrecke Soma-Kadinköy studieren.

Die quartären Sedimente bilden den dritten Sedimentationszyklus im Raume Soma. Ihr unterer Abschnitt besteht aus klastischen, z. T. kreuzgeschichteten Lockergesteinen (Schotter und Sande), deren Korn in vertikaler Richtung allmählich kleiner wird. Diesem unteren, klastischen Abschnitt sind auch Tuffe eingeschaltet. Der obere Abschnitt besteht aus travertinähnlichen, nur leicht verfestigten, fossilführenden Süßwasserkalken. Zwischen dem unteren und oberen Abschnitt der quartären Folge treten die Spuren eines Lignit-Gliedes in Form von dünnen Kohlenschmitzen auf. Die quartären Ablagerungen liegen zumeist über den Schichtköpfen der Deniř-Formation.

Auch vulkanische Gesteine treten untergeordnet innerhalb des Neogengebietes von Soma auf. Es handelt sich hierbei um Andesite und Basalte, deren Alter sich an Hand der vorhandenen Kontakterscheinungen eindeutig mit „Wende Pliozän-Quartär“ festlegen ließ.

Auf Grund der durchgeführten Detailkartierungen (NEBERT, 1959, 1960, 1961) konnte der Nachweis erbracht werden, daß das Neogengebiet von Soma durch junge (oberpliozän-quartäre) bruchtektonische Vorgänge in einzelne Schollen zerlegt wurde. Eine Bruchschollentektonik ist der beherrschende Baustil im

Braunkohlengebiet von Soma, und nicht ein Faltenbau, wie es KLEINSORGE (1941) angenommen hatte. Die Bruchschollentektonik wurde neuerdings von BRINKMANN und seinen Mitarbeitern bestätigt. Auf diese durch epirogene Vertikalbewegungen verursachte Bruchschollentektonik soll hier nicht weiter eingegangen werden. Vielmehr wird das Schwergewicht auf die Besprechung von Horizontalbewegungen gelegt. Deren Spuren ließen sich im gesamten Braunkohlengebiet von Soma nachweisen, und zwar sowohl im neogenen Deckgebirge, als auch im vorneogenen Grundgebirge.

Zunächst werden mesoskopische Strukturelemente (im Sinne von F. J. TURNER und L. E. WEISS, 1963) besprochen, sodann folgt die Erörterung des Baues im makroskopischen Bereich.

Die bedeutendsten mesoskopischen Strukturelemente sind Harnischflächen und vor allem Harnischstreifen. Mit letzteren ließen sich Bewegungsrichtung und in einigen Fällen auch Bewegungssinn festlegen. Die Harnischstreifen kommen im gesamten Braunkohlengebiet von Soma vor, und zwar sowohl im vorneogenen Grundgebirge (Abb. 4 und 13), als auch in den beiden Formationen des neogenen Deckgebirges (Abb. 5 und 6). In den Ablagerungen des Quartärs fehlen Harnischstreifen.

Zur Illustrierung dieser Strukturelemente und zwecks Dokumentierung ihrer regionalen Verbreitung werden vier Beispiele herausgegriffen, die weit auseinanderliegen. Die geographische Lage der betreffenden Aufschlüsse ist in der Übersichtskarte der Abb. 2 eingezeichnet.

Der erste Aufschluß liegt im nördlichsten Abschnitt des Braunkohlengebietes von Soma, etwa 2 km südsüdöstlich von der Ortschaft Türkiyala (s. Abb. 2). Hier sind die blauen Mergel ( $m_2$ ) der Soma-Formation aufgeschlossen. Der Meßbereich erstreckt sich auf rund 200 m Aufschlußlänge. Zwar zeigen die eingemessenen Harnischstreifen eine gewisse Streuung (Diagramm 1 a, Abb. 3), doch veranschaulicht ihre Lage mit aller Deutlichkeit horizontale Bewegungen in Richtungen, die um NW-SE pendeln. Faßt man die Harnischstreifen als „Lineationen in a“ auf, so stellen die dazugehörigen Harnischflächen überwiegend (OkO)- und (OkI)-Kluftflächen dar. Die (OkO)-Harnischflächen stehen mehr oder weniger seiger, während die (OkI)-Harnischflächen mittelsteil bis steil nach SW bzw. NE einfallen (Diagramm 1 b, Abb. 3).

Der zweite Aufschluß befindet sich etwa 2 km südsüdwestlich von der Ortschaft Evciler (s. Abb. 2), und zwar in Kalken ( $m_3$ ) der Soma-Formation. Der Meßbereich erstreckt sich ungefähr auf 100 m Aufschlußlänge. Die eingemessenen Harnischstreifen (Diagramm 2 a, Abb. 3) ergeben zwei Maxima, deren Schwerpunkte entlang einer etwa NW-SE verlaufenden Linie liegen und Horizontalbewegungen in dieser Richtung dokumentieren. Die dazugehörigen Harnischflächen (Diagramm 2 b, Abb. 3) stellen überwiegend seiger stehende (OkO)-Kluftflächen dar (in der Annahme, daß die Harnischstreifen „Lineationen in a“ sind).

Der dritte Aufschluß liegt in der südwestlichen Ecke des Neogengebietes von Soma, etwa 2,5 km nördlich der Ortschaft Egnez (s. Abb. 2). Hier sind unmittelbar über dem unteren Lignit-Glied ( $k_1$ ) blaue Mergel ( $m_2$ ) der Soma-Formation aufgeschlossen. Der Meßbereich erstreckt sich auf etwa 100 m Aufschlußlänge. Die eingemessenen Harnischstreifen zeigen eine geringe Streuung (Diagramm 3 a,

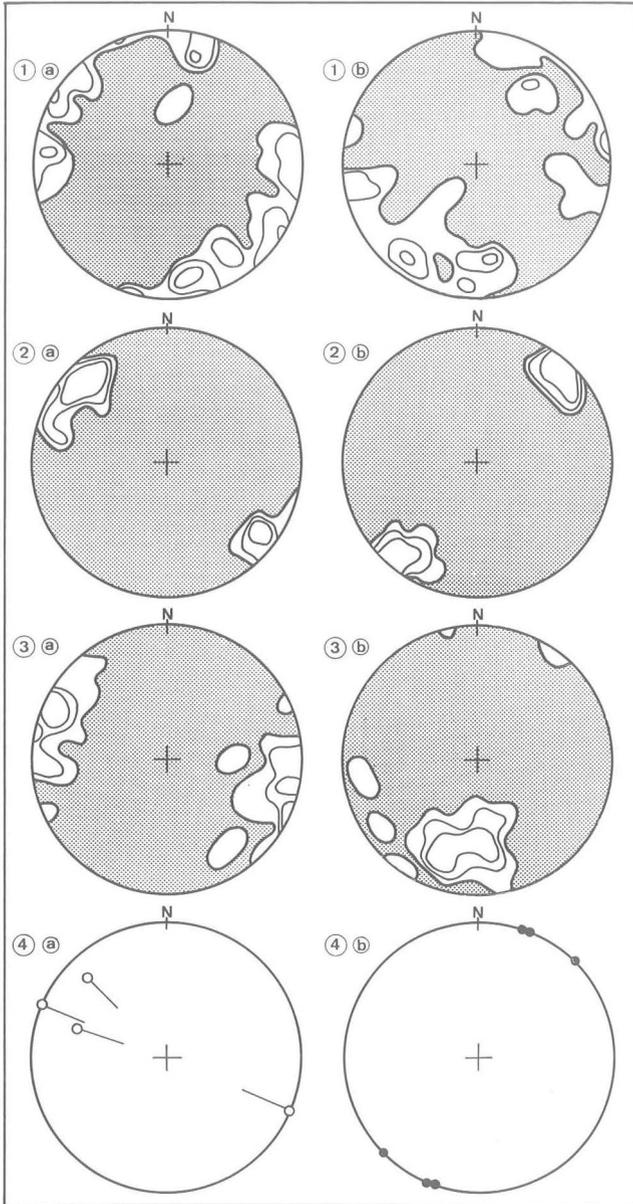


Abb. 3: Strukturdiagramme von Harnischstreifen (a) und Harnischflächenpolen (b). Die geographische Lage der dazugehörigen Aufschlüsse ist Abb. 2 zu entnehmen. Anzahl der eingemessenen Harnischstreifen: Diagr. 1 a = 30; Diagr. 2 a = 13; Diagr. 3 a = 34; Diagr. 4 a = 3. Anzahl der eingemessenen Harnischflächen: Diagr. 1 b = 30; Diagr. 2 b = 13; Diagr. 3 b = 23; Diagr. 4 b = 3. Besetzungsdichte bei den Diagrammen mit Begrenzungslinien: 1 %, 5 % und 10 %.

Abb. 3). Ihre räumliche Lage spricht für mehr oder weniger horizontal verlaufende Bewegungen, deren Richtung um WNW-ESE pendelt. Die dazugehörigen Harnischflächen stellen überwiegend (Okl)-Kluftflächen dar (Diagramm 3 b, Abb. 3).

Das vierte und letzte Beispiel zeigt Horizontalbewegungen im vorneogenen Grundgebirge. Der Aufschluß ist in Abb. 4 dargestellt und befindet sich in mesozoischen Kalken, etwa 1,5 km südwestlich des Köse Dag und 3 km südöstlich der Ortschaft Taşdibi (s. Abb. 2). Die eingemessenen Harnischstreifen streichen ungefähr WNW-ESE und verlaufen horizontal oder zeigen ein maximales Abtauchen von  $30^\circ$  (Diagramm 4 a, Abb. 3). Auch in diesem Aufschluß befinden sich die Harnischstreifen auf seiger stehenden (OkO)-Kluftflächen (Diagramm 4 b, Abb. 3).

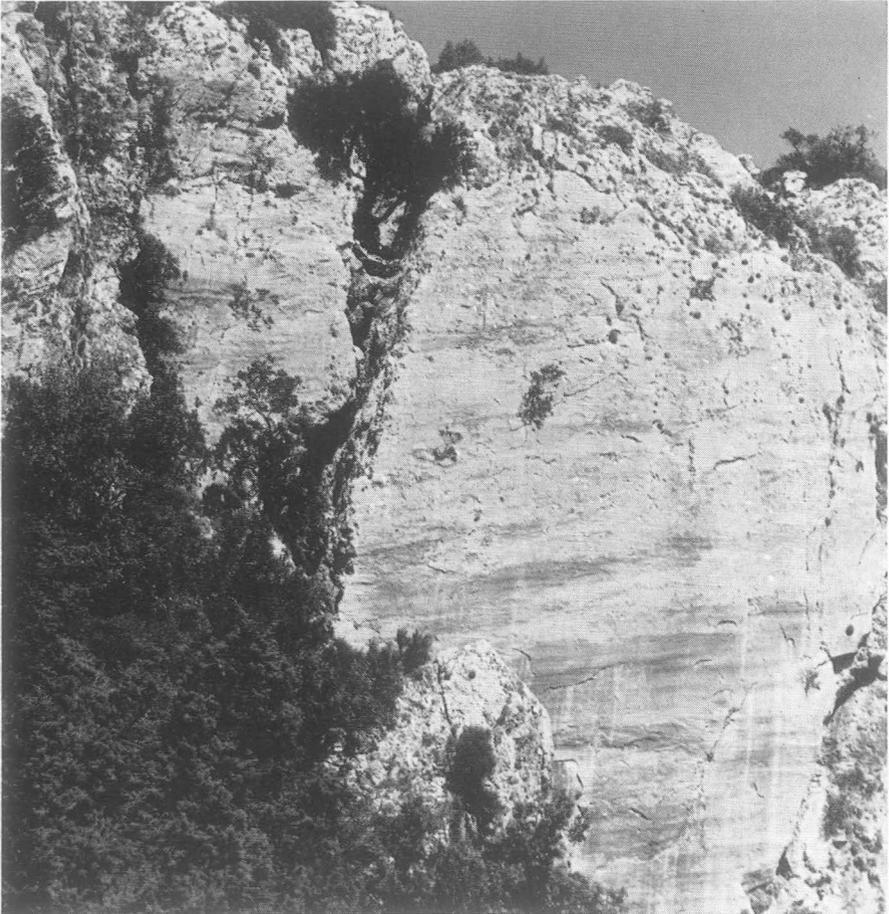


Abb. 4: Mesozoische Kalke mit seiger stehenden Harnischflächen und horizontal verlaufenden Harnischstreifen. Der Aufschluß liegt etwa 1,5 km südwestlich des Köse Dag (siehe Abb. 2).

Wie bereits erwähnt, konnten im gesamten Kartenbereich der Abb. 2 in verschiedenen Aufschlüssen sowie in verschiedenen stratigraphischen Niveaus Harnischstreifen eingemessen werden. Ein synoptisches Diagramm zeigt das Überwiegen von mehr oder weniger horizontal ausgerichteten Bewegungen in nordwest-südöstlicher Richtung. Die Harnischflächen waren an seiger stehenden (OkO)-Kluftflächen oder an steil bis mittelsteil einfallenden (OkI)-Kluftflächen gebunden (in der Annahme, daß die Harnischstreifen „Lineationen in a“ darstellen).

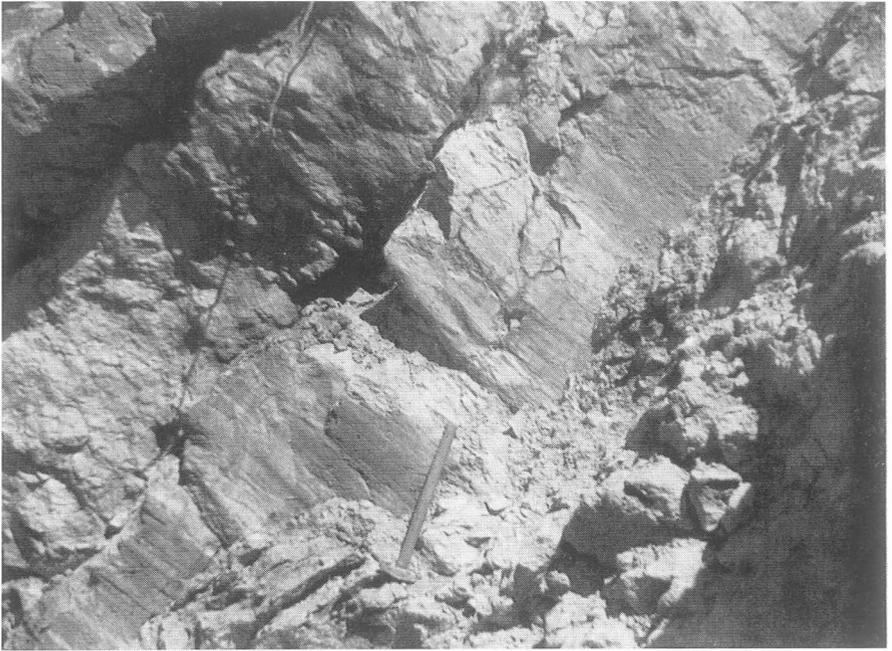


Abb. 5: Harnischfläche mit Harnischstreifen in den Mergeln des  $m_2$ -Gliedes der Soma-Formation. Die Lage des Aufschlusses ist Abb. 2 zu entnehmen. Länge des Hammerstiels: 40 cm.

Die aus den Horizontalbewegungen resultierenden Harnischflächen zerlegten vor allem die neogene Sedimentdecke in Kleinst- und Kleinschollen, etwa so, wie sie in Abb. 7 zu sehen sind. In dem betreffenden Profil sind Schichten des Tuff-Mergel-Gliedes ( $p_2$ ) der Deniz-Formation dargestellt. Der Aufschluß liegt in einem Hohlweg, etwa 1 km nördlich der Ortschaft Adilköy (s. Abb. 2). Die Richtung der Horizontalbewegungen steht annähernd senkrecht zur Zeichenebene. Im rechten Abschnitt des Profils (Abb. 7) sind zwei steil einfallende Störungen zu sehen. Sie mögen (OkO)-Flächen entsprechen. Die restlichen Störungen im Profil zeigen ein mittelsteiles bis steiles Einfallen und könnten (OkI)-Flächen darstellen.

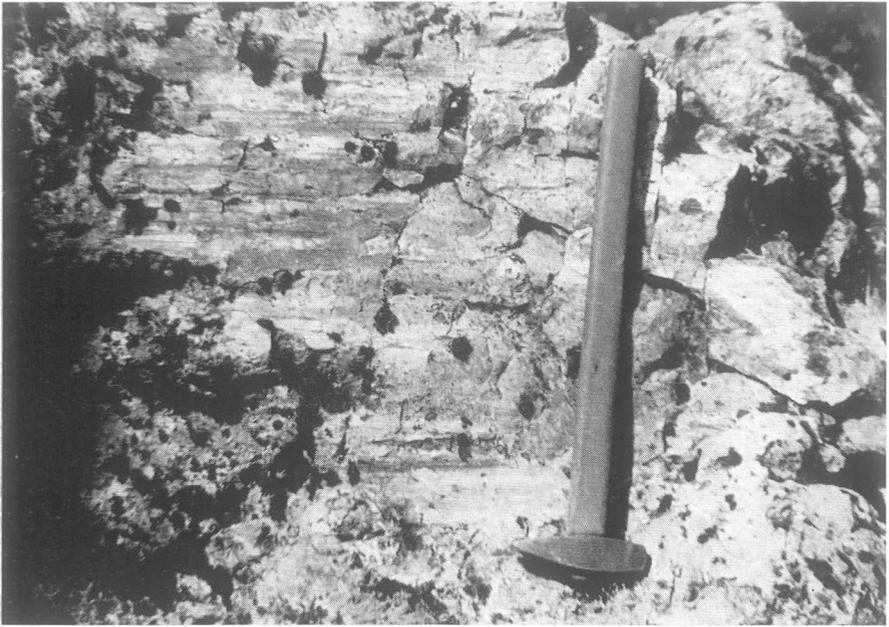


Abb. 6: Harnischstreifen in den kieseligen Kalken des  $p_3$ -Gliedes der Denis-Formation. Der Aufschluß befindet sich ca. 2 km südlich der Ortschaft Adilköy (s. Abb. 2). Länge des Hammerstiels: 40 cm.

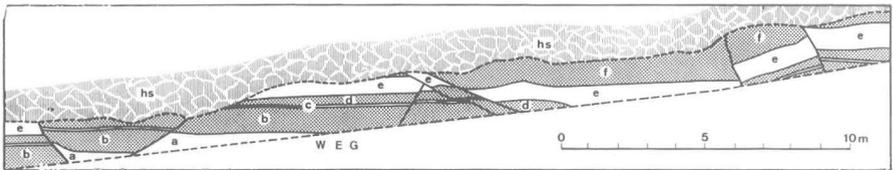


Abb. 7: Kleinschollentektonik in den  $p_2$ -Mergeln der Denis-Formation. a, c und e = helle dünn geschichtete Mergel (Papiermergel); b, d und f = dunkelgraue Mergel; hs = Hangschutt, Hohlweg, 1 km nördlich der Ortschaft Adilköy (s. Abb. 2). Gezeichnet nach einem Fotopanorama.

Überaus häufig traten Harnischflächen mit horizontal verlaufenden Streifen auch in Bohrkernen auf (Abb. 8). Besonders schön ausgebildet waren die Harnischflächen in den  $m_2$ -Mergeln der Soma-Formation und in den  $p_2$ -Mergeln der Deniz-Formation. Traten die Harnischflächen scharenweise in Form von Zerüttungszonen auf, dann war zumeist auch ein Spülfüssigkeitsverlust zu verzeichnen, der jedoch leicht zu beheben war.

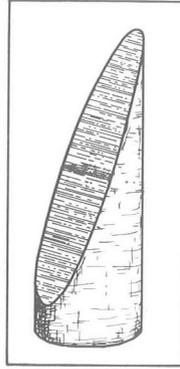


Abb. 8: Bohrkern mit horizontal verlaufenden Streifen auf einer steil einfallenden Harnischfläche.  $m_2$ -Mergel der Soma-Formation.

Horizontale Abscherungsflächen bilden ein weiteres mesoskopisches Strukturelement, das auf horizontale Bewegungen hinweist. Die Abscherungsflächen sind desgleichen in Aufschlüssen des gesamten Neogengebietes von Soma nachzuweisen. Zur Illustrierung dieser Strukturen genügen einige wenige Beispiele.

Das erste Beispiel befindet sich in der südwestlichen Ecke des Kartengebietes, etwa 3 km nordnordwestlich der Ortschaft Egnez, und zwar im Einschnitt des Egnez-Dere (s. Abb. 2). Um einen freien Einblick in die Lagerungsverhältnisse zu gewinnen, wurde der natürliche Aufschluß durch einen Schurfgraben vergrößert (Abb. 9).

Zunächst trennte eine gut erkennbare horizontale Abscherungsfläche das Grauwacken-Grundgebirge (a) vom Schotter des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) der Soma-Formation. Das Basal-Glied ( $m_1$ ), dessen Mächtigkeit normalerweise zwischen 50 m und 200 m liegt, war im freigelegten Aufschluß auf wenige Meter (4—5 m) reduziert. Im oberen Abschnitt führte das Basal-Glied ( $m_1$ ) Kohlschmitzen, die den Beginn des unteren Lignit-Gliedes ( $k_1$ ) andeuten. Eine rund 1 m starke tektonische Brekzie (br), bestehend aus zertrümmertem  $m_1$ -Material und kohligem Ton, überlagerte das Basal-Glied ( $m_1$ ). Über der tektonischen Brekzie lag sodann ein etwa 1 m starker Rest des oberen Abschnittes des Lignit-Gliedes bzw. Hauptflözes ( $k_1$ ). Darüber folgten mit ungestörter Lagerung die blauen Mergel des  $m_2$ -Gliedes.

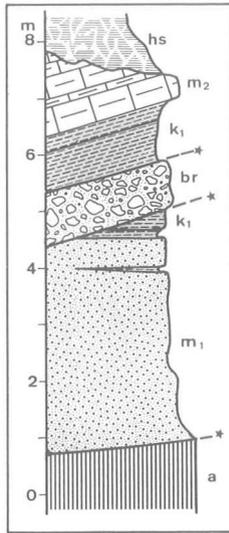


Abb. 9: Abscherungsflächen (mit einem Sternchen gekennzeichnet) innerhalb der Soma-Formation. a = Grundgebirge (Grauwacken);  $m_1$  = Schotter des Basal-Gliedes;  $k_1$  = Überreste des tektonisch zersetzten unteren Lignit-Gliedes;  $m_2$  = Mergel-Glied; br = tektonische Brekzie; hs = Hangschutt. Aufschluß im Egnez-Dere, etwa 3 km nordwestlich der Ortschaft Egnez (s. Abb. 2).

Die Lagerungsverhältnisse im vorhin besprochenen Aufschluß erlauben folgende Interpretation: Entlang einer mehr oder weniger horizontal verlaufenden Abscherung (in Abb. 9 mit Sternchen gekennzeichnet) wurde das Hauptflöz ( $k_1$ ) entzweigerissen. Die Bewegung erfolgte mitten durch das Hauptkohlenflöz, wie dies eindeutig von der tektonischen Brekzie dargelegt wird. Vom einstigen unteren Lignit-Glied (= Hauptflöz  $k_1$ ), das in diesem Gebietsabschnitt eine normale Stärke von rund 20 m erreicht, ist nur mehr sein oberster (100 cm) und sein unterster Abschnitt (50 cm) erhalten geblieben. Offensichtlich stellte das Hauptkohlenflöz ( $k_1$ ) in festigkeitsmechanischer Hinsicht eine Schwächezone dar. Eine ähnliche Schwächezone dürfte auch das klastische Basal-Glied ( $m_1$ ) darstellen, ist es doch aus nur schwach verfestigten Schottern und Sanden zusammengesetzt. Auch entlang des Basal-Gliedes konnten infolgedessen die darüberfolgenden Schichten der Soma-Formation unschwer von ihrer Unterlage losgelöst und fortbewegt werden. Mit der Abscherung ließe sich auch die Mächtigkeitsreduzierung des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) im besprochenen Aufschluß erklären.

