

Mitt. österr. geol. Ges.	76 1983	S. 101—132 5 Abb., 2 Tab., 14 Diagr., 5 Fototaf., 3 Taf.	Wien, 15. Dezember 1983
--------------------------	------------	--	-------------------------

Der tektonische Bau des Kalcherkogels in der Koralpe (Steiermark/Kärnten)

Von Franz Josef BROSCHE¹⁾

Mit 5 Abb., 2 Tab., 14 Diagr., 5 Fototaf. und 3 Taf.

Zusammenfassung

Die Auswertung der Strukturelemente (Falten, Lineationen, Trennflächen) des Kristallingebietes läßt mehrere B-Achsgenerationen vom mikroskopischen bis in den 100-m-Bereich erschließen. Den größeren und jüngeren Faltenstrukturen ist das Trennflächengefüge symmetrologisch zuordenbar. Lineare Gefügeelemente verschiedener Genese lassen sich hinsichtlich ihrer Orientierung teilweise mit der Plattengneislineation vergleichen, doch tritt daneben eine starke Konzentration linearer Elemente um E-W (parallel der ältesten, nachweisbaren Faltenachsgeneration) hervor. Bei der genetisch-geometrischen Deutung werden die Probleme herkömmlicher Interpretation von Deformationsstrukturen kurz diskutiert.

Summary

Evaluation of the structural elements (fold axes, lineations, planar elements) of this area of crystalline rocks shows several B-axis-generations ranging from microscopical to 100 m magnitudes. From the symmetrological point of view, the pattern of fracture planes can be related to the larger and younger fold structures. With respect to the orientations, part of the linear elements can be compared to the "Plattengneislineation", but there is also a strong concentration of lineations about E-W parallel to the oldest generation of fold axes found by investigations. Along with the genetic-geometric interpretation, the problems involved in the conventional interpretation of deformation structures are briefly discussed.

Inhalt

1.	Allgemeines	102
1.1.	Einleitung	102
1.2.	Petrographischer Überblick	102

¹⁾ Adresse des Verfassers: Dr. F. J. BROSCHE, Institut für techn. Geologie, Mineralogie und Petrographie, Technische Universität, A-8010 Graz, Rechbauerstraße 12.

2.	Tektonische Gefügeelemente	103
2.1.	Mesoskopische Strukturelemente	103
2.1.1.	Falten	103
2.1.2.	Lineationen	103
2.1.3.	Deutung der linearen Gefügeelemente	105
2.1.4.	Schieferigkeit	108
2.1.5.	Klüfte	109
2.1.6.	Deutung des Kluftgefüges	110
2.1.7.	Störungen (Verschiebungsflächen)	112
2.2.	Mikroskopische Gefügeelemente	115
2.2.1.	Mineralregelung	115
2.2.2.	Sekundäre Schieferungsflächen	115
2.2.3.	Falten	118
2.2.4.	Rupturen	119
2.2.5.	Reliktische Einschlußgefüge	119
3.	Schluß	120
	Literatur	121
	Beschreibung der Tafeln	123

1. Allgemeines

1.1. Einleitung

Der Kalcherkogel (1244 m ü. d. M.) im Hauptkamm der Koralpe zwischen Steiermark und Kärnten liegt ca. 2 km südlich der Ortschaft Pack (Planquadrat R 946 H 5202 der Österreichischen Karte 1: 50.000, Blatt 188 Wolfsberg). Aufgrund der dürftigen Aufschlußverhältnisse existieren aus diesem Raum der Koralpe keine eingehenden strukturgeologischen Aufnahmen. Der Durchschlag von zwei Tunnelröhren (in 1025 bzw. 1055 m ü. d. M.) für den Ausbau der Südautobahn und die künstlichen Anschnitte der anschließenden Freilandtrasse ermöglichen jetzt einen genaueren Einblick in das tektonische Inventar des hier behandelten, ca. 5 km² umfassenden Areals.

1.2. Petrographischer Überblick (siehe Beilage 1)

Zwei Gesteinsgruppen sind wesentlich am Aufbau des Arbeitsgebietes beteiligt (vgl. Geologische Karte 1: 50.000, Blatt 188 Wolfsberg, 6709; BECK-MANAGETTA, 1980):

1. Grobflaserig-knotige Disthen-Granat-Glimmerschiefer (Granatglimmerschiefer BECK-MANAGETTA, 1975, 1980; Disthen-führende Granatglimmerschiefer, HOMANN, 1962) mit Pegmatoid- und Marmorlinsen. Sie führen stets Biotit und Muskowit in wechselndem Verhältnis, mehrere Granat- und Disthengenerationen (Disthen in feinkörnigen Andalusitpseudomorphosen, cm-großen Einzelstengeln oder bis mehr als faustgroßen, feinkörnigen Knollen) und Plagioklas An 16—20. Als Spielarten sind disthenreiche Biotit-Granatschiefer und Turmalin-führende Zoisit-Granat-Muskowitschiefer zu nennen. Untergeordnet treten auf: Bänder von Epidotamphibolit, Zoisit-Granat-Amphibolit und Biotit-Plagioklas-Amphibolit.

Kalksilikatgesteine (Klinozoisit, Amphibol, Klinopyroxen, Granat, derber Zoisit, Plagioklas) treten in Form tektonischer Linsen und in Glimmerschiefer eingewickelter Knollen auf.

2. Granat-arme feinkörnige Glimmerschiefer mit gneisartigem Habitus (Gneisglimmerschiefer bzw. Gneisquarzit bei BECK-MANAGETTA, 1975, 1980), welche mächtige Pegmatoidlinsen und Lagen von Glimmerquarzit, Kalksilikatschiefer-Silikatmarmor führen. Zwischen den zeilig-bänderig strukturierten Glimmerschiefern und den Granat- und Hornblende-führenden Glimmerquarziten bestehen Übergänge; die Kalksilikatschiefer sind Zoisit- und Klinozoisit-reiche Glimmer- und Quarz-arme Schiefer mit Amphibol und Klinopyroxen und geringem Korbonatgehalt. Silikatmarmore führen neben Calzit reichlich Klinozoisit, Quarz-Feldspat, Biotit und Klinopyroxen. Die Pegmatoide zeigen wechselnd starke Paralleltexur und sind teilweise als Pegmatoidgneise anzusprechen. Die Gesteine der zweiten Gruppe unterlagern jene der Gruppe 1, welche in den morphologisch höheren Teilen des Bergkammes verbreitet sind.

Eine eingehende petrographische Beschreibung der skizzierten Großgruppen findet sich bei HOMANN (1962).

2. Tektonische Gefügeelemente

2.1. Mesoskopische Strukturelemente

2.1.1. Falten

Die vermessenen und konstruktiv ermittelten Faltenstrukturen lassen sich hinsichtlich ihrer Achsenrichtung, Größenordnung und ihres Faltenstiles in folgende Gruppen gliedern (vgl. Diagramme D 1, D 2).

Achsenorientierung um W-E:

- a) Liegende, teilweise isoklinale und wurzellose Zwischenfalten im cm-Bereich (Quarzbänder, Biotit-reiche Lagen in Kalksilikatmarmor);
- b) SSE- bis SSW-vergente bis liegende dm-m-Falten (