Schurfstollen, die im nördlichen Abschnitt des Kartengebietes liegen, liefern uns gute Beispiele zur Illustrierung des Abscherungsvorganges. Ein solcher Stollen ist in Abb. 10 festgehalten (geograph. Lage des Stollens s. Abb. 2). Da untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) wurde durch tektonische Vorgänge zu einem wenige Zentimeter dünnen Kohlenband (Pfeil) ausgewalzt. Das Band besteht aus Kohlenstaub und liegt inmitten einer tektonischen Brekzie, die überwiegend aus den Gesteinstrümmern des Mergel-Gliedes ( $m_2$ ) besteht.

In der Nähe des besprochenen Schurfstollens liegt ein zweiter Stollen (s. Abb. 2), der uns ein instruktives Bild zeigt. In diesem Aufschluß sieht man, wie das untere



Abb. 10: Ausgewalztetes unteres Lignit-Glied  $k_1$  (Pfeil) inmitten einer tektonischen Brekzie. Weitere Erläuterung im Text. (Geograph. Lage des Aufschlusses s. Abb. 2.)

Lignit-Glied ( $k_1$ ) in horizontaler Richtung durchgerissen, ausgefrant und zu Kohlenstaub zerrieben wurde (Abb. 11). Über dem zerissenen Hauptflöz ( $k_1$ ) ist eine mächtige tektonische Brekzie entwickelt. Sie trennt das Hauptflöz vom darüberfolgenden Mergel-Glied ( $m_2$ ). Die mittelsteil einfallende Verwerfung F (rechts in Abb. 11) gehört zur jüngeren Bruchschollentektonik. Gleich unterhalb dieses Schurfstollens ist das Grundgebirge freigelegt. Über dem Grundgebirge liegt eine mehrere Meter starke tektonische Brekzie mit typischer Melange-Struktur. Darüber folgen unmittelbar die blauen Mergel des  $m_2$ -Gliedes. Das klastische Basal-Glied fehlt gänzlich. Bei einem anderen Schurfstollen, der etwa 1 km nördlich der Ortschaft Kozluören liegt (s. Abb. 2) ist das Hauptflöz ( $k_1$ )

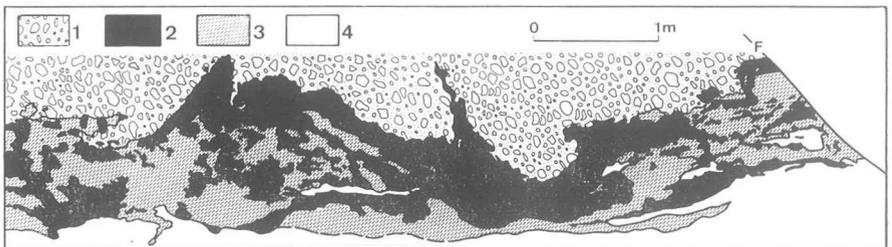


Abb. 11: Zerschnittenes Lignit-Glied ( $k_1$ ) in einem Schurfstollen. 1 = tektonische Brekzie; 2 = Kohlenstaub; 3 = mit Kohle vermengter Ton; 4 =  $m_2$ -Mergel. (Geograph. Lage des Aufschlusses s. Abb. 2.) Nach einer Fotografie gezeichnet.

nicht mehr vorhanden. An seiner Stelle bilden einzelne Flöztrümmer eine tektonische Melange mit der umgebenden tektonischen Brekzie (Abb. 12).

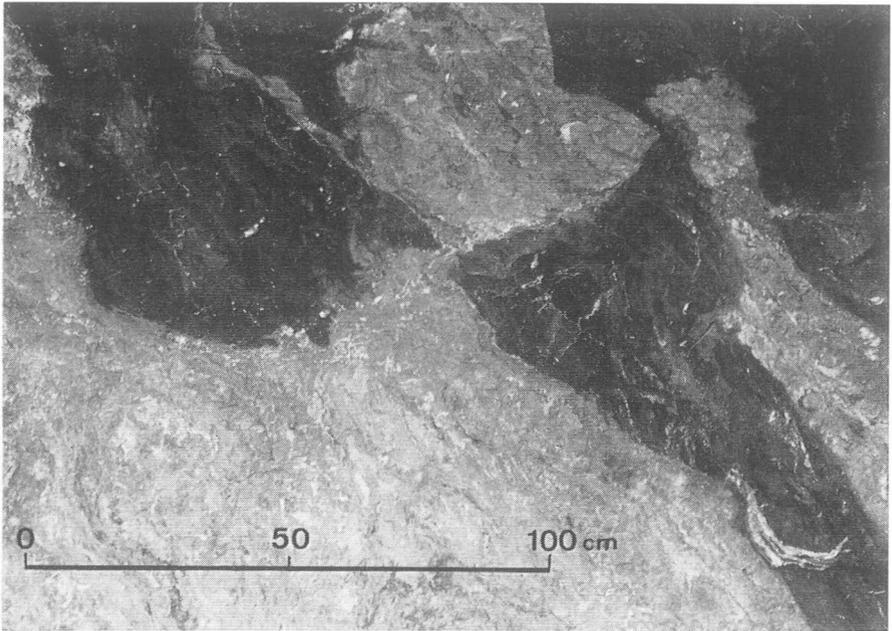


Abb. 12: Tektonische Melange, bestehend aus Kohlenrümern des unteren Lignit-Gliedes ( $k_1$ ) und den zu einer tektonischen Brekzie umgewandelten  $m_2$ -Mergeln. Der Aufschluß liegt etwa 1 km nördlich der Ortschaft Kozluören (s. Abb. 2).

Ergänzungsweise soll noch das Erscheinungsbild der Abscherung unter Tage, d. h. in den Gruben, kurz besprochen werden. Sobald eine Abbaustrecke auf eine Abscherungsfläche stößt, tritt eine merkliche Reduktion in der Flözmächtigkeit auf und die Kohle ist zu Pulver zerrieben. Der sich entwickelnde Kohlenstaub macht jeden Versuch eines Abbaues zunichte.

Diese Beispiele mögen genügen, um die Abscherungsvorgänge im neogenen Deckgebirge von Soma zu demonstrieren und den Abscherungsmechanismus zu illustrieren.

Die tektonischen Vorgänge führten nicht selten zur Zertrümmerung sowohl des neogenen Gesteinsverbandes als auch des vorneogenen Grundgebirges. Hauptsächlich bei den  $m_2$ -Mergeln und  $m_3$ -Kalken ist diese Kataklase in vielen Aufschlüssen zu beobachten. Die zertrümmerten Gesteine sind in der Regel kalzitverhailt und durch ein eisenhaltiges Pigment rötlich gefärbt. Oft zeigt auch das Grundgebirge auf weite Strecken hin eine Zertrümmerung. Besonders häufig tritt das kataklastische Gefüge bei mesozoischen Kalken auf. In Abb. 13 ist ein solches kataklastisches Gefüge festgehalten. Es handelt sich hierbei um eine horizontale Fläche, auf der auch Harnischstreifen (Pfeil) zu sehen sind.

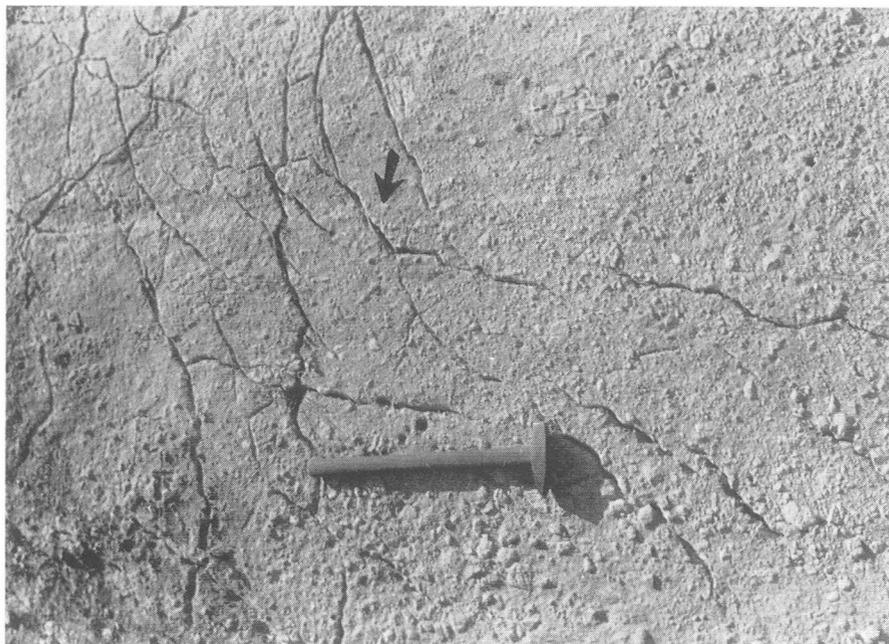


Abb. 13: Kataklastisches Gefüge eines mesozoischen Kalksteines des Grundgebirges. Pfeil deutet auf Harnischstreifen hin. Der Aufschluß liegt zwischen dem Dorf Adilköy und der Stadt Kirkagac (s. Abb. 2). Länge des Hammerstiels: 40 cm.

Der Bau im makroskopischen Bereich verdankt seine Aufklärung hauptsächlich dem umfassenden Bohrprogramm. Allein im Neogensektor von Adilköy, der topographisch im Norden vom Köse Dag, Somasivrisi Tepe und Sarikaya Tepe und im Süden vom Camlica Dag umrahmt wird (s. Abb. 2), wurden 48 Bohrungen abgeteuft. Das entstandene Bohrnnetz war genügend dicht, um einerseits für die drei Flözgruppen (= Lignit-Glieder  $k_1$ ,  $k_2$  und  $k_3$ ) eine montangeologische Aussage zu gewährleisten und andererseits die mesoskopisch nachgewiesenen tektonischen Abscherungsbewegungen auch im Bohrkern studieren zu können. Hinzu kamen noch drei Bohrungen, die im Neogensektor von Egnez (s. Abb. 2), und weitere acht Bohrungen, die in der Umgebung der Stadt Soma abgeteuft wurden. Dieses detaillierte Bohrprogramm rundete das durch die mesoskopischen Analysen gewonnene Bewegungsbild ab.

Hinsichtlich ihrer Ergebnisse lassen sich die 51 Bohrungen, die in den Neogensektoren von Adilköy und Egnez niedergebracht wurden, in drei Gruppen einteilen. Zur ersten Gruppe gehören 18 Bohrungen. Sie alle haben das Hauptflöz ( $k_1$ ) mit normaler Mächtigkeit (rund 20 m) und in ungestörter Lagerung durchteuft, wie dies beispielsweise bei den Bohrungen 1, 2, 8 und 12 der Profile A-B, C-D und E-F (Abb. 14) der Fall war. Weitere 15 Bohrungen bilden die zweite Gruppe. In ihnen trat das untere Lignit-Glied (= Hauptflöz  $k_1$ ) mit reduzierter Mächtigkeit auf, etwa wie in der Bohrung 7 (Profil C-D) und Bohrung 11 (Profil E-F). Bei der dritten Gruppe, bestehend aus den restlichen 18 Bohrungen,

drangen letztere aus stratigraphisch höherliegenden Formationsgliedern direkt in das vorneogene Grundgebirge, ohne dabei das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) zu durchteufen, da dasselbe nicht vorhanden war. Als Beispiele hierfür mögen die Bohrungen 3, 4, 5 und 6 des Profils A-B sowie die Bohrungen 9 und 10 des Profils E-F (Abb. 14) angeführt werden.

Bei der ersten Gruppe wurden die Bohrungen zumeist im Basal-Glied ( $m_1$ ) eingestellt. Nur einige wenige (wie beispielsweise Bohrung 2 des Profils A-B) erreichten auch das Grundgebirge. Im Bereich des unteren Lignit-Gliedes ( $k_1$ ) zeigten die Kerne dieser Bohrungen keine Spuren einer tektonischen Beanspruchung. Erst im Bereich des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) traten tektonische Zerrüttungszonen und tektonische Brekzien auf. Die Harnischflächen dieser Zonen sowie die tektonischen Brekzien dokumentierten eindeutig horizontale Bewegungen. Bei Bohrung 2 (Profil A-B, Abb. 14) trat eine 3 m starke tektonische Brekzie direkt über dem Grundgebirge (Grauwacken) auf. In ihr war das Gesteinsmaterial des Grundgebirges mit jenem des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) auf das Innigste vermengt. Die einzelnen eckigen Komponenten der Brekzie lagen in einer tonigen, infolge eines eisenhaltigen Pigments rötlich gefärbten Matrix eingebettet. Die beobachteten Verhältnisse lassen folgende Deutung zu: In Gebietsabschnitten, wo das Hauptflöz ( $k_1$ ) noch in seiner normalen Stärke (rund 20 m) vorhanden ist, verläuft die Abscherungsfläche durch das darunterliegende Basal-Glied ( $m_1$ ) bzw. entlang der Trennungsfuge zwischen Grundgebirge und Deckgebirge.

In der zweiten Gruppe von Bohrungen trat das Hauptflöz (= unteres Lignit-Glied  $k_1$ ) in einer reduzierten Mächtigkeit auf. Dabei soll gleich gesagt werden, daß die Reduktion nicht eine primäre Erscheinung war und etwa einem Flözauskeilen entsprach, sondern daß sie durch tektonische Vorgänge sekundär verursacht worden war. Zur Illustrierung der Verhältnisse sollen die Ergebnisse jener Bohrungen besprochen werden, die in den Profilen C-D und E-F enthalten sind.

Zunächst folgt die Besprechung des Profils C-D, dessen geographische Lage in Abb. 2 eingezeichnet ist. Bohrung 8 hatte das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) im ungestörten Verband und mit normaler Mächtigkeit (22,80 m) durchteuft. Die Abscherungsfläche muß somit tiefer liegen. Sie konnte indessen nicht nachgewiesen werden, weil Bohrung 8 im oberen Abschnitt des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) nach einer Bohrstrecke von 18 m eingestellt wurde. Bohrung 7 liegt 800 m westlich von Bohrung 8. Bohrung 7 drang 8,15 m tief ins Grauwacken-Grundgebirge ein. Die Mächtigkeit des unteren Lignit-Gliedes ( $k_1$ ) war auf 10,25 m reduziert. Im Bohrkern ließen sich zerrüttete und zertrümmerte Partien mit Harnischflächen und tektonischen Brekzien nachweisen. Die gezogene Kohle war zum Großteil zu Pulver zerrieben. Unter dem Hauptflöz ( $k_1$ ) lag das tektonisch stark mitgenommene und auf 4,60 m reduzierte Basal-Glied ( $m_1$ ). Das Grundgebirge zeigte im obersten Abschnitt sichtbare Spuren einer intensiven Kataklyse. Es bestand somit kein Zweifel, daß die Mächtigkeitsreduktion des Hauptflözes ( $k_1$ ) sowie jene des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) in Bohrung 7 durch sekundär-tektonische Vorgänge verursacht worden war.

Etwa 500 m westlich von Bohrung 7 liegt im Einschnitt des Egnez-Dere (s. Abb. 2 und Profil C-D, Abb. 14) der in Abb. 9 dargestellte Aufschluß. In ergänzender Weise illustriert dieser Aufschluß, wie die Verhältnisse in Bohrung 7 (Profil C-D)

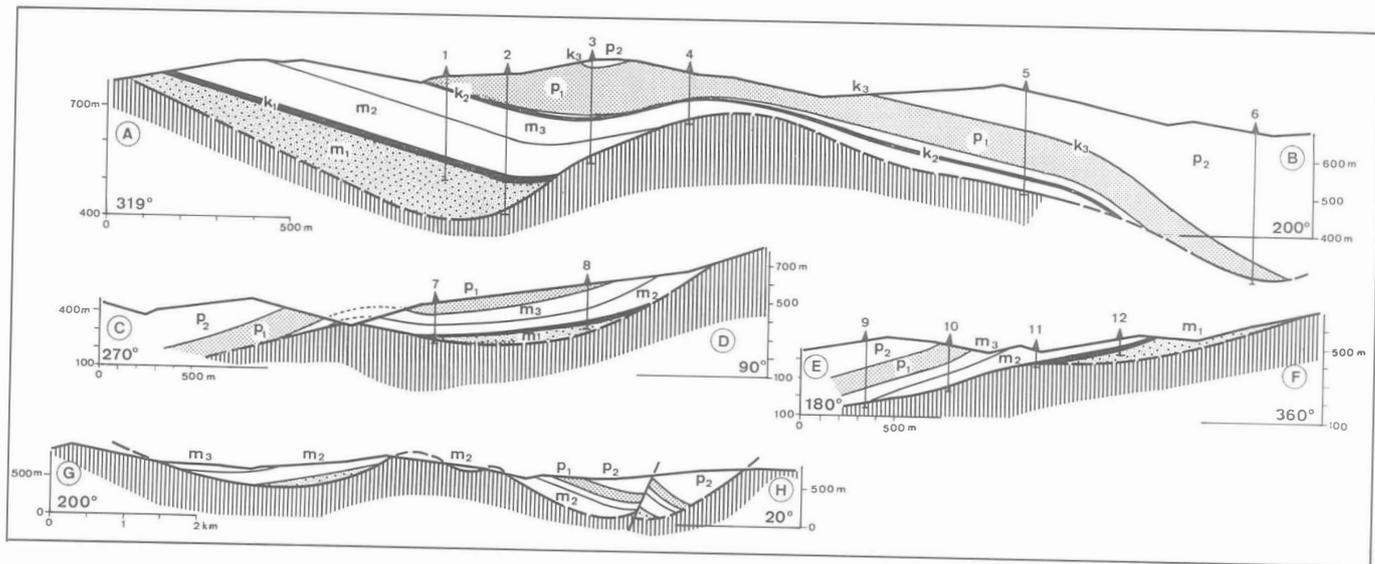


Abb. 14: Profilerie durch das Braunkohlengebiet von Soma. Senkrechte Schraffen = vorneogenes Grundgebirge. Soma-Formation: m<sub>1</sub> = Basal-Glied; m<sub>2</sub> = Mergel-Glied; m<sub>3</sub> = Kalkstein-Glied; k<sub>1</sub> = unteres Lignit-Glied (Hauptflöz); k<sub>2</sub> = mittleres Lignit-Glied. Denis-Formation: p<sub>1</sub> = Tegel-Glied; p<sub>2</sub> = Tuff-Mergel-Glied; k<sub>3</sub> = oberes Lignit-Glied. (Geograph. Lage der Profile s. Abb. 2.)

sein müßten. Ein Unterschied besteht lediglich im Ausmaß der Mächtigkeitsreduktion des Hauptflözes. In dem betreffenden Aufschluß (Abb. 9) ist das Hauptflöz auf 1 m, in Bohrung 7 hingegen nur auf 10 m reduziert.

Als weiteres Beispiel für die zweite Gruppe sollen die Bohrungen des Profils E-F (Abb. 14) herangezogen werden. Bohrung 12 wurde im Basal-Glied ( $m_1$ ) eingestellt, nachdem sie das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) in voller Stärke (etwa 25 m) durchteuft hatte. Instrukтив waren die Ergebnisse von Bohrung 11. Das Hauptflöz ( $k_1$ ) wurde in einer reduzierten Mächtigkeit von 10,50 m durchteuft. Die gekernte Kohle kam unter großem Kernverlust ausschließlich als Pulver zutage. Aus dem Hauptflöz ( $k_1$ ) drang die Bohrung direkt in ein kataklasiertes Grundgebirge ein. Das Basal-Glied ( $m_1$ ) fehlte gänzlich. Der Kontakt Kohlenflöz-Grundgebirge erwies sich eindeutig als tektonisch.

Die restlichen 13 Bohrungen der zweiten Gruppe zeigten im Bereich des reduzierten Hauptflözes ( $k_1$ ) ähnliche Verhältnisse wie die beiden vorhin besprochenen Beispiele. In einigen Bohrungen dieser Gruppe erschien das Hauptflöz ( $k_1$ ) als ein auf wenige Meter reduziertes, nur aus Kohlenstaub bestehendes Band, das von einer tektonischen Brekzie umgeben war, wodurch es stark an die in Abb. 10 und Abb. 11 dargestellten Verhältnisse erinnerte.

Die dritte Gruppe bestand aus Bohrungen, die aus stratigraphisch höher liegenden Formationsgliedern des Neogens direkt in das vorneogene Grundgebirge eindringen, ohne dabei das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) durchteuft zu haben. Bei manchen dieser Bohrungen fehlte auch das mittlere Lignit-Glied ( $k_2$ ). Außerdem traten zusätzlich Reduktionen in der Mächtigkeit der einzelnen neogenen Formationsglieder auf. Die vorgefundenen Verhältnisse lassen sich an Hand der Bohrungen des Profils A-B (Abb. 14) erläutern.

Wie wir bereits sahen, hatte Bohrung 2 (Profil A-B) das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) mit normaler Stärke durchteuft. Bohrung 3 drang aus dem beachtlich reduzierten (40 m!) Mergel-Glied ( $m_2$ ), unter Fortfall des Hauptflözes ( $k_1$ ) und des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) direkt in den mesozoischen Kalkstein des Grundgebirges ein. Die Bohrungen 4 und 5 starteten in Schichtgliedern der Deniz-Formation ( $p$ ) und erreichten, unter Fortfall des Basal-Gliedes ( $m_1$ ), des Hauptflözes ( $k_1$ ) und des Mergel-Gliedes ( $m_2$ ), unmittelbar das mesozoische Grundgebirge. Schließlich drang Bohrung 6 bereits aus dem stark reduzierten (37 m!) Tegel-Glied ( $p_1$ ), unter Fortfall der Formationsglieder  $m_1$ ,  $k_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  und  $k_2$ , direkt in das mesozoische Grundgebirge ein.

Bei all diesen Bohrungen der dritten Gruppe war das neogene Gestein in Grundgebirgsnähe zertrümmert bzw. in eine tektonische Brekzie umgewandelt. Die Brekzie enthielt auch eckige Elemente des Grundgebirges. Harnischflächen häuften sich. Die gezogenen Grundgebirgskerne zeigten ein kataklastisches Gefüge. Der Kerngewinn war im Bereich der Zertrümmerung gering. All dies verursachte zumeist beachtliche Spülflüssigkeitsverluste, die nur schwer zu beheben waren.

In die dritte Gruppe gehören auch die Bohrungen 9 und 10 des Profils E-F (Abb. 14). Nachdem Bohrung 11 bei der zweiten Gruppe von Bohrungen bereits eingehend besprochen wurde, soll nun kurz auch auf die Ergebnisse der Bohrungen 9 und 10 eingegangen werden. Der Ansatzpunkt von Bohrung 10 lag im Bereich des Tegel-Gliedes ( $p_1$ ). Das mittlere Lignit-Glied ( $k_2$ ) wurde in einer

Mächtigkeit von rund 5 m durchteuft. Aus dem Mergel-Glied ( $m_2$ ) drang Bohrung 10, unter Fortfall des Hauptflözes ( $k_1$ ) sowie des Basal-Gliedes ( $m_1$ ) direkt in das Grundgebirge ein.

Etwa 450 m südlich von Bohrung 10 lag der Ansatzpunkt von Bohrung 9, und zwar im Bereich des Tuff-Mergel-Gliedes ( $p_2$ ). Bohrung 9 gelangte bereits aus dem Kalkstein-Glied ( $m_3$ ) unvermittelt in das Grundgebirge. Besonders hervorzuheben wären auch bei diesen beiden Bohrungen (9 und 10) jene Streckenabschnitte, die unmittelbar über dem Grundgebirge lagen, ganz gleich, um welches lithostratigraphische Glied es sich dabei handelte. Die tektonisch bedingte Nähe des Grundgebirges äußerte sich im Bohrkern in einer intensiven Zertrümmerung sowohl der neogenen Sedimente als auch des Grundgebirges. Tektonische Brekzien und tiefrot gefärbte Melange-Letten prägten diesem Bohrabschnitt eine chaotische Struktur auf. Das kataklastische Gefüge des Grundgebirges war im Bohrkern unverkennbar. Gleichzeitig traten erhebliche Spülflüssigkeitsverluste auf.

Die vorhin besprochenen Bohrerergebnisse lieferten die Grundlage für die Herausarbeitung der makroskopischen Strukturen bzw. für die Klärung des Baues im makroskopischen Bereich. Zunächst zeigte das Studium der Bohrkern, daß die Trennungsfuge zwischen vorneogenem Grundgebirge und der neogenen Sedimentdecke tektonischer Natur war. Das Auftreten von Zertrümmerungszonen, tektonischen Brekzien, Melange-Letten, Harnischflächen mit annähernd horizontal verlaufenden Streifen innerhalb jener neogenen Bohrstrecke, die unmittelbar über dem Grundgebirge lag, sowie die Kataklastisierung des darunterliegenden Grundgebirges sprechen eindeutig für Abscherungsflächen, entlang denen Bewegungen stattgefunden haben, die mehr oder weniger horizontal verliefen. Bei diesen Bewegungen wurden Partien der neogenen Decke von ihrer Unterlage abgesichert, und zwar bevorzugt entlang des unteren Lignit-Gliedes ( $k_1$ ) sowie des Basal-Gliedes ( $m_1$ ), da beide Glieder festigkeitsmechanische Schwächezonen darstellten.

Verbindet man die in den einzelnen Bohrungen auftretenden Abscherungsflächen, so ergibt sich eine ausgedehnte Abscherungsbahn, die über einem gewellten Grundgebirge verläuft, etwa so, wie sie in Profil A-B (Abb. 14) dargestellt ist. Entlang dieser Abscherungsbahn erfolgten die horizontalen Bewegungen überwiegend in nordwest-südöstlicher Richtung.

Der Abscherungsprozeß erzeugte Reduktionen in der Mächtigkeit einzelner Formationsglieder der neogenen Sedimentdecke, insbesondere in der Mächtigkeit des Hauptflözes ( $k_1$ ). Es muß jedoch hier ausdrücklich betont werden, daß die durch das Bohrprogramm am Hauptflöz ( $k_1$ ) festgestellten Reduktionen in keiner Weise primärer Natur sind, d. h. die geringere Flözmächtigkeit ist nicht auf den Sedimentationsprozeß zurückzuführen, sondern es handelt sich vielmehr um Erscheinungen, die sekundär, durch tektonische Abscherungsvorgänge hervorgerufen wurden. Übrigens kam bei einer Bohrung auch eine Flözverdoppelung vor, denn das untere Lignit-Glied ( $k_1$ ) erreichte die ungewöhnliche Mächtigkeit von über 50 m. Flözverdoppelung und Flözreduktion sind den gleichen tektonischen Vorgängen zuzuschreiben.

Aus der Kombination der feldgeologischen Daten mit den Ergebnissen des Bohrprogramms ergibt sich eine Deutung, die im folgenden als Schlußfolgerung

zusammengefaßt werden soll. Nach der Ablagerung der beiden neogenen Formationen (Soma-Formation und Deniz-Formation) begann, unter dem Einfluß horizontal wirkender Kräfte, eine NW-SE ausgerichtete Zerschierung des Grundgebirgssockels. Die dabei entstandenen Grundgebirgsschollen führten entlang von seiger stehenden bis steil einfallenden Scherflächen (Gleitflächen) Differentialbewegungen aus. Beweise für diese Vorgänge sind die am Grundgebirge beobachteten Harnischflächen mit horizontal verlaufenden Harnischstreifen (Diagramme 4 a und 4 b, Abb. 3 sowie Abb. 4.

Die horizontalen Differentialbewegungen im Grundgebirgssockel wirkten sich auch in der neogenen Sedimenthaut aus. Dabei wurde die neogene Decke in einzelne Kleinschollen zerlegt (s. Abb. 7), die desgleichen horizontalen Differentialbewegungen unterworfen waren. Diese Bewegungen hinterließen ihre Spuren in Form von seiger stehenden bis steil einfallenden Harnischflächen, auf denen die Harnischstreifen mehr oder weniger horizontal verlaufen. Die Diagramme 1 a, 1 b, 2 a, 2 b, 3 a, 3 b der Abb. 3 sowie die Abbildungen 5 und 6 liefern die Belege für diese Deutung.

Die gleichen Horizontalkräfte verursachten zusätzlich eine Abscherung einzelner Teile der neogenen Sedimenthaut. Die Abscherung erfolgte vor allem in Grundgebirgsnähe, da dort festigkeitsmechanische Schwächezonen (wie: Trennungsfuge zwischen Grundgebirge und Deckgebirge, Basalglied  $m_1$ , Hauptflöz  $k_1$  etc.) vorhanden waren. Hierbei kam es zur Zertrümmerung des neogenen Gesteins, zur Bildung von tektonischen Brekzien und Melange-Letten, zur Mächtigkeitsreduktion einzelner Formationsmitglieder sowie schließlich zur Kataklasierung des Grundgebirges. Die tektonischen Brekzien enthalten Bestandteile sowohl des Grundgebirges als auch des darüberliegenden Neogens. Das reduzierte Hauptflöz war nicht selten zu Kohlenstaub zerrieben. Gestützt wird diese Deutung von zahlreichen Feldbeobachtungen (s. Abbildungen 9, 10, 11, 12 und 13) sowie von den Ergebnissen des Bohrprogramms.

Die in zahlreichen Aufschlüssen sowie in den Bohrkernen nachgewiesenen Abscherungsflächen ergeben in ihrer Gesamtheit eine, möglicherweise nicht zusammenhängende Abscherungsbahn, die zwischen vorneogenem Grundgebirge und neogener Decke liegt, etwa so, wie sie konstruktiv in den Profilen der Abb. 14 dargestellt ist. Dadurch, daß entlang der Abscherungsbahn immer jüngere Formationsglieder des Neogens über dem Grundgebirge zu liegen kommen, ließe sich die Abscherungsbahn auch als Abschiebungsfäche deuten (s. z. B. in den Profilen C-D und E-F, Abb. 14).

Das Alter der Horizontalbewegungen läßt sich mit „Ende Pliozän“ angeben. Anschließend an die horizontal ausgerichtete Zerschierungstektonik folgte die früher erwähnte, durch vertikale Bewegungen gekennzeichnete Bruchschollentektonik, deren Alter mit „Wende Pliozän-Quartär“ festgelegt werden kann. Die durch die Zerschierungs- und Abscherungstektonik verursachten Komplikationen im Bau des Gebietes von Soma erfuhren durch die Bruchschollentektonik eine weitere Steigerung.

Horizontale Bewegungen größeren Ausmaßes hat erstmalig PAVONI (1961) für die Nordanatolische Störungszone angenommen. Nach I. Ketin (1969) sollen die horizontalen Verschiebungen entlang der Störungszone seit ihrer Entstehung im Pliozän einige Zehner von Kilometern betragen. Diese Zone zieht sich von der

Ägäis im Westen in mehr als 1300 km Länge in W-E-Richtung bis zum Van Gölü in Ostanatolien dahin. Die Nordanatolische Störungszone ist eine eminente Erdbebenzone und wird charakterisiert durch eine Zerreibungstektonik, begleitet von mächtigen Reibungsbrekzien, eingepreßten Gesteinsfetzen und zerquetschten Gesteinslinsen. Diese chaotische Tektonik soll durch großräumige, horizontale Verschiebungen hervorgerufen worden sein. PAVONI glaubt, daß die Zerschering im tieferen Untergrund entlang steilstehender Horizontalverschiebungen zu ebensolchen Zerschörungen und Versetzungen in der darüberliegenden Sedimentdecke führt, sofern es sich um kompetente und massige Sedimente handelt (PAVONI, 1961, S. 126). Das Braunkohlengebiet von Soma ist nur 50—60 km von der Nordanatolischen Störungszone entfernt. Könnten da eventuell genetische Zusammenhänge bestehen zwischen den in vorliegender Arbeit für das Gebiet von Soma beschriebenen Horizontalbewegungen und jenen von PAVONI angenommenen großräumigen Horizontalverschiebungen im Bereich der Nordanatolischen Störungszone?

DANKSAGUNG: Herrn Univ.-Prof. Dr. SADRETTIN ALPAN, Generaldirektor des M.T.A.-Institutes in Ankara, möchte ich für die Publikationserlaubnis dieser Arbeit meinen besten Dank aussprechen.

### Literaturhinweis

- BRINKMANN, R., FEIST, R., MARR, W. U., NICKEL, E., SCHLIMM, W., & WALTER, H. R. (1970): Geologie der Soma Daglari. — M.T.A.-Bull. Nr. 74, 7—23.
- KETIN I. (1969): Über die nordanatolische Horizontalverschiebung. — M. T. A. -Bull. Nr. 72, 1-28.
- KLEINSORGE, H. (1941): Zur Geologie der Umgebung des Braunkohlenvorkommens von Soma, Vilayet Manisa, Türkei. — METEAE, Serie A, No. 5, Ankara.
- NEBERT, K. (1959): Die geologischen Verhältnisse des südlich des Bakir Cay liegenden braunkohlenführenden Neogengebietes von Soma (Vilayet Manisa). — Unveröffentl. M.T.A.-Bericht, Ankara.
- NEBERT, K. (1960): Der geologische Bau des sich nördlich vom Bakir Cay ausdehnenden braunkohlenführenden Neogengebietes von Soma (Vilayet Manisa). — Unveröffentl. M.T.A.-Bericht, Ankara.
- NEBERT, K. (1961): Die geologische und montangeologische Situation des lignitführenden Neogengebietes von Denis (Kaza Soma, Vilayet Manisa). — Unveröffentl. M.T.A.-Bericht, Ankara.
- NEBERT, K. (1976): Das braunkohlenführende Neogengebiet von Soma, Westanatolien. — M.T.A.-Bull. (im Erscheinen).
- PAVONI, N. (1961): Die nordanatolische Horizontalverschiebung. — Geol. Rundschau, 51 (1), 122—139.
- URNER, F. J., & WEISS, L. E. (1963): Structural analysis of metamorphic tectonites. — McGraw-Hill Book Company.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. Karl NEBERT, Riesstraße 58b, 8010 Graz, Österreich.



# Das Internationale Geologische Korrelationsprogramm (IGCP)

Felix RONNER, Wien

## Inhalt

1. Zweck und Ziele des IGCP, sowie kurze Vorgeschichte .....	155
2. Der wissenschaftliche Inhalt und Rahmen des IGCP .....	157
2. 1. Die vier Divisionen des IGCP .....	158
3. Prioritätsbereiche im IGCP .....	159
3. 1. Ordering the past — refining the geological calendar .....	159
3. 2. In the beginning — evolution of the ancient crust .....	159
3. 3. Man's home — his geological environment .....	160
3. 4. Man's need — energy and minerals .....	160
4. Die Durchführung des Programms .....	161
4. 1. Projekt-Kriterien .....	161
5. Organisation für die Koordination und Durchführung des IGCP .....	162
5. 1. IGCP-Nationalkomitees .....	162
5. 2. IGCP-Board .....	162
5. 3. IGCP-Wissenschaftliche Komitees .....	163
5. 4. IGCP-Sekretariat .....	163
5. 5. IGCP-Project Working Groups .....	163
6. Der Mechanismus für die Durchführung des IGCP .....	163
6. 1. Einreichung von Projekt-Vorschlägen .....	163
6. 2. Beurteilung und Bewertung von Projekt-Vorschlägen durch die internationalen Gremien .....	164
6. 3. Start und Arbeitsverlauf der angenommenen Projekte .....	164
6. 4. Teilnahme an ausländischen Projekten .....	165
7. Finanzierung des Programms .....	165
8. IGCP-Publikationen .....	167
8. 1. Publikationen von Projekt-Resultaten .....	167
8. 2. Berichte .....	167
9. Österreichische Beteiligung am bzw. Tätigkeiten im IGCP .....	168
9. 1. Österreichische IGCP-Projekte und österreichische Beteiligung an ausländischen Projekten .....	169
9. 2. Österreichisches IGCP-Nationalkomitee .....	170

## 1. Zweck und Ziele des IGCP sowie kurze Vorgeschichte

Die „Bevölkerungsexplosion“ bringt einen steigenden Bedarf an Konsumgütern jeder Art mit sich, und das bedingt eine vermehrte Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen; ebenso nach den Energieträgern fossile Brennstoffe, Uran und geothermale Ressourcen. Daraus resultiert, daß die Welt schon in wenigen Dekaden mit einer bedenklichen Knappheit einiger Mineralrohstoffe konfrontiert sein wird. Diese Knappheit wird durch den immer schneller steigenden Lebensstandard noch akuter.

Prospektieren, basierend auf verbessertem geologischen Wissen und verbesserten geologischen Methoden, ist essentiell für ein adäquates Ansteigen der bekannten Mineral-Reserven. Geologische Korrelation — im weiten Sinne — wird ein bedeutendes Werkzeug liefern für das Auffinden neuer Lagerstätten und räumliche Ausdehnung bereits bekannter Lagerstätten. Auch muß die Entwicklung ländlicher und städtischer Räume sorgfältig geplant werden, mit gebührender Berücksichtigung rezenter geologischer Geschehnisse und Prozesse.

Auf der anderen Seite müssen die geologischen Wissenschaften allgemeine Prinzipien erarbeiten durch Analyse und Verstehen von regionalen Phänomenen, die vielleicht am klarsten ausgeprägt sein mögen in weit entfernten Teilen der Welt. Forschung in Geologie trägt daher den ausgeprägten Stempel von Ort und Zeit der Entstehung und kann nicht so einfach extrapoliert werden wie Forschungsergebnisse in anderen physikalischen oder chemischen Wissenschaften. Eines der bedeutendsten Konzepte in der Geologie ist z. B. die Beziehung zwischen geologischer Zeit und der Abfolge von Gesteinsschichten. Dieses Konzept wurde üblicherweise an nationalen, traditionellen Erfahrungen modelliert. Ebenso differieren Standardbegriffe, Terminologie und Klassifikationen von Land zu Land. So entwickelten sich die geologischen Wissenschaften entlang verschiedener Linien, und diese divergieren immer stärker mit dem rapiden Anwachsen von angesammelten lokalen Daten und Wissen. Daher würde die Lösung vieler — wenn nicht aller — Probleme weitgehend ermöglicht und beschleunigt werden, wenn Daten von angrenzenden Gebieten, oder sogar von entfernten Kontinenten, den Geologen überall leichter zugänglich gemacht werden könnten. Wir führen gegenwärtig — zum Vorteil geologischer Korrelation — radiometrische Altersdatierung, geophysikalische und geochemische Methoden ein, ebenso neue Konzepte in der Biostratigraphie wie auch Methoden automatischer Datenverarbeitung und spezielle mathematische Techniken. Daher ist es dringend, die nötigen Schritte zu tun, bevor die gegenwärtige Datenexplosion und die folgende, noch schneller beschleunigte Evolution von geologischem Denken ausartet in so hoch spezialisierte regionale oder nationale geologische Sprachen, daß sie praktisch nicht mehr von den Wissenschaftlern anderer Länder und Regionen verstanden werden.

Eine Lösung dieses Problems hat zwei Aspekte: der eine ruft nach Standardisierung und schließt universell anerkannte Definitionen ein (Terminologie), während der andere tätiger Forschung bedarf, um klare Dokumentation zu schaffen, auf welche fehlerfreie kontinentale und interkontinentale Korrelation aufgebaut werden kann. Es ist offensichtlich, daß all das nur durch ein wahrhaft internationales Programm erreicht werden kann, durchgeführt unter einer höchstqualifizierten wissenschaftlichen Autorität und unterstützt durch ein Abkommen auf Regierungsebene.

Das wurde bei einer intergouvernementalen Konferenz von Experten zur Vorbereitung eines Internationalen Geologischen Korrelationsprogramms (IGCP) im Oktober 1971 im Unesco-Hauptquartier festgestellt, an der Delegierte von 52 Staaten — neben vielen Beobachtern — teilnahmen und die ich zu organisieren hatte. Österreich war dabei durch Prof. K. METZ als Delegationsführer, Prof. F. HERMANN und Dr. H. HOLZER repräsentiert. Bei dieser Konferenz wurde mit großer Mehrheit beschlossen, dieses größte internationale Geologieprogramm

als gemeinsames Unternehmen der Unesco und der IUGS (Internationale Union Geologischer Wissenschaften — kurz Geologenunion) zu empfehlen. Durch gleichlautende Resolutionen der beiden Organisationen wurde das IGCP Ende 1972 offiziell gestartet.

Die Vorbereitungszeit dauerte jedoch schon geraume Weile, seit

1964: Es war ein Österreicher, DDr. E. WALTER, der die erdwissenschaftliche Sektion bei der Unesco aufgebaut hatte und der die Idee dieses Korrelationsprogrammes formte. Er fand Verständnis dafür bei der Unesco, war aber zugleich weitblickend genug, daß er die Zusammenarbeit mit der IUGS suchte, um sich der Mitarbeit der Geologenschaft der ganzen Welt zu vergewissern. Im November 1966 nahm die Generalkonferenz der Unesco geologische Korrelation in ihr erdwissenschaftliches Programm auf, und die IUGS-Beobachter regten die Schaffung eines gemeinsamen Langzeitprogramms an.

1967 wurden Prinzipien und Richtlinien von einem Unesco-IUGS-Komitee erarbeitet und

1968 während des (mißglückten) Geologenkongresses in Prag von der IUGS-Hauptversammlung gutgeheißen.

1969 berief Unesco rund 100 Geologen aus allen fünf Erdteilen nach Budapest<sup>1</sup>, um Anregungen für den wissenschaftlichen Inhalt des Programms erarbeiten zu lassen und eine repräsentative Meinung über die Durchführung zu bekommen. Dabei sprach sich die Mehrheit für ein gemeinsames IUGS-Unesco-Programm aus.

Da jedoch die Dringlichkeit für ein solches weltweites Unterfangen erkannt wurde, konstituierte sich ad hoc ein IUGS-Coordinating Panel und startete die ersten Projekte.

Bald aber wurde es klar, daß die *nichtstaatliche* Geologenunion nicht über die Mittel und Macht verfügte, deren die Durchführung eines derart großen Unternehmens bedarf.

1970 wurde daher die Mitarbeit der Unesco angestrebt und die Einberufung einer intergouvernementalen Unesco-Experten-Konferenz beschlossen. Nachdem E. WALTER im Jänner Paris verlassen hatte, übernahm ich im November die Leitung des erdwissenschaftlichen Programms im Unesco-Hauptquartier.

1971 fand im Oktober die eingangs erwähnte intergouvernementale Konferenz statt, die mit dem kühnen Beschluß endete, zum ersten Male ein internationales Langzeitprogramm gemeinsam von einer staatlichen und einer nichtstaatlichen internationalen Organisation zu starten. Die rechtlichen Probleme waren wegen Fehlens von Präzedenzfällen Legion.

## 2. Der wissenschaftliche Inhalt und Rahmen des IGCP

Eine der Hauptgrundlagen zur Lösung geologischer Probleme ist zweifelsohne die gesicherte stratigraphische Zuordnung der betroffenen Erdkrustenteile. So gab es starke Strömungen während der Vorbereitungszeit des IGCP, „geologische Korrelation“ mit „stratigraphischer Korrelation“ gleichzusetzen und ein rein stratigraphisches Programm zu erstellen. Das entspräche aber nicht den ur-

<sup>1</sup> Teilnehmende Österreicher: K. NEBERT, F. RONNER, E. WALTER.

sprünglichen Intentionen und auch nicht den praktischen Erfordernissen der Zeit. Ein weitgespannter Rahmen ist der Idee adäquater, nicht nur wegen der Vielfalt heutiger Forschungsmethoden, sondern auch wegen der weitverzweigten Verschiedenheit geologischer Probleme, die durch Korrelation einer Lösung nähergebracht werden können. Diese reichen von Geochronologie und Stratigraphie über Paläontologie zu magmatischen Vorgängen, Metamorphose, Tektonik und endlich zu Genese, Form und Verbreitung von Minerallagerstätten. Daher wurde aus praktischen Erwägungen, um die Administration des Programms zu ermöglichen, der wissenschaftliche Inhalt des IGCP in drei thematische Divisionen eingeteilt, und eine vierte Division — „Quantitative Methoden und Datenverarbeitung in geologischer Korrelation“ — beigefügt:

## 2. 1. Die vier Divisionen des IGCP

### *Division 1*

Zeit und Stratigraphie:  
Die praktischen Folgerungen.

### *Themen-Gruppen*

- Stratigraphische Prinzipien und die Notwendigkeit für eine gemeinsame Sprache.
- Die Methoden der stratigraphischen Korrelation.
- Standard-Definition der Haupteinheiten einer globalen chronostratigraphischen Skala.

### *Division 2*

Geologische Hauptereignisse in Zeit und Raum und deren Rolle in Umweltprozessen.

- Muster von Erosions-, sedimentären und biologischen Prozessen.
- Muster von magmatischen, tektonischen und metamorphen Prozessen.
- Muster in bezug zu globalen und außer-terrestrischen Prozessen.

### *Division 3*

Verteilung von Minerallagerstätten in Raum und Zeit und Beziehung der erzbildenden Prozesse zu anderen Geschehnissen (Ereignissen) in der Erdgeschichte.

- Brennstoffe und andere nutzbare Mineralien in Sedimentgesteinen.
- Nutzbare Mineralien in Verbindung mit magmatischer Tätigkeit.
- Nutzbare Mineralien in Verbindung mit tektonischen Prozessen.
- Nutzbare Mineralien in Verbindung mit Verwitterung.

### *Division 4*

Quantitative Methoden und Datenverarbeitung in geologischer Korrelation.

- Standardisierung und Datenverarbeitung.
- Geomathematische Methoden.

Der vorgesehene Umfang dieser Publikation verbietet ein näheres Eingehen auf den Inhalt obiger 4 Divisionen und ausgewählter Themen daraus. Es sei daher auf das „Blue Book“ verwiesen, den Report über die Intergovernmental Conference, Oktober 1971, Paris, in dem eingehende Erläuterungen mit Beispielen von möglichen Projekten bzw. allgemeinen Problemen enthalten sind.\*

### 3. Prioritätsbereiche im IGCP

Der Rahmen des IGCP ist, wie aus den 4 Divisionen leicht ersichtlich, so umfangreich, daß fast alle geologischen Probleme darin Platz finden. Das wurde vor allem von Regierungsvertretern vieler Länder kritisiert, die zu bedenken gaben, daß Projekte von rein akademischem Interesse mit den meist ohnehin knappen staatlichen Geldmitteln nicht zusätzlich finanziert werden können. Wissenschaftler wiesen im Gegensatz dazu darauf hin, daß in der Geologie zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung nur in seltensten Fällen eine strikte Unterscheidung zu machen ist. Um nun dem Programm eine — wenn auch nur lockere — Richtung zu weisen und die wichtigsten Probleme vordringlich behandelt zu sehen, wählte der IGCP-Board (der internationale Vorstand des Programms) in seiner ersten Sitzung, 1973 in Paris, vier Prioritätsbereiche aus, ohne jedoch damit gute Projekte anderer Thematik ausschließen zu wollen. Die Titel dieser vier Prioritätsbereiche werden hier englisch wiedergegeben, da ihnen eine Übersetzung ins Deutsche jede Prägnanz nehmen würde.

#### 3. 1. Ordering the past — refining the geological calendar

Das Einordnen geologischer Ereignisse in den Zeitablauf der Erdgeschichte ist das zentrale Anliegen der Geologie. In der Vergangenheit wurden Zeittafeln auf relativer Altersbasis von erstaunlicher Genauigkeit nach dem Vorkommen von Pflanzen- oder Tierfossilien erarbeitet. Das Erfassen und Auswerten von vielen Pflanzen- und Tiergruppen nebeneinander in der gleichen Sedimentschicht und paläoökologische Analysen werden in Zukunft zu noch weit präziseren Einstufungen führen.

Die Entwicklung radiometrischer Verfahren erlaubt eine immer genauer werdende „absolute“ Altersbestimmung von Mineralien und Gesteinen, was von besonderer Wichtigkeit für sehr alte oder fossilere Gesteine ist. In neuester Zeit gewinnen vor allem auch paläomagnetische Messungen größere Bedeutung für die Stratigraphie, in dem Maße, wie die Zeitskala der magnetischen Umpolungen vervollständigt wird. Interkalibration der biostratigraphischen, radiometrischen und paläomagnetischen Methoden wird zu einer kaum erahnten Genauigkeit in der zeitlichen Einstufung geologischer Ereignisse führen und damit zur Klärung vieler noch offener Fragen in unserer Wissenschaft. Es ist evident, daß nur Korrelation auf weltweiter Ebene zu diesem Ziel führen kann.

#### 3. 2. In the beginning — evolution of the ancient crust

Die ältesten Gesteine der Erdkruste wurden im Präkambrium gebildet, während der ersten 4 Milliarden Jahre; das sind 85 % der geologischen Geschichte unseres Planeten.

---

\* Das „Blue Book“ ist unentgeltlich vom IGCP-Sekretariat, Unesco, F 75 700-Paris, erhältlich. Public. No. SC/MD/37.

In präkambrischen Gesteinen liegen die größten und reichsten Lagerstätten einiger Metalle (z. B. Gold, Uran, Nickel, Eisen), bedeutende Lager der meisten anderen nutzbaren Mineralien und in einigen Fällen wahrscheinlich sogar Erdöl. Der Beginn des Lebens fällt in diese Periode, und das Auffinden von mehr Fossilien wird die Evolution der Organismen besser durchleuchten. Hier wartet noch viel Forschungsarbeit, liegen die größten präkambrischen Areale doch in Entwicklungsländern Südamerikas, Afrikas, Indiens und Ozeaniens, von wo erst (relativ) wenige fundierte Daten vorliegen.

Die Spärlichkeit der Fossilfunde und der oft starke Metamorphosegrad der Gesteine bringt spezifische Probleme für die Präkambriumsforschung. Zahllose stratigraphische Lokalskalen müssen korreliert werden, um zu einer allgemeinen, allgemein anerkannten Standard-Stratigraphie zu führen. Damit würde das Prospektieren und Auffinden von Minerallagerstätten bedeutend erleichtert werden.

### 3. 3. Man's home — his geological environment

Quartäre Gesteine, Ablagerungen und Landformen bestimmen zum Großteil Siedlungen und Landwirtschaft des Menschen. Starke Klimaschwankungen mit wiederholtem Vordringen und Rückzügen von Eismassen verursachten den Transport und die Ablagerung von riesigen Sedimentmengen. Diese Sedimente sind bedeckt von Böden, auf denen sich das menschliche Leben von Beginn an abspielt. Große Veränderungen des menschlichen Lebensraumes brachten auch drastische Meeresspiegelschwankungen mit sich.

In den Quartär-Ablagerungen kommen einige wichtige mineralische Rohmaterialien vor, wie Seifenlagerstätten von Schwermineralien (Gold, Diamanten, Monazit, Ilmenit u. a.); von dominierender Bedeutung aber sind Sand-, Schotter- und Ton-Vorkommen für Bauzwecke. Der Wert dieser Lockersedimente übersteigt den aller anderen nutzbaren Minerallagerstätten um ein Vielfaches.

Das Studium quartärer geologischer (und klimatischer) Geschehnisse ist von größtem Nutzen für das Verständnis älterer geologischer Ereignisse und bildet nach dem Aktualitätsprinzip die Schlüssel dazu. Zusätzlich ermöglicht das genaue Erfassen der quartären Ereignisse und deren zeitlicher Ablauf ein Extrapolieren in die Zukunft, die Vorhersage von Naturereignissen, die für die Menschen der betroffenen Regionen von größter Bedeutung sein kann.

### 3. 4. Man's need — energy and minerals

Das enorme Ansteigen des Lebensstandards der Industrienationen wäre ohne die zur Verfügung stehenden Riesenmengen an mineralischen Rohstoffen und mineralischen Energieträgern nicht möglich gewesen. Noch größer wird der Bedarf in der Zukunft sein, vor allem auch in den Entwicklungsländern. Die Bevölkerungsexplosion wird die Situation noch besonders kritisch werden lassen.

Mineralische Rohstoffe sind nicht erneuerbar, und die Reserven einiger werden bereits bedenklich knapp. Auch rückt der Zeitpunkt rasch näher, wo zutage liegende oder mit Routinemethoden aufzufindende Lagerstätten nicht mehr vorhanden sind. Zukünftige Entdeckungen werden nur mehr möglich sein, wenn die geologischen Faktoren, die zur Konzentration von nutzbaren Mineralien geführt haben, weit besser und genauer erfaßt und verstanden werden können.

Es ist zu hoffen, daß (a) die Korrelation von Daten der verschiedensten geologischen Zweige, die bei der Bearbeitung bekannter Lagerstätten gewonnen werden konnten, zu einer weitgehenden Klärung der Erz-Genesen führen wird; (b) durch Korrelation der Faktoren, die zur Konzentration und Ballung zu Lagerstätten an bestimmten Örtlichkeiten führten, Gesetzmäßigkeiten besser erfaßt werden und diese die Exploration neuer Hoffungsgebiete erleichtern werden; und (c) Zeit-Korrelation, die geologische Ereignisse erfassen wird, die zur Bildung von Lagerstätten führten.

#### 4. Die Durchführung des Programms

Alle Mitgliedstaaten der Unesco und alle Mitgliedländer der IUGS sind von den beiden Sponsor-Organisationen eingeladen, sich am IGCP zu beteiligen.

Das IGCP wird primär als ein wissenschaftliches Forschungsprogramm betrachtet, mit dem Ziel, zur Verbesserung der Umwelt beizutragen und das Auffinden von mineralischen Rohstoffen zu erleichtern.

Dies soll in Einzelprojekten geschehen, deren Zahl nicht definiert ist, aber sicherlich eine beschränkte sein muß.

Während bei allen bisherigen internationalen naturwissenschaftlichen Programmen (wie die Internationale Hydrologische Dekade [IHD], das Geodynamics Project, das ausgelaufene Upper Mantle Project und das Mensch-und-Biosphäre-[MAB]-Programm) ein gewähltes internationales Konsortium (Co-ordinating Council) eine mehr oder minder geringe Anzahl von (meist) globalen Großprojekten erfand, die dann den einzelnen Ländern zur Durchführung in meist kleinen nationalen Teilprojekten überlassen wurden, war die Geologenschaft der Ansicht, daß diese Vorgangsweise für ein geologisches Korrelationsprogramm nicht optimal sei:

Korrelation bedarf einer strafferen Organisation auf internationaler Basis.

Die durch Korrelation zu lösenden geologischen Probleme sind so mannigfaltig, daß die Einzelprojekte engere Rahmen haben und schärfer definiert sein müssen.

Da die Geologie eine ortsbedingte Wissenschaft ist, werden nur relativ wenige globale oder interkontinentale Großprojekte vordringlich sein, aber viele regionale und interregionale Projekte von größtem Interesse für viele Staaten.

Und schließlich fand man, daß ein Gremium auch der weisesten Männer nicht unbedingt die besten Ideen für die dringlichsten Korrelationsprojekte haben muß; daß vielmehr die tätige Mitarbeit möglichst vieler Geologen aus möglichst vielen Ländern der Erde zu den besten Projekten führen kann.

*Daber sind alle Geologen eingeladen, Projekt-Vorschläge für das IGCP auszuarbeiten und vorzulegen.*

##### 4. 1. Projekt-Kriterien

Die Projekte müssen (normalerweise) folgenden Kriterien entsprechen:

- a) Sie müssen in den wissenschaftlichen Rahmen des IGCP passen und zu dessen praktischen Zielen beitragen.
- b) Sie müssen einem weltweiten, kontinentalen oder regionalen Bedürfnis entspringen.

- c) Sie sollen verschiedene Zweige der Geologie und angewandten Geologie umfassen und interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordern.
- d) Sie müssen koordinierte internationale Tätigkeiten erfordern und gemeinsames Verständnis zwischen Spezialisten verschiedener Länder bewerkstelligen.
- e) Sie sollen nicht nur langfristig Resultate bringen, sondern auch — wenn immer nur möglich — zu kurzfristigen praktischen Ergebnissen für die teilnehmenden Länder führen.

Obwohl für das IGCP keine Begrenzung der Programmdauer vorgesehen ist, wird doch erwartet, daß die Hauptziele vieler Projekte in nicht mehr als acht Jahren erreicht werden können.

## **5. Organisation für die Koordination und Durchführung des IGCP <sup>2</sup>**

Der organisatorische Apparat für das Programm „ist entworfen für Einfachheit und Effizienz sowohl in der Bewertung, Auswahl und Annahme von Projekten, als auch in der Assistenz und Leitung bei ihrer Durchführung“ („Blue Book“, S. 25). Dazu wurden folgende Körperschaften geschaffen:

### **5. 1. IGCP-Nationalkomitees:**

Das Programm ist ein internationales Unternehmen wissenschaftlicher Zusammenarbeit zwischen den teilnehmenden Ländern. Die Durchführung des Programms liegt daher primär in der Verantwortlichkeit dieser Länder, während die internationalen Sponsor-Organisationen (Unesco und IUGS) für die nötige Stimulierung, Koordination und Hilfestellung sorgen werden, derer solch ein Unternehmen bedarf.

Um nun eine maximale nationale Beteiligung am IGCP zu sichern, um diese nationale Teilnahme zu definieren und durchzuführen und um die nötigen internationalen Kontakte zu gewährleisten, ist jedes teilnehmende Land aufgefordert, ein IGCP-Nationalkomitee zu etablieren.

### **5. 2. IGCP-Board:**

Der IGCP-Board, der internationale Vorstand des Programms, ist zusammengesetzt aus 15 Mitgliedern, die alle zwei Jahre gemeinsam vom Generaldirektor der Unesco und dem Präsidenten der IUGS ernannt werden, und zusätzlich aus je einem ex-officio-Mitglied der beiden Organisationen (ohne Stimmrecht). Die ernannten Mitglieder sollen Erd-Wissenschaftler sein, die aktiv tätig sind in Forschung, die Bezug zu den Zielen des IGCP hat. Eine gewisse Repräsentanz nach geographischen Gesichtspunkten soll dabei berücksichtigt werden. Kein Mitglied soll dem Board länger als sechs Jahre ohne Unterbrechung angehören dürfen.

Der Board soll verantwortlich sein für die Leitung, Aufsicht der Durchführung des IGCP, und zwar in organisatorischer wie auch in wissenschaftlicher Hinsicht, für das Studium von Vorschlägen bezüglich Modifikationen des Programms und für die Koordination der internationalen Zusammenarbeit im Rahmen des IGCP.

---

<sup>2</sup> Siehe F. RONNER in *Geological Correlation* 1, Paris 1973.

### 5. 3. IGCP-Wissenschaftliche Komitees:

Um den Board in wissenschaftlicher Hinsicht zu beraten, wurden drei „Scientific Committees“ zu je 6 bis 8 Mitgliedern eingesetzt, die nach rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt wurden (gemeinsam von IUGS und Unesco). Sie sind zuständig für die drei thematischen Divisionen: Zeit und Stratigraphie, Geologische Hauptereignisse in Zeit und Raum, Minerallagerstätten.<sup>3</sup> (Dr. H. HOLZER/GBA wurde in das Scient. Comm. No. 3 berufen.)

Die Scientific Committees sollen Projekt-Vorschläge hinsichtlich ihres wissenschaftlichen Wertes und ihres ökonomischen Interesses sowie ihrer Eignung und Dringlichkeit für das IGCP prüfen und Empfehlungen darüber für den Board ausarbeiten. Sie haben ferner die Tätigkeitsberichte und Arbeitspläne der laufenden Projekte zu bewerten sowie allgemeine wissenschaftliche Vorschläge im Zuge des Programmablaufes dem Board zu unterbreiten.

### 5. 4. IGCP-Sekretariat

Das IGCP-Sekretariat hat eine angemessene Liaison zwischen den nationalen und internationalen Körperschaften herzustellen und zu pflegen. Es ist das Verteilungszentrum für allen IGCP-Schriftenverkehr, empfängt Projekt-Vorschläge und Berichte, nationale Meldungen und Vorschläge, bereitet die Board- und Scientific-Committees-Sitzungen vor und gibt die Zeitschrift „Geological Correlation“ in Englisch und Französisch heraus. Der Leiter des Sekretariats ist gleichzeitig der Sekretär des IGCP-Board und der Scientific-Committees (Erster Sekretär bis Ende März 1974 F. RONNER, jetzt H. v. BRAUN aus der BRD.) Das Sekretariat ist im Unesco-Hauptquartier, Paris, untergebracht.

### 5. 5. IGCP-Projekt-Working Groups:

Jedes IGCP-Projekt wird von Wissenschaftlern der teilnehmenden Länder durchgeführt.

Repräsentanten dieser Wissenschaftler (der verschiedenen teilnehmenden Länder) bilden in der Regel eine „Project Working Group“.

Diesen Projekt-Arbeitsgruppen ist keine bestimmte Organisationsform vorgeschrieben: sie sind in der Durchführung ihrer Vorhaben autonom, jedoch haben sie regelmäßig über ihre Tätigkeiten und Arbeitsprogramme zu berichten.

## 6. Der Mechanismus für die Durchführung des IGCP

### 6. 1. Einreichung von Projekt-Vorschlägen

IGCP-Projekt-Entwürfe können von Einzelpersonen, Personengruppen, Vereinigungen, nationalen Institutionen ausgearbeitet werden und sind auf entsprechenden Formblättern beim IGCP-Nationalkomitee einzureichen (Sekretariat GBA).

Das Nationalkomitee begutachtet die eingelaufenen Projektentwürfe und übermittelt die gutgeheißenen<sup>4</sup> als „Project-Proposals“ an das IGCP-Sekretariat in

<sup>3</sup> Für die 4. Division (Quantitative Methoden) sind das IUGS-Komitee „GEODATA“ und die Internationale Assoziation für mathematische Geologie zuständig.

<sup>4</sup> Das erwies sich aus zwei Gründen als unbedingt notwendig: 1. weil ohne Siebung durch die Nationalkomitees das IGCP-Sekretariat, Paris, sonst mit unzähligen, z. T. wertlosen bis unsinnigen Vorschlägen überschwemmt würde, und 2. weil ohne Zustimmung des Nationalkomitees die Finanzierung des betreffenden Projektes nicht gesichert wäre.

Paris (in der Regel bis 30. November) zur Beurteilung durch die Scientific Committees und den IGCP-Board.

Projekt-Vorschläge können aber auch von der oder durch (über) die Geologunion — z. B. von einer IUGS-Subkommission — und von der Unesco eingereicht werden (ohne Gutheißung eines Nationalkomitees).

## 6. 2. Beurteilung und Bewertung von Projektvorschlägen durch die internationalen Gremien

Die Scientific Committees treten üblicherweise in der zweiten Jännerhälfte jeden Jahres zusammen und geben nach eingehendem Studium der eingelaufenen Projekt-Vorschläge ihre Empfehlungen an den Board. Dabei wird nicht nur der wissenschaftliche Wert beurteilt, sondern auch auf ähnliche Projekte hingewiesen oder darauf, ob das Projekt nicht besser in einem anderen Programm oder in einer anderen Organisation durchzuführen wäre (z. B. Geodynamisches Projekt, Stratigraphische Kommission der IUGS).

Der IGCP-Board berät dann (meist in der zweiten Aprilhälfte) jeden Projektvorschlag — unter Berücksichtigung der Scientific-Committees-Empfehlungen — und ordnet ihn einer der folgenden vier Kategorien zu:

- A. *Schlüssel-Projekte*: gut vorbereitete und entwickelte internationale Projekte von großer Wichtigkeit für die Forschung in einer (oder mehreren) der wissenschaftlichen Divisionen des IGCP.
- B. *Potentielle Groß-Projekte*: solche, die als Nuclei für Schlüsselprojekte angesehen werden können.
- C. Projekt-Vorschläge, die, obwohl sie in der vorliegenden Form nicht in das Programm aufgenommen werden können, zu internationalen Projekten modifiziert und entwickelt werden könnten; dann wäre eine Annahme möglich.
- D. Projekt-Vorschläge, die in der vorliegenden Form nicht den Zielen des IGCP entsprechen oder die wahrscheinlich nicht genügende internationale Unterstützung erwarten lassen, um eine Aufnahme in das Programm zu rechtfertigen.

Projekt-Vorschläge, die in die Kategorien A und B eingestuft sind, gelten als angenommen und werden dadurch IGCP-Projekte. Von Vorschlägen der Kategorie C wird üblicherweise erwartet, daß sie, im Sinne von speziellen Empfehlungen oder Auflagen des Boards, umgearbeitet oder ergänzt und neuerlich eingereicht werden.

## 6. 3. Start und Arbeitsverlauf der angenommenen Projekte

Nach der Annahme eines Projekts-Vorschlages durch den IGCP-Board werden alle Mitgliedstaaten der Unesco (bzw. Mitgliedländer der IUGS) und alle IGCP-Nationalkomitees verständigt und zur Mitarbeit eingeladen. Jedes Land bestimmt dann über die Teilnahme oder Nicht-Teilnahme. Im Falle der Teilnahme an einem Projekt nimmt das Nationalkomitee (oder ein Repräsentant) direkt Kontakt auf mit dem Einreicher des Projektes und verständigt gleichzeitig das IGCP-Sekretariat von dieser Entscheidung.

Es ist erwartet, daß der Vorschlagende des angenommenen Projektes sobald wie möglich ein Arbeitstreffen von Wissenschaftlern aller interessierten Länder und internationalen Organisationen einberuft. Dabei sollte ein provisorisches Arbeitsprogramm mit dem zugehörigen Fahrplan ausgearbeitet werden.

Wenn sich danach die am Projekt mitarbeitenden Länder endgültig zur Teilnahme entschlossen haben, wird aus den Repräsentanten (Leitern der nationalen Gruppen) die „Working Group“ etabliert, die dann ihren eigenen Vorstand wählt. Dieser Projekt-Leiter (Project-Leader) muß nicht unbedingt der Projekt-Vorschlagende sein.

Ein Bericht über das erste Arbeitstreffen und folgende Jahresberichte (Tätigkeitsberichte und geplante Arbeitsprogramme) der Working Groups sind bis jeweils 30. November (über die Nationalkomitees) an das IGCP-Sekretariat, Paris, zu senden und werden von den entsprechenden Scientific Committees und dem Board beurteilt. Nach Beendigung jedes IGCP-Projektes soll ein Endbericht publiziert werden.

#### 6. 4. Teilnahme an ausländischen Projekten

Wird ein Wissenschaftler zur Mitarbeit an einem ausländischen Projekt eingeladen, so hat er seine Bereitschaft dazu dem Nationalkomitee zu melden und — falls erforderlich — um Mittel für seine nationalen Aktivitäten anzusuchen. (Dasselbe gilt für Gruppen.) Das Nationalkomitee entscheidet ob darüber, die Teilnahme an dem betreffenden Projekt als offizieller Beitrag (Österreichs) wünschenswert und inwieweit eine Finanzierung aus dem IGCP-Budget möglich ist. Ist ein Wissenschaftler an der Mitarbeit an einem ausländischen Projekt interessiert, ohne eingeladen zu sein, so mag er sich mit dem Projekt-Leiter in Verbindung setzen und danach seine beabsichtigte Teilnahme — wie oben — dem Nationalkomitee melden.

Lehnt das Nationalkomitee die Teilnahme an einem ausländischen Projekt als offiziellen Beitrag (Österreichs) ab (z. B. wegen Finanzierungsschwierigkeiten), so kann der Wissenschaftler trotzdem, aber nur in *privater Eigenschaft*, an dem Projekt mitarbeiten.

### 7. Finanzierung des Programms

Annahme eines Projektes durch den IGCP-Board bedeutet nicht finanzielle Unterstützung durch Unesco oder IUGS. Es wurde von den beiden Organisationen klargestellt (s. F. RONNER in „Geological Correlation“ 1, 1973, S. 14), daß — jedes Land, das an einem IGCP-Projekt mitarbeitet, die Kosten seiner nationalen Teilnahme selbst trägt,

— die Auslagen für die Aktivitäten der Working Groups von den einzelnen Teilnehmerländern bezahlt zu werden haben.

Jedoch ist sich der Board bewußt, daß dies nicht in allen Fällen in vollem Umfang möglich sein wird — vor allem in Entwicklungsländern, deren Teilnahme wegen der spärlicher erhältlichen geologischen Daten gerade am nötigsten ist. Daher empfiehlt er Unesco und IUGS, soweit es deren Mittel für das IGCP gestatten, die Etablierung von Project Working Groups — vor allem in den Anfängen — zu unterstützen, internationale Konsultationen zu ermöglichen und Symposia zu sponsern, die End- oder zumindest Interimsresultate erarbeiten sollen.

Unesco und (in geringerem Umfang) IUGS stimmten zu, in begrenztem Ausmaß zur wissenschaftlichen Durchführung bestimmter IGCP-Projekte finanziell bei-

zutragen.<sup>5</sup> Außerdem bietet Unesco unentgeltlich Konferenzräume, Büromaterial und Sekretariatshilfe für IGCP-Treffen (z. B. von Working Groups) an. Die Hauptlast der Programmfinanzierung haben jedoch die teilnehmenden Länder selbst zu tragen. In Österreich ist die Situation keineswegs optimal: Das IGCP-Nationalkomitee erhielt 1973—1975 je S 500.000.— vom Staat zur Verteilung (1974 wurden 20% davon einbehalten), und der IGCP-Nationalkommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften stand rund die Hälfte obigen Betrages zur Verfügung. Um diese geringen Mittel möglichst effektiv anzulegen, arbeitete der Budgetausschuß des Nationalkomitees einige wenige Richtlinien aus, die Antragsteller berücksichtigen sollten:

— Jedes Ansuchen soll auf einem detaillierten Arbeitsprogramm basieren, mit möglichst genauer Kostenerstellung.

— Die einzelnen geplanten Arbeitspunkte sollen mit Prioritätsziffern versehen sein, damit das Nationalkomitee nicht (wegen mangelnder Informiertheit) eventuell unerwünschte Prioritäten setzen muß, falls nicht alle Finanzierungswünsche erfüllt werden können.

— Bei bereits angelaufenen Projekten (bzw. Teilnahme an ausländischen Projekten) ist die Gewährung von weiteren Geldmitteln abhängig von positiv beurteilten Tätigkeitsberichten und einer befriedigenden Rechnungslegung über die im Vorjahr verwendeten Mittel.

Auch für die Verwendungsmöglichkeiten von IGCP-Geldern sind einige Regeln zu beachten:

— Nicht bezahlt können Leistungen von in einem Dienstverhältnis stehenden (oder selbständigen) Mitarbeitern werden, wohl jedoch können Tagesgelder, Nächtigungen und Kilometerentschädigungen (bei notwendigen Fahrten mit eigenem Fahrzeug) verrechnet werden.

— Nicht bezahlt können Überstunden werden; d. h. alle Leistungen von wissenschaftlichen Mitarbeitern, die ja durchwegs auf freiwillige Mitarbeit zurückgehen, können nicht honoriert werden.

— Bezahlt kann werden: a) Anfertigen von Präparaten (z. B. Dünn-, An- und paläontologische Schliffe, Schlämmproben, Zureichten von paläontologischen Proben, Schwermineralseparation u. ä. m.).

— Vorarbeiten für die Drucklegung von wissenschaftlichen Publikationen über Projekt-Ergebnisse (z. B. Zeichenarbeiten).

— Kleine Aufschlußarbeiten im Gelände (z. B. Hanganrisse, Schurfroschen, kleine Sprengungen, Freilegen von Profilschnitten usw.).

— Ebenfalls beantragt können werden: Reisekosten und Tagesdiäten (-Zuschüsse) zur Teilnahme an Projekt-Arbeitssitzungen und Projekt-Exkursionen; Zuschüsse für die Organisation von Projekt-Arbeitssitzungen und Projekt-Exkursionen in Österreich sowie Reisekosten- und Tagesdiäten-Zuschüsse von ausländischen Teilnehmern daran.

---

<sup>5</sup> Die beiden Organisationen kommen ferner für die Kosten des Sekretariats mit allen Angestellten, Material, Übersetzungen, Dokumentation, Verteiler- und Postspesen u. a. m. sowie für die Publikation der IGCP-Nachrichten (z. B. „Geological Correlation“) auf. Ferner zahlt Unesco die bedeutenden Reise- und per diem-Spesen für die Board- und Scientific Committees-Mitglieder zu deren jährlichen Sitzungen.

— Nicht gewährt werden können Mittel zur Deckung von Administrationskosten, wie Postgebühren, Büromaterial und Sekretariatsspesen.

Die Verwendung von aus anderen Quellen stammenden Hilfen ist erwünscht. Ansuchen um Finanzierungshilfe von Unesco oder IUGS können nur von Project-Leaders direkt oder durch das Österreichische IGCP-Nationalkomitee an das IGCP-Sekretariat, Paris, bzw. den IUGS-Generalsekretär gerichtet werden.

## 8. IGCP-Publikationen

Es ist zwischen vier Arten von Informationsmaterial über das IGCP zu unterscheiden, die veröffentlicht werden müssen:

Berichte des IGCP-Boards, der Scientific Committees, der Project Working Groups und anderer Organe des Programms.

Informationen über laufende und zukünftige Aktivitäten im Rahmen des IGCP. Artikel und Bücher (oder thematische Zeitschriftenhefte) über wissenschaftliche Ergebnisse von IGCP-Projekten.

Bibliographische Zusammenstellungen von Publikationen über IGCP-Projekte. Diese vier Arten lassen sich zu zwei Gruppen zusammenstellen, zu (in der Unesco-Terminologie) „Publikationen“ und „Berichten“ (reports).

### 8. 1. Publikation von Projekt-Resultaten

Dazu sollen womöglich Zeitschriften mit weiter Verbreitung gewählt werden. Zusammenfassungen in zumindest einer der beiden IGCP-Arbeits Sprachen Englisch oder Französisch sind dringend empfohlen. Die Publikationen haben an prominenter Stelle, möglichst nahe zum Titel (aber nicht in einer bibliographischen Position), einen Hinweis zu führen, daß es sich um einen Beitrag zum Internationalen Geologischen Korrelationsprogramm handelt (Projekt-Nummer und Titel!).

Ebenfalls hat beim Titel das IGCP-Symbol gedruckt zu sein. Bei Büchern hat das Symbol auf der Titelseite und, wenn technisch möglich, auch auf dem Umschlag aufzuscheinen.

Die Projekt-Einreicher bestätigen bereits auf den Vorschlagsformularen mit ihrer Unterschrift, daß diese Anforderungen eingehalten werden sowie weiters, — daß von jeder Publikation von Projekt-Mitarbeitern über Projekt-Themen mindestens zwei Separata an das IGCP-Sekretariat, Paris, eingeschickt werden, — daß mit jedem Jahresbericht eine Liste aller Veröffentlichungen über Themen ihres Projektes dem Sekretariat übermittelt wird.

Diese strikten Auflagen erschienen notwendig, da die Erfahrung lehrt, wie schwer sonst ein Überblick über Aktivitäten internationaler Programme für Interessierte zu erlangen ist.

### 8. 2. Berichte

Ausführliche Berichterstattung über möglichst viele Programmtätigkeiten, geplante Aktivitäten und Trends sind ein äußerst wichtiges Instrument, intern, um dem Programm eine gewisse Arbeitseinheit zu gewährleisten, und vor allem auch, um nach außen hin die Identität, die Wichtigkeit und den Umfang sowie

die Qualität des Programms zu manifestieren; und zwar sowohl gegenüber den entsprechenden nationalen Institutionen der teilnehmenden Länder als auch auf internationaler Ebene.

Daher ist es essentiell, daß Tätigkeitsberichte, Arbeitsprogramme, Zeitpläne und Berichte über Symposia und deren Ergebnisse etc. von den Working-Group-Leitern an das IGCP-Sekretariat (über das Österreichische IGCP-Nationalkomitee) eingesandt werden (der Projekt-Einreicher verpflichtet sich dazu mit seiner Unterschrift).

Folgende internationale Publikationsorgane bringen Berichte über das IGCP: „*Geological Correlation*“ wird vom IGCP-Sekretariat in zwangloser Folge herausgegeben und beinhaltet: Informationen über Nationalkomitees, über Symposia, Arbeitstagen und sonstige Treffen, die das IGCP zum Gegenstand haben, allgemeine Trends in bezug auf Projekt-Vorschläge, angenommene Projekte; die Jahresberichte der Sitzungen des IGCP-Boards und (als Zusammenfassungen) der Scientific Committees; Zusammensetzungen und Arbeitspläne sowie Tätigkeits- und Fortschrittsberichte der Project Working Groups, Bibliographien aller IGCP-Projekte, Sekretariatsmeldungen u. ä. m.

Zusätzliche Informationen, vor allem über laufende und zukünftige Aktivitäten im Rahmen des IGCP, erscheinen in „*Nature and Resources*“ der Unesco und in „*Geological Newsletter*“ der IUGS.<sup>6</sup>

In Österreich erscheinen nationale Tätigkeitsberichte, Listen und Kurzbeschreibungen aller angenommenen Projekte und andere wichtige Informationen über das IGCP in den Jahresberichten der Geologischen Bundesanstalt.

## 9. Österreichische Beteiligung am bzw. Tätigkeiten im IGCP

Bei seiner ersten Sitzung, Mai 1973 in Paris, bei der der IGCP-Board die Richtlinien für die praktische Gestaltung des Programms sowie dessen Prioritätsbereiche ausarbeitete und alle Länder zur Einreichung von Projekt-Vorschlägen aufforderte, wurde von Österreich die Einladung ausgesprochen, die zweite Sitzung in Wien abzuhalten. Dieser Vorschlag wurde wärmstens begrüßt und von Unesco und IUGS angenommen. Dieses erste Treffen außerhalb des Unesco-Hauptquartiers fand vom 22. bis 26. April 1974 in der Geologischen Bundesanstalt statt. Außer den 15 Board-members nahmen der stellvertretende Generaldirektor der Unesco für Naturwissenschaften, der IUGS-Generalsekretär, der Generalsekretär der österr. Unesco-Kommission, die Präsidenten des Österr. IGCP-Nationalkomitees und der Österr. Akademie der Wissenschaften, Vertreter der Vereinten Nationen, der Internationalen Atomenergie-Agentur (IAEA), des Internationalen Dachverbandes der wissenschaftlichen Unionen (ICSU), der Internationalen Assoziation für Quartärforschung (INQUA), der Inter-Unions-Kommission für Geodynamik sowie der Internationalen Assoziation für Mathematische Geologie (IAMG) teil. Delegierte von Finnland, Syrien und der Sowjet-Union waren als Beobachter anwesend.

---

<sup>6</sup> „*Geological Correlation*“ und „*Nature and Resources*“ sind (kostenlos) durch das IGCP-Sekretariat, Paris, „*Geological Newsletter*“ ist vom IUGS-Generalsekretär zu beziehen.

Unter den 92 eingereichten Projekt-Vorschlägen waren 4 österreichische. 28 Vorschläge wurden angenommen, darunter 3 österreichische (Kategorie A und B, siehe 6.2.)<sup>7</sup>, das vierte wurde zur Wiedereinreichung empfohlen (Kategorie C). *Damit ist Österreich mitführend in der Welt.*

### 9. 1. Österreichische IGCP-Projekte und österreichische Beteiligung an ausländischen Projekten

Die österreichischen Projekte sind:

No. 73/1/3 „Ore provinces separated by continental drift“ von W. E. PETRASCHECK und F. HERMANN (A-Projekt).

No. 73/1/4 „Upper Triassic of the Tethys realm“ von H. ZAPPE, in das ein rumänisches Projekt (No. 73/1/57) eingeschlossen werden soll (B-Projekt).

No. 73/1/6 „Base metals in Eastern Europe and the Mediterranean“ von L. KOSTELKA, in das Teile eines polnischen Projektes (No. 73/1/15) eingeschlossen werden sollen (B-Projekt).

No. 73/1/5 „Correlation of Prevariscid events in Austria and S.E.-Europe“ von H. FLÜGEL (C-Projekt).

Für alle vier Projekte wurden 1974 oder 1975 Arbeitstagungen in Österreich abgehalten, die sich sehr regen internationalen Interesses und guter Beteiligung erfreuten.

Österreichische Wissenschaftler oder Gruppen beteiligen sich — mit offizieller Zustimmung durch das IGCP-Nationalkomitee — an folgenden ausländischen Projekten:

No. 73/1/23 „Genesis of Kaolins“ von M. KUZVART (ČSSR): P. WIEDEN.

No. 73/1/24 „Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere“ von V. ŠIBRAVA (ČSSR): J. FINK.

No. 73/1/39 „Ophiolites“ von N. BOGDANOV (USSR): H. HOLZER.

No. 73/1/53 „Ecostratigraphy“ von K. LARSSON (Schweden): Gruppe H. P. SCHÖNLAUB.

No. 73/1/58 „Mid-Cretaceous events“ von R. A. REYMENT (Schweden): Gruppe R. OBERHAUSER (plus A. TOLLMANN).

Alle Projektträger bzw. Mitarbeiter erhalten finanzielle Zuwendungen vom Österr. IGCP-Nationalkomitee, teilweise auch von der IGCP-Kommission der Österr. Akademie der Wissenschaften bzw. der Unesco oder der IUGS. Tätigkeitsberichte über österreichische Aktivitäten in IGCP-Projekten erscheinen regelmäßig im Jahresbericht der Geologischen Bundesanstalt (erstmalig für 1974); ebenfalls sind dort eine Liste und Kurzerläuterungen aller angenommenen IGCP-Projekte publiziert.

---

<sup>7</sup> Beim Board-meeting 1975, im April in London, wurden auch die österreichischen B-Projekte zu A-Projekten erhoben.

## 9. 2. Österreichisches IGCP-Nationalkomitee

Das Österr. Nationalkomitee setzt sich wie folgt zusammen:

— Vertreter der Bundesministerien für Auswärtige Angelegenheiten, für Finanzen, für Wissenschaft und Forschung, für Unterricht und Kunst und der Österr. Akademie der Wissenschaften.

— Generalsekretär der österr. Unesco-Kommission.

— Geowissenschaftler:

Prof. Dr. H. ZAPFE — Präsident (bis Ende 1974 Vizepräsident).

Prof. Dr. W. E. PETRASCHECK — Vizepräsident (bis Ende 1974 Präsident).

Prof. Dr. F. RONNER — Sekretär.

Prof. Dr. K. METZ (Schatzmeister der IUGS).

Prof. Dr. F. HERMANN.

Prof. Dr. A. TOLLMANN.

Prof. Dr. E. TROGER (Vorsitzender des Naturwiss. Ausschusses der österr. Unesco-Kommission).

DDr. E. WALTER (BM. f. W. u. F.).

Frau Dr. E. STEPAN (BM. f. W. u. F.).

Anschrift des Verfassers: Hofrat Prof. Dr. FELIX RONNER, Direktor der Geologischen Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1030 Wien.

## Zwei Beispiele zum Einsatz von Polynomial-Trendflächen-Analysen bei geologischen Fragestellungen

Wolfdietrich SKALA, Berlin

Mit 7 Abbildungen

### Zusammenfassung

Zielsetzungen und Arbeitsweisen von Trendflächen-Untersuchungen werden an Hand ausgewählter Beispiele beschrieben. In den Konturkarten sedimentologischer Merkmale der Heisdorfer Schichten (Oberes Emsium) der Kalkmuldenzone der Eifel (BRD) zeichnen sich möglicherweise paläogeographisch bedeutsame Strukturen ab, deren Längsachsen annähernd senkrecht zum variszischen Streichen verlaufen. Aus einer Überarbeitung der erdmagnetischen Messungen in der südlichen Steiermark von K. FORBERGER & K. METZ 1939 wird die Bedeutung der Untersuchung von Restwerten ersichtlich: Während großräumige Untergrundstrukturen annähernd durch die konturierten Trendflächen abgebildet werden, lassen sich die durch die Vulkanmassive erzeugten extremen Abweichungen des erdmagnetischen Feldes aus einer Karte der Residuen erkennen.

### Einleitung

Trend-Analysen beschäftigen sich mit der quantitativen Erfassung und Beurteilung systematischer Veränderungen. Dies geschieht, geometrisch ausgedrückt, durch deren Darstellung in Linien, Flächen oder mehrdimensionalen Hyperflächen, die sich den untersuchten Daten möglichst genau anpassen. Die mathematische Verwirklichung erfolgt durch die Erstellung von Trend-Funktionen, die einem Optimierungs-Kriterium (im allgemeinen dem „Kriterium der kleinsten Quadrate“) genügen. Die Auswahl der Funktionsklasse bleibt dem Bearbeiter überlassen. Je nach der Art des zu erwartenden Trends, eignen sich als Trend-Funktionen meist Polynome, harmonische Funktionen oder Exponential-Funktionen.

Soll die Polynomial-Trend-Analyse Probleme der bivariaten Statistik lösen, so spricht man häufig von linearer oder nichtlinearer Regressions-Rechnung, je nachdem man versucht, eine der beiden Variablen durch ein Polynom ersten oder höheren Grades zu approximieren. Aus der Regressionsgleichung läßt sich jedoch nicht der Zusammenhang zweier Größen ansehen — hierzu sind andere Verfahren (Korrelations-Rechnung, Eigenwert-Analyse) erforderlich.

In den Geowissenschaften ergibt sich häufig die Fragestellung, in welcher Weise und mit welcher Sicherheit von zwei Größen auf eine dritte zu schließen sei. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Lage von Beobachtungspunkten eines untersuchten Merkmals durch ihre geographischen Koordinaten angegeben wird. In solchen Fällen versucht die Trend-Analyse, die Beobachtungswerte durch Funktionen zu approximieren, die sich geometrisch als Flächen (Trendflächen) dar-

stellen lassen. Form und Lage der Trendflächen wird durch die Koeffizienten der gewählten Funktionen bestimmt. Steigt mit dem Grad der Funktion die Anzahl deren Koeffizienten, so verbessert sich die Anpassung der Trendfläche an die Beobachtungswerte. Erreicht die Anzahl der Koeffizienten die der Beobachtungswerte, so kommt es zu deren vollständiger Ausgleichung (Interpolation). Diese ist im allgemeinen jedoch nicht Ziel der Trendflächen-Analyse. Sie soll vielmehr versuchen, systematische Schwankungen einer Merkmalsgröße durch möglichst einfache Trends (Funktionen mit wenigen Koeffizienten) zu erklären. Dadurch bleiben, durch die Trendfläche nicht erfaßbare, mehr oder weniger große Restdifferenzen der Beobachtungswerte (Residuen) erhalten, deren Untersuchung zusätzliche Informationen erbringen kann (D. F. MERRIAM & J. W. HARBAUGH 1964).

Die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Trendflächen wird in der Literatur mit Hilfe verschiedener Verfahren durchgeführt. Neben der Ermittlung des Bestimmtheitsmaßes in Prozenten wird häufig eine Berechnung von Konfidenzflächen (W. C. KRUMBEIN 1963) oder eine Beurteilung von Varianz-Verhältnissen mit Hilfe des Snedecor-f-Tests zur Feststellung der Signifikanz von Koeffizienten der Trend-Funktionen erstellt. Dieser letztere statistische Test hat jedoch nur unter Grundvoraussetzungen Gültigkeit, die vor jeder Trend-Untersuchung überprüft werden sollten:

Die Residuen müssen an allen Stellen des Untersuchungsgebietes normal verteilt und homoskedastisch sein, also konstante Varianz besitzen. Außerdem sollten die Beobachtungspunkte über das Arbeitsgebiet in statistischem Sinne möglichst gleichmäßig verteilt sein, eine Forderung, die sich unter schlechten Aufschlußverhältnissen meist nicht verwirklichen läßt.

Über Trendflächen-Untersuchungen geowissenschaftlicher Probleme existiert eine bereits umfangreiche Literatur. Für die Entwicklung dieses Arbeitsgebietes in den letzten Jahren waren Arbeiten, wie C. H. G. OLDMAN & D. B. SUTHERLAND 1955, E. H. T. WHITTEN 1959, R. L. MILLER 1956 und W. C. KRUMBEIN 1956 richtungweisend. Zur Berechnung der Trendfunktionen und ihrer graphischen Darstellung in Konturkarten mit Hilfe der EDV wurden speziell für geowissenschaftliche Probleme bereits mehrere Rechenprogramme publiziert (J. ESLER, P. F. SMITH & J. C. DAVIS 1968, W. R. JAMES 1966, W. T. FOX 1967, A. T. MIESCH & J. J. CONNOR 1968).

In der Folge soll der Einsatz der Trendflächen-Analyse an Hand zweier ausgewählter Beispiele erläutert werden. Die Untersuchungen erfolgten über das Terminal des Institutes für Geologie der Freien Universität Berlin zum Großrechenzentrum für die Wissenschaft in Berlin (TR 440) mit Hilfe der Rechenprogramme KWIKR 8 von J. ESLER, P. F. SMITH & J. C. DAVIS 1968 (modifiziert durch Prof. Dr. E. Walger, Kiel) und TREND von Dr. E. Mundry, Hannover.

### **Sedimentologische Daten aus den Heisdorfer Schichten (Oberes Emsium) der Eifeler Kalkmulden-Zone (BRD)**

Die Kalkmulden-Zone der Eifel (linksrheinisches Schiefergebirge) stellt im Devon einen von den zentralen Teilen des rheinisch-ardennischen Variszikums durch Inseln oder Schwellen abgetrennten Bereich relativ geringmächtiger Sedi-



Abb. 1: Die Heisdorfer Schichten (Oberes Emsium) der Eifel (BRD). Ausstrichlinien schematisiert nach W. SKALA 1974.

mentation dar. Wie die eingehenden palökologischen und paläogeographischen Studien von W. STRUVE 1961 und 1963 gezeigt haben, ist diese fazielle Sonderstellung vor allem im Mitteldevon erkennbar. Dagegen sind vor allem die lithofaziellen Verhältnisse des vorwiegend klastisch ausgebildeten Unterdevons der Eifel bislang wenig erforscht. Mit einer sedimentologischen Bearbeitung der von L. HAPPEL 1932 an Profilen im Raume um Wetteldorf-Schönecken südlich Prüm definierten Heisdorfer Schichten (Abb. 1) begann W. SKALA 1974. In der wechselvollen Gesteinsausbildung dieses Schichtglieds im Dach des Oberems vollzieht sich die Ablösung der sandig-tonigen Sedimentation des Unterdevon durch die mitteldevonische kalkig-mergelige Fazies. Zur Variabilität der Gesteinszusammensetzung innerhalb von Profilen kommen auffallende litho- und biofazielle Änderungen, die Autoren wie R. WERNER 1972 und andere zur Differenzierung der Heisdorfer Schichten in Faziesbereiche innerhalb von Teilgebieten der Eifel veranlaßte.

Die Geländeaufnahme erfaßte 94 Profile, aus deren Fossilführung bzw. deren Lithologie eine Zuordnung zu den Heisdorfer Schichten zu vermuten war. Eine biostratigraphische Abgrenzung der Heisdorfer Schichten gegen die hangenden Laucher Schichten (Basis des Eifeliums) war in Einzelfällen möglich, eine genaue Grenzziehung gegen das Liegende (Wetteldorfer Schichten) ließen weder Fossilinhalt noch lithologische Kriterien zu. Die Frage nach den Mächtigkeits-Verhältnissen der Heisdorfer Schichten (durchschnittlich etwa 20 m?) muß somit weitgehend unbeantwortet bleiben.

In chemischen Analysen und an Dünnschliffen von 1500 Proben wurde die vertikale Variabilität der stofflichen Zusammensetzung und der Korngrößen-Verhältnisse von Profilabschnitten studiert, für die eine Zuweisung zu den Heisdorfer Schichten angenommen werden konnte. Eine Untersuchung der lateralen bzw. flächenhaften Schwankungen fazieller Merkmale (Korndurchmesser des silikatischen Detritus, quantitativer Anteil an Karbonaten, Haematit, silikatischem Detritus etc., mikrofazielle Merkmale) war durch W. SKALA 1974 unterblieben. Sie soll an dieser Stelle mit Hilfe polynomialer Trendflächen-Analysen erfolgen. Überaus charakteristisch für die Heisdorfer Schichten ist die beträchtliche Haematit-Führung, die in bauwürdigen (E. SCHUBERT, H. BAYER & E. SCHWARZ 1959) Flözen bis 36 % erreichen kann. Untersucht man den maximalen Haematit-Gehalt der Profile in Trendflächen-Analysen, so ergibt sich folgendes Bild: Zur Wiedergabe der wesentlichen Informationen genügt, wie Bestimmtheitsmaß und f-Werte zeigen, die Trendfläche 2. Grades. Trendflächen höheren Grades bringen keine signifikanten Verbesserungen. In der Konturkarte (Abb. 2) liegen die höchsten Trendwerte in Abschnitten, die etwa der zentralen Eifel entsprechen würden. Elliptische Strukturen zeichnen sich ab, deren Längsachse annähernd senkrecht zum Streichen der Kalkmulden verlaufen (NW-SE). Eine Beurteilung der Randpartien der Karte muß unterbleiben, da das Rechenverfahren hier unscharfe Aussagen erzeugt (W. C. KRUMBEIN 1963).

Die Untersuchung der mittleren Haematit-Gehalte der Profile erbrachte ähnliche Ergebnisse.



Der maximale Kornmittelwert des silikatischen Detritus der Profile ist, wie die in Abb. 3 konturierte Trendfläche 3. Grades zeigt, in den Randbereichen der Eifel am größten. Längsstrukturen streichen auch hier wieder quer zu variszischen Faltenstrukturen.

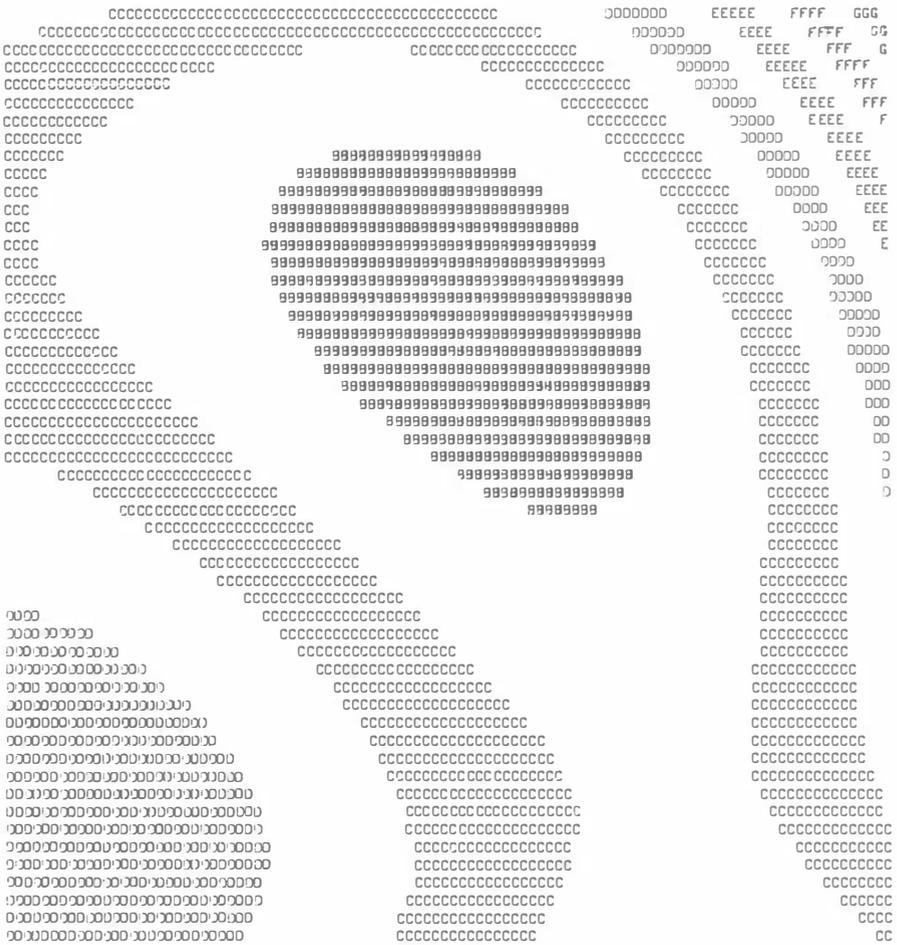


Abb. 3: Maximaler Kornmittelwert der untersuchten Profile der Heisdorfer Schichten. Trendfläche 3. Grades. Zunahme des Kornmittelwertes in Richtung der Ränder der Konturkarte. Außengrenze des "B"-Bereiches:  $5 \text{ Phi}$ , Kontur-Distanz:  $0.72 \text{ Phi}$ . Umgrenzung des Untersuchungsgebietes annähernd quadratisch verzerrt. Ausdruck des Programms TREND.



der Eifel zur Heisdorf-Zeit offensichtlich Bedeutung zukommt. Hinweise auf die Existenz eines nach W. STRUVE 1961 und 1963 während des Eifeliums die Paläogeographie bestimmenden „Eifeler Sigmoids“ konnten aus der Trend-Analyse der sedimentologischen Daten für das oberste Emsium nicht erbracht werden.

### Erdmagnetische Anomalien im Raume zwischen Leibnitz und Radkersburg (Südsteiermark) nach K. Forberger & K. Metz 1939

K. FORBERGER & K. METZ 1939 hatten im Raume zwischen Leibnitz und Radkersburg an 184 Beobachtungs-Stationen Messungen der erdmagnetischen Vertikal-Intensitäten durchgeführt, um Hinweise auf Reliefgestaltung und Tektonik

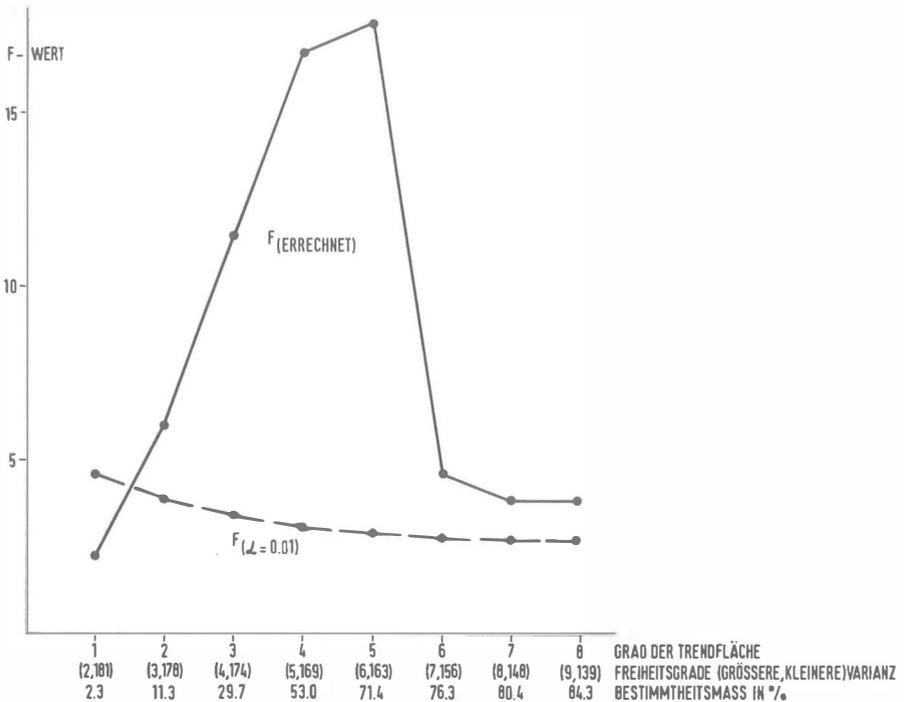


Abb. 5: Erdmagnetische Messungen in der südlichen Steiermark nach K. FORBERGER & K. METZ 1939. Zur Signifikanzprüfung der Trendflächen 1. bis 8. Grades.

des präneogenen Untergrundes des südlichen Steirischen Beckens zu erhalten. Diese Untersuchungen lieferten die ersten Anhaltspunkte (A. WINKLER-HERMADEN 1943) für die Entdeckung des Vulkangebietes von Landorf nördlich von Mureck (M. TOPERCZER 1947, K. KOLLMANN 1965, H. HERITSCH, J. BORSCHUTZKY & H. SCHUCHLENZ 1965). K.FORBERGER & K. METZ 1939 veröffentlichten neben einer textlichen Darstellung und einer handkonturierten Karte von Isanomalien der Vertikal-Intensitäten auch die einzelnen Meßergebnisse. Dieses Zahlenmaterial scheint zu einer objektiven Erfassung durch Methoden der Trendflächen-Analyse ausreichend und geeignet zu sein.

T R E N D F L A E C H E 5. G R A D E S A U S 184 W E R T E N

MAGNET. VERTIKALINTENSITAETEN, STÖRUNGEN, S-STMK., FORBERGER-METZ 1939

MITTELWERT 0.12358E+01 X 0.15765E+02 Y 0.40546E+02 Z  
 SPANNWEITE 0.13550E+02 0.33800E+02 0.73052E+03

SUMME D. QUADR. ABWEICHUNGEN V. MITTEL = 0.922E+06  
 VARIANZ V. Z = 0.504E+04  
 STANDARDABWEICHUNG = 0.710E+02

BESTIMMTHEITSMASS = 71.4 PROZENT  
 MULTIPLER KORRELATIONSKOEFFIZIENT = 0.845  
 F-WERT ALS TESTGRÖSSE GEGEN VORANGEHENDEN TREND F( 6, 163) = 17.55

KOEFFIZIENTEN =

0 0.2745129E-01  
 1 -0.5051639E-01 -0.5882640E+00  
 2 -0.6481083E+00 0.1382175E+01 -0.2113634E+00  
 3 -0.4977688E+01 0.4817938E+01 -0.8855835E+00 0.7875800E+01  
 4 0.9628607E+01 -0.1492719E+02 0.4538210E+01 -0.5401130E+00 -0.3159157E+01  
 5 0.4788421E+02 -0.3571552E+01 -0.2455272E+02 -0.4845753E+02 0.4310457E+02 -0.3072779E+02

0	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	0	A	09	CC	DDDD	EEEEEE																			
2	11	00			AAAA	BBBBBBBBBBBBBBBB	AAAA	...	00	111	2222	222	1	0											
2	111		0000000							1111	2222	333	22	1	0										
22	11111																								
2	11111111111111111111																								
111			1111111																						
	0000000																								
	00000000000000																								
	0000		000000																						
	0000		000000																						
1	000000		0000000																						
22	11		000000000000																						
3	2	11		000																					
54	3	22	111																						
5	4	3	22	1111																					
65	4	3	22	1111																					
65	4	3	2	11111																					
65	4	3	22	1111																					
65	4	3	22	11111																					
76	54	3	22	1111111																					
987	65	44	33	22																					
98	76	55	44	333																					
9	8	7	66	55																					

HOCHFORMAT, X-MIN = -0.67000E+01, BREITE = 0.13550E+02, Y-MIN = -0.36000E+01, HOEHE = 0.33800E+02  
 \*J\* = -0.802E+03, \*I\* = -0.729E+03, \*H\* = -0.656E+03, \*G\* = -0.583E+03, \*F\* = -0.510E+03, \*E\* = -0.437E+03, \*D\* = -0.364E+03  
 , \*C\* = -0.291E+03, \*B\* = -0.218E+03, \*A\* = -0.145E+03, \*,\* = -0.717E+02, \*0\* = 0.131E+01, \*1\* = 0.744E+02  
 , \*2\* = 0.147E+03, \*3\* = 0.220E+03, \*4\* = 0.294E+03, \*5\* = 0.367E+03, \*6\* = 0.440E+03, \*7\* = 0.513E+03  
 , \*8\* = 0.586E+03, \*9\* = 0.659E+03, \*

Abb. 6: Erdmagnetische Messungen in der südlichen Steiermark nach K. FORBERGER & K. METZ 1939. Trendfläche 5. Grades. Zunahme der Vertikal-Intensität in Richtung steigender Ziffern bzw. gegen die Richtung von Buchstaben in ihrer Stellung im Alphabet. Obergrenze von "0"-Bereichen: + 1.31 Gamma Störung gegenüber Bezugsniveau Leibnitz, Kontur-Distanz: 73.11 Gamma. Die Umgrenzung der Konturkarte entspricht etwa den Ausdehnungsverhältnissen des Untersuchungsgebietes. Ausdruck des Programms TREND.

Entsprechende Untersuchungen erfolgten an den Abweichungen der Vertikal-Intensitäten gegenüber dem Bezugs-Niveau Leibnitz (entsprechend K. FORBERGER & K. METZ 1939) über Polynome 1. bis 8. Grades. Signifikanzen wurden einerseits durch Errechnung des Bestimmtheitsmaßes geprüft, andererseits über einen Snedecor-f-Test, der die Signifikanz der neu hinzugezogenen Polynom-Glieder gegen den vorangehenden Trend ermittelt. Mit Ausnahme der Trendfläche 1. Grades sind alle errechneten f-Werte am 99 %-Niveau signifikant (Abb. 5). Bis zur Trendfläche 5. Grades nehmen die errechneten f-Werte zu, mit dem 6. Grad des Polynoms jedoch stark ab. Die Trendfläche 5. Grades (Abb. 6) gibt auch auf Grund ihres Bestimmtheitsmaßes von 71,4 % die vorliegenden Verhältnisse mit genügender Genauigkeit wieder.

Die vom Computer ausgedruckte Konturkarte stimmt in ihren wesentlichen Strukturen mit der von K. FORBERGER & K. METZ 1939 handkonturierten Isanomalien-Karte überein. Diese ließen Deutungen zu, die mit den Vorstellungen von K. KOLLMANN 1965 über die Formung des präneogenen Reliefs des südlichen Steirischen Beckens gut in Einklang zu bringen wären. In den Randpartien der Konturkarte 5. Grades zeichnen sich, wie zum Teil noch besser in Trendflächen anderer Ordnungen, Bereiche niedriger Trendwerte der Vertikal-Intensität ab, wie sie etwa für die südlichsten Teile der Sausalschwelle und der südburgenländischen Schwelle zu erwarten wären. Etwa in den zentralen Teilen der Konturkarten lassen sich aus relativ hohen Trendwerten eventuell Bereiche größerer Beckentiefe (Südteil des Gnaser Beckens) ableiten. Die Vulkanit-Gebiete zeichnen sich in diesen Darstellungen nur wenig ab. Ihre Existenz — obertags oder unter Sedimentbedeckung — läßt sich jedoch vorzüglich aus einer Karte der Residuen

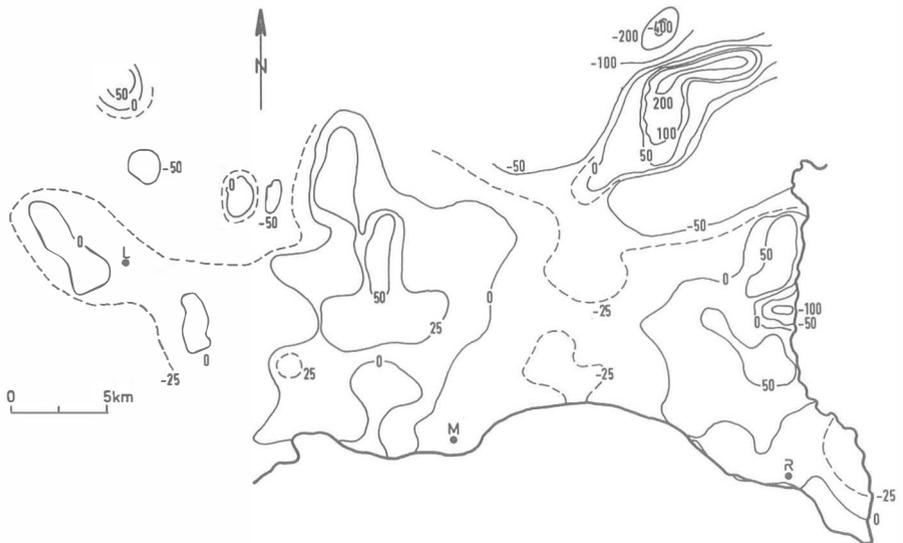


Abb. 7: Erdmagnetische Messungen in der südlichen Steiermark nach K. FORBERGER & K. METZ 1939. Handkonturierte Isolinien-Darstellung der Residuen der Vertikal-Intensität gegenüber der Trendfläche 5. Grades. L = Leibnitz, M = Mureck, R = Radkersburg.

der Störungen der Vertikal-Intensität gegenüber der Trendfläche 5. Grades (Abb. 7) ersehen. In diesem handkonturierten Isolinierplan zeigen sich entsprechend starke Verformungen des erdmagnetischen Feldes deutlich im Bereich des Gleichenberger und Klöcher Massivs, zeichnen sich aber auch klar im Raume des Landorfer Vulkangebietes ab.

Diese Ergebnisse bekräftigen die Feststellungen von D. F. MERRIAM & J. W. HARBAUGH 1964, denen zufolge sich in Trend-Analysen, sofern ihnen ein geeignetes Datenmaterial zugrunde liegt, lokale Komponenten durch die Untersuchung der Residuen von regionalen Trends abtrennen lassen.

## Literatur

- ESLER, J. E., SMITH P. F. & DAVIS J. C.: KWIKR 8, a FORTRAN IV program for multiple regression and geologic trend analysis. — *Computer Contr.*, 28, 31 S., 8 Abb., Lawrence 1968.
- FORBERGER, K. & METZ K.: Magnetische Bodenforschungen des geologischen Institutes der Montanistischen Hochschule, Leoben. III. Magnetische Bodenforschungen im Gebiete zwischen Leibnitz und Radkersburg — *Berg- u. Hüttenmänn. Monatsh.*, 87, 61—66, 1 Abb., 1 Tab., Wien 1939.
- FOX, T. W.: FORTRAN IV program for vector trend analyses of directional data. — *Computer Contr.*, 11, 36 S., 10 Abb., Lawrence 1967.
- HAPPEL, L.: Das Unterdevon der Prümer Mulde. — *Senckenbergiana*, 14, 331—358, 12 Abb., Frankfurt/Main.
- HERITSCH, H., BORSCHUTZKY J. & SCHUCHLENZ H.: Zwei vulkanische Gesteine aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill, östlich von Wildon und von Walkersdorf, südl. von Ilz (Stmk.). — *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 95, 104—114, Graz 1965.
- JAMES, W. R.: FORTRAN IV program using double Fourier series for surface fitting of irregularly spaced data. — *Computer Contr.*, 5, 20 S., 7 Abb., Lawrence 1966.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. — *Mitt. Geol. Ges. in Wien*, 57, 479—632, 6 Taf., 2 Abb., Wien 1965.
- KRUMBEIN, W. C.: Regional and local components in facies maps. — *Bull. Amer. Assoc. Pe'rol. Geologists*, 40, 2163—2194, Tulsa 1956.
- , Confidence intervals on low-order polynomial trend surfaces. — *J. geophys. research*, 68, 5869—5878, 9 Abb., 2 Tab., 1963.
- MERRIAM, D. F. & HARBAUGH J. W.: Trend-surface analysis of regional and residual components of geologic structure in Kansas. — *State geol. Survey, Spec. distr. publ.*, 11, 28 S., 8 Abb., 4 Tab., Lawrence 1964.
- MIESCH, A. T. & CONNOR J. J.: Stepwise regression and nonpolynomial models in trend analysis. — *Computer Contr.*, 27, 40 S., 8 Abb., 2 Tab., Lawrence 1968.
- MILLER, R. L.: Trend surfaces: their application to analysis and description of environments of sedimentation. — *J. geol.*, 64, 425—446, Chicago 1956.
- OLDHAM, C. H. G. & SUTHERLAND, D. B.: Orthogonal polynomials: their use in estimating the regional effect. — *Geophysics*, 20, 295—306, 1955.
- SCHUBERT, E., BAYER H. & E. SCHWARZ: Untersuchung der Roteisenerze in der Eifel. — *Zeitschrift Erzbergbau u. Metallhüttenwesen*, 12, 531—537, 10 Abb., 3 Tab., Stuttgart 1959.
- SKALA, W.: Sedimentologische Untersuchungen an den Heisdorfer Schichten (Ober-Emsium) der Eifeler Kalkmulden-Zone. — *Senckenbergiana leth.*, 55, 259—323, 6 Taf., 15 Abb., 2 Tab., 1 Karte, Frankfurt/Main 1974.
- STRUVE, W.: Das Eifeler Korallenmeer. — *Der Aufschluß, Sonderheft* 10, 81—107, 12 Abb., 1 Tab., Heidelberg 1961.
- , Das Korallen- Meer der Eifel vor 300 Millionen Jahren — *Funde, Deutungen, Probleme.* — *Natur und Museum*, 93, 237—276, 23 Abb., Frankfurt/Main.
- TOPERCZER, M.: Erdmagnetische Bodenuntersuchungen in Südoststeiermark. — *Berg- und hüttenmänn. Monatsheft*, 92, 157—165, 3 Abb., Wien 1947.

- WERNER, R.: Zur Ausbildung der Heisdorf-Schichten in der Hillesheimer und Ahrdorfer Mulde (Devon, Eifel). — *Senckenbergiana leth.*, 55, 439—454, 2 Abb., Frankfurt/Main.
- WHITTEN, E. H. T.: Composition trends in a granite: modal variation and ghost stratigraphy in part of the Donegal granite, Eire. — *J. geophys. research*, 64, 835—848, 1959.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Die jungtertiären Ablagerungen an der Ostabdachung der Zentralalpen und das inneralpine Tertiär. II. Das steirische Becken und die Umrahmung des Nordostsporns der Zentralalpen. — S. 303—365, Abb. 1, 3—15, In: F. X. SCHAFER, *Geologie der Ostmark*, Deuticke, Wien 1943.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Wolfdietrich SKALA, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie (Arbeitsrichtung Mathematische Geologie), Altensteinstraße 34 a, D-1, Berlin 33.



## Bemerkungen zur Gewinnung von Trink- und Nutzwasser aus Rutschhängen

Hilmar ZETINIGG, Graz

Innerhalb des Landes Steiermark stellt das west- und auch das oststeirische Tertiärgebiet sowohl auf Grund der geringen Niederschläge, die nach der Niederschlagskarte der Steiermark für das Normaljahr 1901—1950 von J. ZÖTL (1971) z. T. weit unter 800 mm liegen, als auch der Untergrundbeschaffenheit, wie bereits A. WINKLER-HERMADEN (1944) mit gewissen Untergliederungen dargestellt hat, ein Wassermangelgebiet dar. Gerade für die ganz besonders unter Wassermangel, der sowohl die Landwirtschaft als auch die Wasserversorgung der Bevölkerung betrifft, leidenden Hügelländer, kann die Nutzung von Grundwasser aus Rutschhängen oft eine Lösung des Problems der Wasserbeschaffung bringen. Es ist daher durchaus der Überlegung wert, inwieweit und unter welchen Bedingungen Rutschhänge zur Gewinnung von Trink- und Nutzwasser geeignet sind. Dies um so mehr, als L. BERNHART (1973 a) bei einer Betrachtung der wasserwirtschaftlichen Situation der Steiermark unter anderem ausdrücklich festgestellt hat, daß in Zukunft die Erkundung, Untersuchung und Nutzung neuer Wasservorkommen unumgänglich notwendig sein wird.

Es soll nun festgestellt werden, worauf bei der geologischen Begutachtung solcher Fälle zu achten ist und welche Kriterien für die Entscheidung über die Verwendbarkeit derartiger Grundwasservorkommen von Bedeutung sind.

Da sich bei der Verbauung und Sanierung von Hangrutschungen im Zuge von Straßenbauten immer wieder zeigt, daß Wasser in Mengen bis zu mehreren l/s anfällt, sollten einige Hinweise zur Beantwortung der Frage, ob dieses Grundwasser für Wasserversorgungszwecke Verwendung finden kann, gegeben werden. Es wird dabei nur an eine Verwendung als natürliches, nicht aufbereitetes Trinkwasser gegenüber trinkbarem oder nutzbarem Wasser gedacht. Es soll also der derzeitige österreichische Qualitätsanspruch an Trinkwasser vertreten werden, den L. BERNHART (1973 b) klar formuliert hat. Danach soll Trinkwasser soweit als möglich von Natur aus frei von nachteiligen Verunreinigungen, wohlschmeckend, rein und klar sein und wenn überhaupt, so nur eine geringe, nicht merkbare Aufbereitung erfahren.

Da im Wasserbau gerade über Hangrutschungen weniger Erfahrungen als im Straßenbau vorliegen, sollen unter Heranziehung von Ergebnissen des Straßenbaues Überlegungen über die Verwendbarkeit von Grundwasser derartiger Herkunft angestellt werden. Neben einem ganz kurzen Überblick über die Art der Rutschungen soll dabei von den Anforderungen, die derzeit in qualitativer Hinsicht an Trinkwasser gestellt werden, ausgegangen werden.

Die Untersuchung soll dabei nur auf das steirische Tertiärbecken und die für diesen Raum typischen Arten von Hangrutschungen beschränkt werden. Der Zusammenhang zwischen Hangrutschungen und Wasserführung im Untergrund kommt in Arbeiten von R. SCHMIDT, W. BRANDL & A. HAUSER 1949, W. BRANDL & A. HAUSER 1951 und W. BRANDL & R. SCHMIDT 1951 über Teilbereiche des oststeirischen Tertiärbeckens, wie z. B. den Bezirk Fürstenfeld, bereits gut zum Ausdruck. In allen diesen Arbeiten wird auf den engen und ursächlichen Zusammenhang zwischen Quellen und Hangrutschungen hingewiesen, wobei auf oft vorkommende, dadurch bedingte Verlagerungen der Quellorte aufmerksam gemacht wird. Grundsätzlich wird vermerkt, daß Quellen in auffälliger Zahl an Rutschungen gebunden sind. In der Folge sollen nun aber weniger Quellen, definiert als natürliche Grundwasseraustritte durch Verschneidung der Landoberfläche mit einem Grundwasserleiter, als vor allem Grundwassererschließungen durch Brunnen behandelt werden.

In Beantwortung der Frage der Verwendbarkeit von Grundwässern aus Hangrutschungen wird man sich über folgende Punkte Rechenschaft ablegen müssen, wobei der Wasserbedarf vorausgesetzt wird und die Beschaffung aus anderen Bereichen aus wirtschaftlichen Gründen, wie z. B. Länge der Rohrleitung oder dem Höhenunterschied zwischen Gewinnungsort und Verbraucher, zu aufwendig ist:

1. Welche qualitative und quantitative Anforderungen werden an das Trinkwasser gestellt?
2. Welche qualitative und quantitative Eigenschaften sind demgegenüber von Grundwasser aus Rutschhängen zu erwarten?
3. Ist der Bestand der Fassungsanlage selbst (Brunnen oder Quellfassung) gesichert?

Gerade der letzte Punkt scheint für Rutschungen besonders wichtig und typisch. Bei einer Trinkwasserversorgung ist die Kontinuität des Wasserzulaufes und die Sicherheit des Fassungsbauwerkes eine unabdingbare Forderung, die bei instabilen Bodenverhältnissen nicht gewährleistet erscheint, worauf später noch eingegangen werden muß. Unter Schachtbrunnen, die in Rutschhängen errichtet wurden, findet man zahlreiche Anlagen, die durch das Aufleben der Bodenbewegungen verdrückt oder abgesichert wurden.

Auf die Frage, was eigentlich Trinkwasser ist, findet man in DIN 4046 die Erklärung: „Trinkwasser ist für den menschlichen Genuß und Gebrauch geeignetes Wasser mit Güteeigenschaften nach DIN 2000.“ Sieht man dann in dieser Norm nach, so findet man nur allgemein gehaltene Angaben, wie z. B., daß Trinkwasser hygienisch (chemisch und bakteriologisch) einwandfrei, wohlschmeckend kühl sowie in ausreichender und gleichbleibender Menge vorhanden sein muß. Konkrete Zahlenangaben sind nur für Eisen und Mangan enthalten.

Das europäische Büro der Weltgesundheitsorganisation hat 1956 Richtlinien über die „Einheitliche Anforderung an die Trinkwasserbeschaffenheit in Europa“ herausgegeben, die Grenzwerte für giftige chemische Stoffe (Blei, Arsen, Chrom, Selen) enthalten! Es ist dabei jedoch ausdrücklich vermerkt, daß diese Grenzwerte nicht als endgültig betrachtet werden können, sondern von Zeit zu Zeit revidiert werden müssen.

Die Schwierigkeit, Grenzwerte aufzustellen, beruht einmal darin, daß die Beschaffenheit des Wassers, die vor allem von den geologischen Gegebenheiten abhängt, in verschiedenen Landschaften erhebliche Unterschiede aufweist und zum anderen die Auswirkungen verschiedener Stoffe auf die Gesundheit des Menschen nicht ausreichend bekannt sind. Dabei muß auch die Anpassung des Menschen mitberücksichtigt werden. In manchen ariden Gebieten z. B. ist die Bevölkerung ohne gesundheitliche Schäden an die Verwendung von Sulfat-Wässern gewöhnt, die bei uns zu Magen- und Darmstörungen führen würden.

Es ist daher notwendig, das Wasser sozusagen als Individuum im Ganzen zu beurteilen, anstatt eine Gütebewertung nach einzelnen Stoffen durchzuführen. Es muß also die Kenntnis der chemischen, physikalischen und bakteriologischen Beschaffenheit des Wassers vorausgesetzt werden.

Dieser kurze Abriß soll nur zeigen, wie schwierig und vielschichtig die Definition des Trinkwassers ist, wobei auch weiterhin Abänderungen der Anforderungen nach regionalen Gegebenheiten erwartet werden müssen.

Um nun die Frage zu beantworten, inwieweit Grundwasser aus Hangrutschungen diese Anforderungen erfüllt, sollen die im steirischen Tertiärbecken auftretenden Hangrutschungen entsprechend den Erfahrungen, die bei den zahlreichen Begehungen im Rahmen des mineralogisch-geologischen Landesdienstes gemacht wurden, dargelegt werden. Dabei wird von einer näheren Beschreibung der Rutschungen und ihrer Ursachen abgesehen, da diese von A. THURNER (1965), weiters von A. ALKER, H. HAAS und O. HOMANN (1969) sowie in einem Vortrag von K. METZ und Ch. VEDER (1969) gegeben wurde.

Grundsätzlich soll für die gegenständliche Fragestellung nur zwischen Hangrutschungen, die in einem Abgleiten der sandig-lehmigen Verwitterungsschwarte über wasserstauenden, tertiären Schlufftonen bestehen, und solchen, die in den tertiären Schichtkomplexen selbst eingreifen, unterschieden werden.

Die erste Art von Rutschungen wird durch das Wasseraufnahmevermögen der feinkörnigen Verwitterungsschwarte bedingt, dem auf Grund der geringen Porenweiten und der daraus resultierenden Kapillar- und Oberflächenkräfte (G. KELLER 1969) keine entsprechende Möglichkeit zur Weiterleitung des versickerten Wassers, also zur Funktion als Grundwasserleiter gegenübersteht. Niederschlagswässer und abfließende Oberflächenwässer werden wie von einem Schwamm aufgesogen, so daß nach Erreichen eines Sättigungspunktes die Verwitterungsschwarte als Erdschlupf abgleitet. Diese Art von Bodenbewegungen wird schon auf Grund der schlechten Wasserleitfähigkeit kaum größere Wassermengen abgeben und daher für Wassergewinnung zu Versorgungszwecken ausscheiden, so daß die Bedenklichkeit in qualitativer Hinsicht, die durch die seichte Lage der Sickerwässer gegeben ist, gar nicht weiter hervorgehoben zu werden braucht.

Die weiteren Überlegungen sollen daher ausschließlich auf Hangrutschungen bezogen werden, die entweder einen größeren Tiefgang in Zusammenhang mit einem Grundwasserleiter oder die Einwirkung eines den anstehenden Tertiärschichten zugehörigen Grundwasserleiters auf die Verwitterungsschwarte zeigen, wobei folgende Möglichkeiten auftreten können:

1. Die Hangrutschung ist mit einem Grundwasserleiter verbunden, wobei die Rutschbewegungen bei größerem Tiefgang in die anstehenden tertiären Schichten bzw. den Grundwasserleiter eingreifen.

- a) Es handelt sich um einen geringmächtigen Grundwasserleiter (dm-Bereich) sandig-schluffiger Natur, die anfallenden Wassermengen sind gering (l/min).
  - b) Es handelt sich um einen Grundwasserleiter von mehreren Metern Mächtigkeit, vornehmlich sandiger Natur, die Wassermengen sind daher groß (l/s).
2. Die Hangrutschung ist auf die Verwitterungsschwarte beschränkt, wobei aber unter derselben sandig-schluffige Grundwasserleiter, die sich im Schichtverband der anstehenden tertiären Schichten befinden, ausbeissen. Es erlangt hier neben den Niederschlägen und ablaufendem Oberflächenwasser das Grundwasser eine wesentliche, wenn nicht ausschlaggebende Bedeutung für die Auslösung der Rutschung.

Die Wassermengen sind in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Grundwasserleiter sehr unterschiedlich.

In allen Fällen spielt neben der Grenze zwischen wasserdurchlässiger und wasserundurchlässiger Schichte das Übersteigen eines gewissen Porenwasserdruckes im wasserdurchlässigen Anteil bzw. im Grundwasserleiter die auslösende Rolle für den Beginn der Bewegung. Während die in die Verwitterungsschwarte eindringenden Niederschlags- und aus höheren Hangbereichen ablaufenden Oberflächenwässer nur als Sickerwässer bezeichnet werden sollen, stellen die Wässer in den tertiären Sand- und Schluffschichten Grundwasser gemäß der Ö-Norm B 2400 dar.

Es muß hier festgestellt werden, daß Hangrutschungen vom zweiten Typ im ost- und weststeirischen Tertiärbecken überwiegen. Bei Rutschungen dieser Art, die immer mit großen Einmuldungen sowie meist mit mehreren Quellen verbunden sind, wird grundsätzlich nur die Fassung von Grundwasser aus den tertiären Grundwasserleitern in Frage kommen.

Das Grundwasser aus den Sand- und Kiesschichten der tertiären Hügelzüge in der Ost- und Weststeiermark läßt eine Qualität erwarten, die von folgenden Faktoren bestimmt wird:

1. der gesteinsmäßigen Beschaffenheit des Grundwasserleiters,
2. den Oberflächenverhältnissen im Einzugsgebiet bzw. Nährgebiet des Grundwasserleiters,
3. der Tiefenlage des Grundwasserspiegels (der oft gespannt ist) und der Beschaffenheit der Deckschichte.

Es soll an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, daß für die Qualität des Grundwassers die obersten biologisch aktiven Bodenschichten ausschlaggebend sind. In den obersten 80 cm — wobei manche Autoren auch nur 20 cm annehmen — der Bodenschichte erfolgt die Mineralisierung der organischen Substanzen. Desgleichen verlieren pathogene Keime in diesen Bereichen des Bodenprofils ihre Virulenz (Umwelt + Wasser = Leben. Information über Wasserwirtschaft und Umweltschutz, Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien 1972).

Diese Ausführungen lassen bereits erkennen, daß bei Hangrutschungen teils mit qualitativ gutem und teils mit qualitativ schlechtem Grundwasser gerechnet werden muß.

Wesentlich für die Verwendbarkeit des Grundwassers aus Hangrutschungen werden jedoch die Verhältnisse im unmittelbaren Bereich der Rutschung sein. Eine generelle Entscheidung über die Verwendbarkeit der aus Rutschungen anfallenden Grundwässer scheint daher nicht möglich. Vielmehr wird in jedem Einzelfall eine gründliche Untersuchung durchgeführt und dann die Entscheidung über die Verwendbarkeit als Trinkwasser getroffen werden müssen.

Diese Feststellung soll nun durch weitere Überlegungen und abschließend durch Beispiele bekräftigt werden.

Die Gewinnung von Grundwasser aus Hangrutschungen (Typ 2), die, wie bereits festgestellt, nur aus den unter der Verwitterungsschwarte ausbeißenden Sandschichten erfolgen soll, wird nur dort möglich sein, wo die Rutschmassen bereits zur Gänze abgeglitten sind und die tertiären Schichten bloßgelegt haben. Es wird sich hier vornehmlich um Schichtquellen bzw. ein horizontgebundenes Auslaufen von Grundwasser handeln. Die im Anstehenden eingebauten Fassungsanlagen werden in ihrem Bestand gesichert sein. Weitere Rutschbewegungen können luftseitig der Fassungen ohne Nachteile für dieselben erfolgen. Grundbedingung ist hier, daß die Fassung selbst bereits bergeitig der noch aktiven Rutschung erfolgt.

Wesentlich für Rutschungen der ersten Art scheint die Untersuchung der Möglichkeiten des Eindringens verunreinigter Oberflächenwässer ohne Filterung in der früher erwähnten biologisch aktiven Bodenschicht entlang von Gleit- und Abrißflächen im Rutschungsbereich selbst. Durch die Möglichkeit des erneuten Auflebens der Rutschung und des Aufreißens von Spalten im Boden wird keine ausreichende Sicherheit für eine Trinkwasserversorgung gewährleistet.

Voraussetzung für die Verwendung von Grundwasser aus Hangrutschungen des ersten Types für die Trinkwasserversorgung ist daher die endgültige Sanierung bzw. Stabilisierung der Rutschung.

Da nur eine vollständige Entwässerung einen dauernden Erfolg bei der Sanierung einer Rutschung bringt, muß eine Möglichkeit gefunden werden, daß Wassergewinnungsanlagen für Trinkwasserzwecke und Entwässerungseinrichtungen (Brunnen, Drainagen aller Art) nebeneinander bestehen können.

Diese Feststellung zeigt deutlich, daß es gefährlich ist, einzelne Quelfassungen oder Brunnen für Wasserversorgungszwecke innerhalb einer Rutschung zu errichten, da sie in ihrem Bestand ständig gefährdet sind.

Die grundsätzliche Forderung nach einem gesicherten Bestand der Fassungsanlage kann daher nur mit einer gleichlaufenden vollständigen Rutschungssanierung, die mit der Fassungsanlage verbunden sein wird, erfüllt werden. Es ist dabei zu prüfen, ob nur Teile oder der gesamte Anfall an Grundwasser für Versorgungszwecke geeignet sind oder benötigt werden.

Abschließend soll bei den generellen Erörterungen noch darauf verwiesen werden, daß für Trinkwasseranlagen Schutzgebiete unbedingt vonnöten sind. Gerade hier wird die Abstimmung der Größe und Form des Schutzgebietes auf die Ausdehnung der Rutschung nicht zu umgehen sein.

Die angeführten Gesichtspunkte gelten sowohl für Quellen und Brunnen als auch für die Entwässerung durch Drainagen. Bei letzteren, die der Vollständigkeit halber auch zu behandeln sind, werden jedoch darüber hinaus die Tiefenlage

der Drainage sowie der Chemismus des Wassers (Verockerungen) ausschlaggebend sein. Derzeit wird Wasser aus Drainagen (Rutschungen) generell für Trinkzwecke abgelehnt. Ein wesentliches Hindernis wird in der flächenmäßigen Ausdehnung sowie in der meist seichten Lage der Drainagen gegeben sein, da die Einrichtung entsprechend großer Schutzgebiete Schwierigkeiten bereitet. Ein weiterer und ganz wesentlicher Gesichtspunkt stellt die Lebensmöglichkeit für Bakterien und Kleintiere (z. B. Krebse) in den Drainagesträngen dar, die eine Nutzung solcher Wässer auch weiterhin ausschließen dürfte. Ausnahmen werden vielleicht in Zukunft bei Tiefdrainagen gemacht werden können, wenn bei diesen die Lebensmöglichkeiten für Kleintiere und Bakterien unterbunden werden könnten.

Als Beispiele einer, den dargelegten Ansprüchen nicht genügenden Wassergewinnung aus einem Rutschhang soll eine Brunnenanlage im Weststeirischen Tertiärbecken, im Bereiche der Florianer Schichten, kurz beschrieben werden. Vorangestellt sei, daß die Florianer Schichten nach K. KOLLMANN (1964) aus Grob- und Feinsanden in Wechsellagerung mit Peliten bestehen. Es sind daher hier sowohl die gesteinsmäßigen als auch morphologischen — Hügelland — Voraussetzungen für Hangrutschungen gegeben, die auch tatsächlich häufig zu beobachten sind.

Die Wassergenossenschaft *Rassach-Hohebeck* (Gemeinde Rassach, Bezirk Deutschlandsberg) errichtete im Jahre 1964 am Nordhang eines von Florianer Schichten, die von Lehmen überdeckt sind, aufgebauten Hügelzuges einen Schachtbrunnen von 8,50 m Tiefe und 1,50 m lichter Weite. Der Brunnenmantel wurde dabei, um dem Wasser Eintrittsmöglichkeiten zu geben, mit Fenstern versehen.

Obwohl die Situierung in einem Rutschhang erfolgte, der die Spuren mehrmaliger alter Bodenbewegungen erkennen läßt, war die Wasserqualität in bakteriologischer Hinsicht anfangs gut. Die durchschnittliche Ergiebigkeit wurde im Wasserrechtsverfahren mit 11.000 l/d angegeben. Das Rutschgebiet stellt das unmittelbare Einzugsgebiet des Brunnens dar, wobei Sande bis Schluffe als Grundwasserleiter fungieren.

Im Herbst des Jahres 1966 verlegte nun der Wasserverband *Stainzthal* eine Rohrleitung, deren Künette ca. 3 m bergwärts des Brunnens mit Tiefen bis zu 2 m den Rutschhang querte. Hier muß bemerkt werden, daß man es verabsäumte, für diesen Brunnen ein Schutzgebiet zu bestimmen. Unmittelbar im Gefolge der Aufgrabung kam es im Zusammenhang mit den starken Niederschlägen, die damals im gesamten ost- und weststeirischen Tertiärgebiet zahlreiche Rutschungen auslösten, auch hier zu einer Rutschung, die lediglich zu einer Überdeckung des Brunnens durch Rutschmassen führte und daher nur einen geringen Tiefgang der Gleitflächen aufwies. Bergwärts des Brunnens bzw. der Künette waren die typischen Muschelanbrüche zu erkennen.

Nach Beseitigung der Rutschmassen vom Brunnen und Einebnung der Anrisse sowie einer Pilotierung bergwärts des Brunnens ruhten bis zum Sommer 1970 die Bodenbewegungen. In diesem Jahre zeigten sich dann unmittelbar ober der noch kenntlichen Künette neuerliche Risse und Spalten im Boden. Da bereits ab Jänner 1969 schlechte bakteriologische Befunde (hohe Keimzahlen) des Brunnenwassers zu verzeichnen waren, wurde im Zuge eines Wasserrechtsverfahrens zur

Festlegung eines Brunnenschutzgebietes ein hydrogeologisches Gutachten über die Möglichkeiten zur Sanierung und Sicherung dieser Brunnenanlage eingeholt. Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten war ein weiteres Andauern der Rutschbewegungen bzw. in Abhängigkeit von den Niederschlägen ein Wiederaufleben in unregelmäßigen Abständen zu erwarten. Überdies schien die Einbeziehung der gesamten Rutschung in das engere Brunnenschutzgebiet notwendig.

Letztere Forderung war mit der Möglichkeit des Eindringens von Keimen und anderen Verunreinigungen entlang von Anrissen und Spalten im Bereich der Rutschung begründet. Wesentlich war weiters die Überlegung, daß die Einrichtung des Schutzgebietes wohl in bakteriologischer Hinsicht eine Besserung erwarten ließe — die unmittelbare Umgebung des Brunnens fand bis dorthin als Viehweide Verwendung —, aber für den Bestand der Brunnenanlage selbst dadurch keine Sicherheit erlangt werden könne. Maßnahmen zur Rutschungs-sanierung bzw. Stabilisierung hätten vor allem Entwässerungen dargestellt, in deren Folge ein Ergiebigkeitsrückgang des Brunnens zu befürchten war. Den einzigen Ausweg hätte daher eine neue, mit den Sanierungsmaßnahmen an der Rutschung in Einklang gebrachte Brunnenanlage bedeutet, wie sie im nächsten Beispiel beschrieben werden soll.

Aus allen diesen Gründen wurde nach einer anderen Möglichkeit der Wasserversorgung gesucht und durch den Anschluß an den Wasserverband *Stainzthal* ein Ausweg gefunden.

Abschließend war noch die Frage nach einem ursächlichen Zusammenhang der Rutschung mit der Aufgrabung des Wasserverbandes *Stainzthal* zu klären. Dabei wurden als Grund für die Rutschung die Bodenverhältnisse und Niederschläge ins Treffen geführt und die Aufgrabungen nur als auslösendes Moment betrachtet, wobei sich hier das Fehlen eines Schutzgebietes als grober Mangel bemerkbar machte.

Als zweites Beispiel soll über die Wasserversorgung eines Gasthauses aus einem Brunnen, der zur Sanierung einer Rutschung errichtet wurde, berichtet werden. Die geologische Bearbeitung dieser wirkungsvollen Rutschungssanierung und bis nun klaglosen Wasserversorgung wurde von H. HAAS (1966) durchgeführt, der die Unterlagen zur Verfügung stellte. Beim sogenannten *Kneisslwirt* nördlich von *Pischelsdorf*, im Bereich von Sarmatschichten des oststeirischen Tertiärbeckens (K. KOLLMANN 1964), die aus Tonen in Wechsellagerung mit Schluffen und Feinsanden bestehen, führt die Wechselbundesstraße über einen flachen Damm quer über den oberen Rand einer Hangeinmuldung. Diese Mulde läuft ungefähr in halber Hanghöhe in eine stark vernäßte Verebnung aus, deren Wasserführung auf ihre Entstehung als Quellmulde, in der auch ein alter Schöpfbrunnen bestand, hinweist. Auf Grund der Bodenaufschließungen wurde dabei eine schluffig-sandige Schichte als Grundwasserleiter erkannt und die Quellen als Schichtquellen typisiert. Es ist noch zu vermerken, daß in größerer Entfernung der gleiche Grundwasserleiter von einigen Hausbrunnen genutzt wird.

Geländeform und Untergrundbeschaffenheit ließen im Zusammenhang mit der Wasserführung bereits eine Rutschung befürchten, die nach den starken Regenfällen im Frühjahr und Sommer 1965 auch auftrat und letztlich ein Ausmaß von 2,5 ha erreichte, wobei der Muldenhang in einer die gesamte Fahrbahn durchreißenden Rutschschale absackte.

Sowohl die Form der Bewegung als auch die Bodenaufschließung zeigten, daß über einen schlufftonigen Stauhohizont Schluffe von 1 bis 4 m Mächtigkeit eine intensive Wasserführung aufweisen. In dieser Zone wurde nun die Rutschung durch die Ausbildung einer Gleitschicht sowie durch Fließbewegungen ausgelöst. Die Wasserführung ist durch die flache Einmuldung der schräg aus dem Hang fallenden Schichten gerade auf diesen Bereich konzentriert. Aus diesen Gründen wurde die Rutschung von H. Haas als typische ausgedehnte Schalenrutschung mit Gleithorizont, ausgeprägter Anriß- und eindeutiger Sackungszone sowie der, aus der Ausbißlinie des Gleithorizontes in die Mulde vorschiebenden Wulstbildung beschrieben.

Die Rutschungssanierung wurde in diesem Fall nun durch die Errichtung einer Brunnenreihe an der Bergseite der Rutschmasse zur Trockenlegung der Schluffe in Verbindung mit luftseitigen, als Stützkörper ausgebildeten Tiefdrainagen angestrebt. Vorschlagsgemäß wurden mit beträchtlichen Schwierigkeiten technischer Natur insgesamt 9 Brunnen von 9,45—11,0 m Tiefe und 1,5 m Durchmesser in Abständen von 15 m im Ortsbetonringverfahren hergestellt. Die Brunnen erhielten weiters bergseitig sternförmig ausstrahlende Filterrohrstränge.

Zur Ausleitung des anfallenden Grundwassers wurden die Brunnen in Sohlhöhe mit verrohrten Horizontalbohrungen verbunden. Die weiteren Sanierungsmaßnahmen im Bereich dieser Rutschung, wie insbesondere die Vordrainagen, brauchen hier nicht näher dargelegt zu werden.

Wesentlich erscheint jedoch, daß hier durch diese Maßnahmen einerseits eine bisher wirkungsvolle Stabilisierung dieser Hangrutschung und andererseits durch einen der Entwässerungsbrunnen eine in ihrem Bestand gesicherte und einwandfreie Grundwassergewinnung, die zur Wasserversorgung des eingangs erwähnten Gasthauses dient, erreicht wurde.

Abschließend soll ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Gewinnung von Grundwasser aus Hangrutschungen unter gewissen Bedingungen auch bei Einhaltung der früher dargelegten Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen möglich ist. Dies kann vor allem einzelnen Gewerbebetrieben, landwirtschaftlichen Betrieben oder Wassergenossenschaften bei der Wasserbeschaffung wesentliche Erleichterungen bringen. Die Nutzung derartiger Grundwässer durch vor allem in Streulage befindlichen bäuerlichen Anwesen ist ja schon seit langem und sicher auch weiterhin im ost- und weststeirischen Tertiärgebiet üblich. Dabei wurde und wird jedoch nicht in einem der heutigen Zeit entsprechenden Ausmaß auf die Wasserqualität und die Sicherheit der Fassungsanlage geachtet. Die Quelfassungen und Brunnen sind vielfach mitten in den Rutschungsbereichen, die ein Fortdauern der Bodenbewegungen erwarten lassen, lokalisiert.

### Literatur

- ALKER, A., HAAS, H. & HOMANN, O.: Hangbewegungen in der Steiermark. — Mitt. Mus. Bergbau, Geologie und Technik Landesmus. Joanneum, 30: 3—35, Graz 1969.
- BERNHART, L.: Wasserverband Hochschwab-Süd — Gedanken zur zukünftigen steirischen Wasserwirtschaft. — Gas — Wasser — Wärme, 27, 9: 182—185, Wien 1973 (1973a).
- , Wasserversorgung aus dem Leibnitzer Feld. — Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 24, Graz 1973 (1973b).

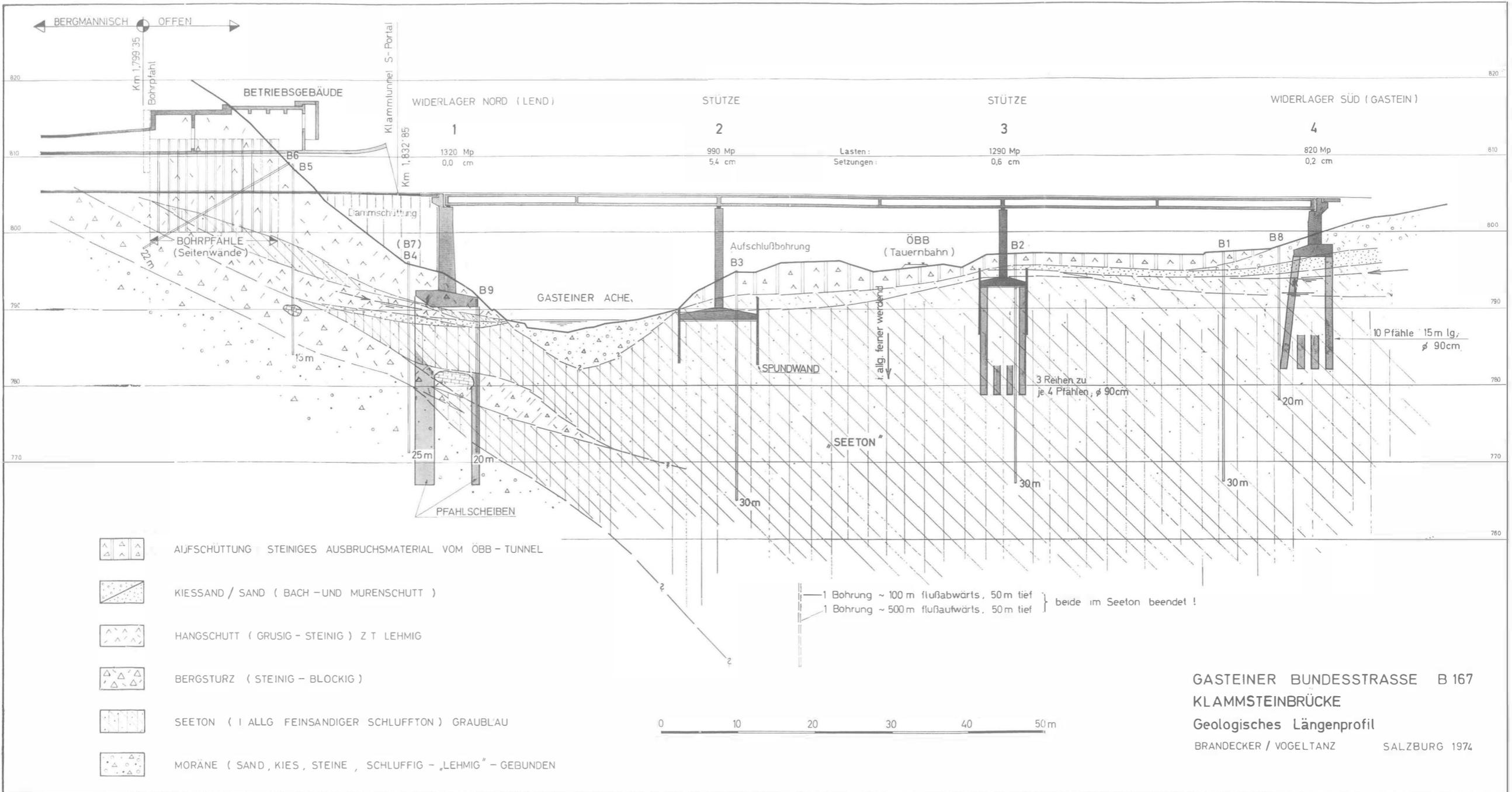
- BRANDL, W. & HAUSER, A.: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Bezirk Fürstenfeld. — Beiträge zu einer Hydrogeologie Steiermarks, 5: 15—25, Graz 1951.
- BRANDL, W. & SCHMID, R.: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Gemeindegebiet von Floing, Bezirk Weiz. — Beiträge zu einer Hydrogeologie Steiermarks, 5: 3—10, Graz 1951.
- HAAS, H.: Baugeologischer Bericht, Wechsel-Bundesstraße Nr. 54, Rutschungsbehebung „Kneisslwirt“. — Graz 1966 (unveröffentl.).
- KELLER, G.: Angewandte Hydrogeologie. — Verl. Wasser u. Boden, Axel Lindow u. Co., Hamburg 1969.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im steirischen Becken. — Mitt. Geol. Ges. in Wien, 57, 2: 479—632, Wien 1964.
- METZ, K. & VEDER, Ch.: Neuere Arbeiten über Rutschungen im SE-steirischen Tertiär. (Vortrag gehalten am 28. I. 1969 im Naturwissenschaftlichen Verein für Steiermark.)
- SCHMIDT, R., BRANDL, W. & HAUSER, A.: Skizze der hydrogeologischen Verhältnisse des Gemeindegebietes Harl im Bezirk Weiz. — Beiträge zu einer Hydrogeologie Steiermarks, 1: 11—18, Graz 1949.
- THURNER, A.: Rutschungen im steirischen Tertiärgebiet mit besonderer Berücksichtigung der Wasserführung. — Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, N. F., Jg. 1965, 17: 141—162, Graz 1965.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Entwurf einer Übersichtskarte der Wassermangelgebiete und wasserärmeren Bereiche in Steiermark. — Mitt. Reichsanst. Bodenf., Zweigstelle Wien, 1944, 7: 3—16, Wien 1944.
- ZÖTL, J.: Wässer und Gewässer in der Steiermark. — In: Die Steiermark, Land, Leute, Leistung, 2. Aufl., 94—141, Graz 1971.

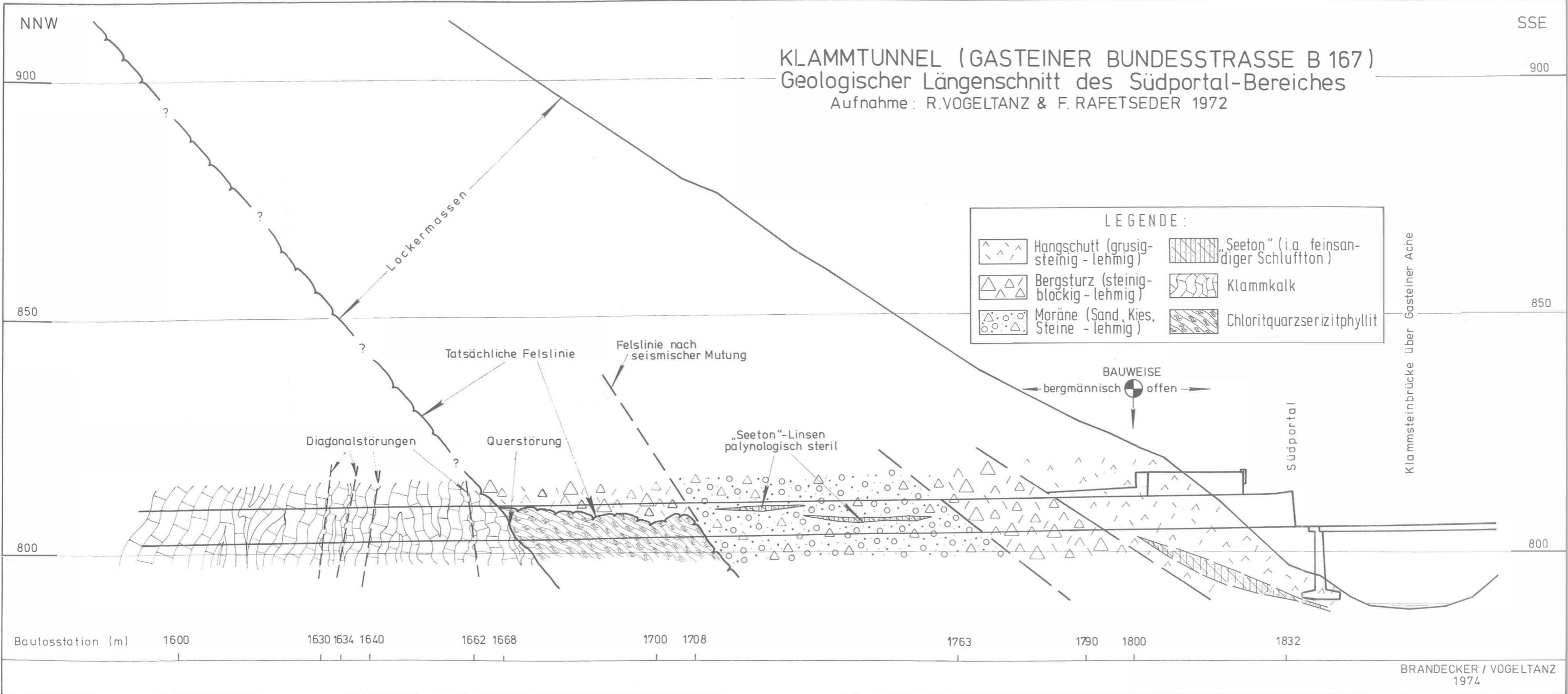
Anschrift des Verfassers: Baurat Dr. Hilmar ZETINIGG, Wartingergasse 7, 8010 Graz, Österreich.



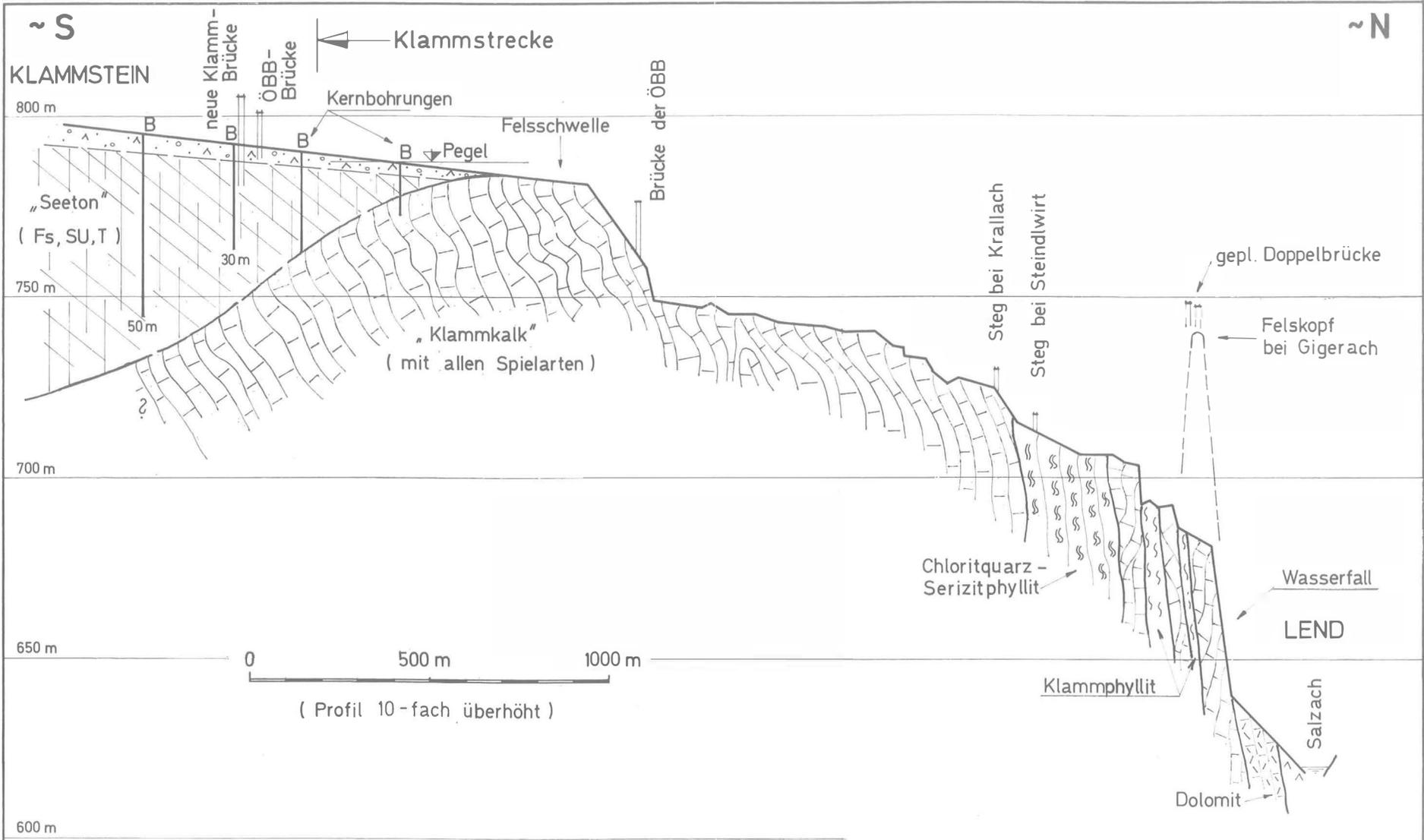
## Bisher sind folgende Mitteilungshefte erschienen:

- Heft 1: F. Heritsch: Neue Versteinerungen aus dem Devon von Graz, Graz, 1937.
- Heft 2: E. Haberfelner: Die Geologie des Eisenerzer Reichenstein und des Polster. Graz, 1935 (vergriffen).
- Heft 3: K. Murban: Die vulkanischen Durchbrüche in der Umgebung von Feldbach. Graz, 1939.
- Heft 4: W. v. Teppner: Tiere der Vorzeit. Graz, 1940.
- Heft 5: M. Loehr: Die Radmeister am steirischen Erzberg bis 1625. E. Ehrlich: Aus den Werfener Schichten des Dachsteingebietes bei Schladming. Graz, 1946.
- Heft 6: W. v. Teppner: Das Modell eines steirischen Floßofens im Landesmuseum Joanneum, Abteilung für Bergbau und Geologie. Graz, 1941.
- Heft 7: K. Murban: Riesen-Zweischaler aus dem Dachsteinkalk. Graz, 1952.
- Heft 8: M. Mottl: Steirische Höhlenforschung und Menschheitsgeschichte. Graz, 1953 (vergriffen).
- Heft 9: Die Bärenhöhle (Hermann-Bock-Höhle) im kleinen Brieglersberg, Totes Gebirge. I. K. Murban: Geologische Bemerkungen zum Bau des Südostteiles des Toten Gebirges. — II. M. Mottl: Ergebnisse der Befahrung und Untersuchung der Höhle. Graz, 1953 (vergriffen).
- Heft 10: W. Fritsch: Die Gumpeneckmarmore. — W. Fritsch: Die Grenze zwischen den Ennstaler Phylliten und den Wölzer Glimmerschiefern. Graz, 1953.
- Heft 11: Eiszeitforschungen des Joanneums in Höhlen der Steiermark. K. Murban: Geologische Bemerkungen. — M. Mottl: Die Erforschung der Höhlen. Graz, 1953.
- Heft 12: A. Schouppé: Revision der Tabulaten aus dem Paläozoikum von Graz. Die Favositiden. Graz, 1954.
- Heft 13: M. Mottl: *Hipparion*-Funde der Steiermark. *Dorcatberium* im Unterpilozän der Steiermark. Graz, 1954.
- Heft 14: O. Homann: Der geologische Bau des Gebietes Bruck a. d. Mur — Stanz. Graz, 1955.
- Heft 15: M. Mottl: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark. — M. Mottl: Neue Grabungen in der Repolsthöhle bei Peggau in der Steiermark. (Mit einem Vorwort von K. Murban.) Graz, 1956.
- Heft 16: W. Stipberger: Schrifttum über Bergbau, Geologie mit Karstforschung und Heilquellen, Hydrogeologie, Mineralogie, Paläontologie, Petrographie und Speleologie des politischen Bezirkes Liezen, Steiermark, von 1800 bis 1956. Graz, 1956.
- Heft 17: H. Flügel: Revision der ostalpinen Heliolitina. Graz, 1956.
- Heft 18: G. Kopetzky: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in Südweststeiermark. Graz, 1957.
- Heft 19: M. Mottl: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark. — A. Papp: Bemerkungen zur Fossilführung von Jagerberg bei St. Stefan in der Oststeiermark. Graz, 1958.
- Heft 20: A. Thurner: Die Geologie des Pleschaitz bei Murau. Graz, 1959.
- Heft 21: A. Thurner: Die Geologie der Berge nördlich des Wölzertales zwischen Eselsberg und Schönberggraben. Graz, 1960.
- Heft 22: M. Mottl: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark. VI. Neue Säugetierfunde aus dem Glanzkohlenbergbau von Fohnsdorf. Die Dorcattherien (Zwerghirsche) der Steiermark. Graz, 1961.
- Heft 23: H. Flügel: Die Geologie des Grazer Berglandes. Graz, 1961 (vergriffen).
- Heft 24: E. Flügel und E. Flügel-Kahler: Mikrofazielle und geochemische Gliederung eines obertriadischen Rifles der nördlichen Kalkalpen (Sauwand bei Gußwerk, Steiermark, Österreich). Graz, 1962.
- Heft 25: E. Worsch: Geologie und Hydrologie des Aichfeldes. Graz, 1963.
- Heft 26: M. Mottl: Bärenphylogenie in Südostösterreich. Graz, 1964.
- Heft 27: A. Fenninger und H. Hötzl: Die Hydrozoa und Tabulozoa der Tressenstein- und Plassenkalke (Ober-Jura). Graz, 1965.
- Heft 28: M. Mottl: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark VII—IX. Graz, 1966.
- Heft 29: W. Stipberger: Almanach des steirischen Berg- und Hüttenwesens. Graz, 1968.
- Heft 30: A. Alker — H. Haas — O. Homann: Hangbewegungen in der Steiermark. Graz, 1969.
- Heft 31: M. Mottl: Die jungtertiären Säugetierfaunen der Steiermark, Südostösterreichs. Graz, 1970.
- Heft 32: E. Worsch: Geologie und Hydrologie des Murbodens. Graz, 1972.
- Heft 33: K. Metz: Beiträge zur tektonischen Baugeschichte und Position des Fohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbeckens. — F. Ebner: Die Conodontenfauna des Devon/Karbon-Grenzbereiches am Elferspitz (Karnische Alpen, Österreich). Graz, 1973.
- Heft 34: F. Ebner: Foraminiferen aus dem Paläozoikum der Karnischen Alpen. Graz, 1973.
- SH 1: H. W. Flügel: Die Geologie des Grazer Berglandes, 2. neubearb. Aufl. Graz, 1975.





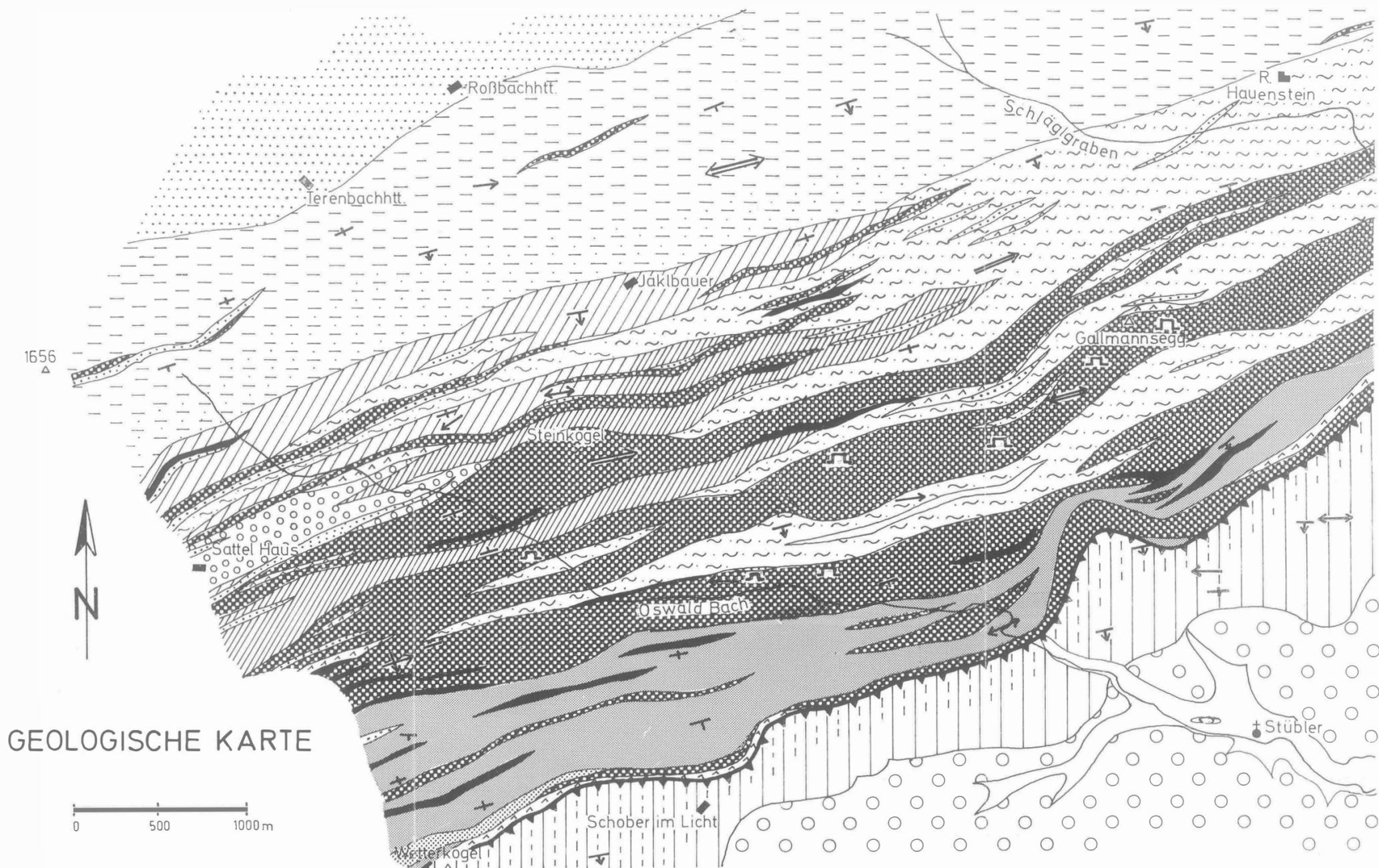
BRANDECKER / VOGELTANZ  
1974



# GASTEINER KLAMM

## Geologisches Profil (schematisch)

BRANDECKER / VOGELTANZ Salzburg 1974



GEOLOGISCHE KARTE

0 500 1000m

L.P. BECKER 1975

LEGENDE

Quartär

Alluvium

Kreide

Gosau: rote Konglomerate m. Sandsteinlagen

Paläozoikum (Mitteldevon)

Karbonatphyllit

Kalkschiefer u. Kalke i. allg., gelegentlich m. Tonschiefer einschaltungen

Kristallin

AMPHIBOLIT-KOMPLEX

Gemeiner Amphibolit (teilweise Granatamphibolit)

GLIMMERSCHIEFER-KOMPLEX

Zweiglimmerschiefer

Zweiglimmergneis

MARMOR-KOMPLEX

Marmor i. allg.

Quarzitischer Gneis

Disthenführender Gneis („Disthenflasergneis“)

Quarzitischer Glimmerschiefer

Staurolith - Granat - Glimmer - schiefer

PEGMATOIDER GNEIS-KOMPLEX

Staurolithgneis

Staurolithgneisdiaphthorit (z.T. Staurolithglimmerschiefer)

IN ALLEN KOMPLEXEN

Pegmatit

Hornblendegestein (Amphibolit, Hornblende - schiefer, Hornblendegneis usw.)

Quarzit

sf - Flächenlagerung

bis 30°

bis 50°

bis 80°

saiger

Faltenachsen

Kleinfalte

Großfalte

Steinbruch

Überschiebungsfläche

Beilage 1: Geologische Karte (1 : 25.000) des Gebietes zwischen Sattel-Haus und Ruine Hauenstein (nordöstliche Stubalpe, Stmk.).

Korrektur: Bei den Klischierarbeiten hat sich die aufgeklebte Signatur des schmalen Marmorzuges — etwa 1 km nordöstlich der Schrift „Oswald-Bach“ — abgehoben.

NNW

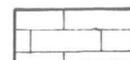
SSE

# KLAMMTUNNEL (GASTEINER BUNDESSTRASSE B 167)

## Generalisierter geologischer Längenschnitt

Aufnahme: R. VOGELTANZ 1972

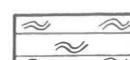
FELS-SIGNATUREN:



Klammkalk

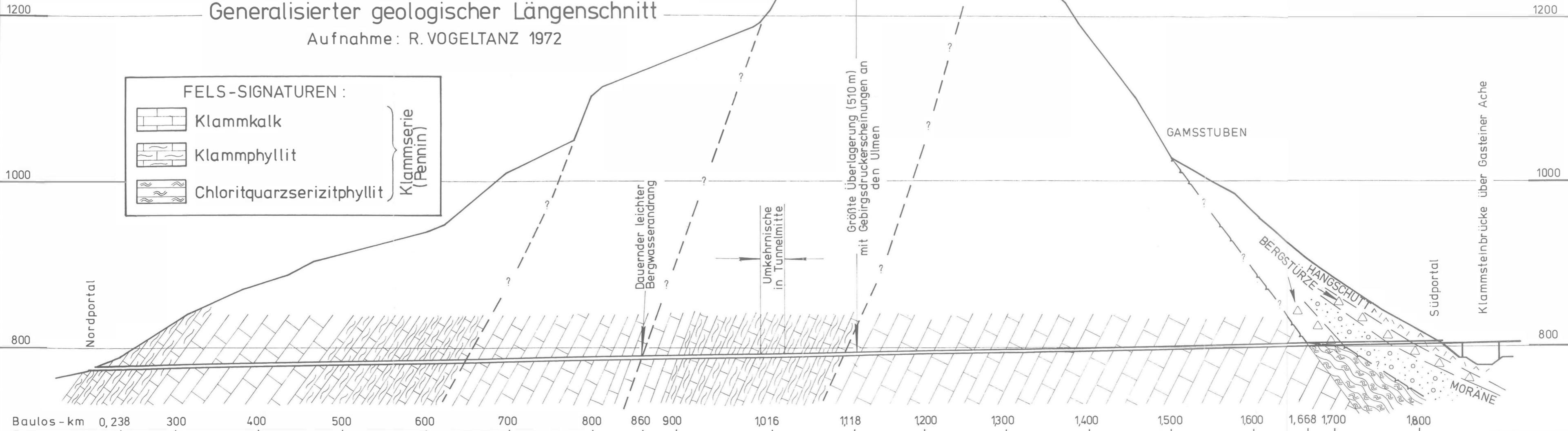


Klammphyllit



Chloritquarzserizitphyllit

} Klammserie (Pennin)



Baulos - km 0,238 300 400 500 600 700 800 860 900 1016 1118 1200 1300 1400 1500 1600 1668 1700 1800

BRANDECKER / VOGELTANZ 1974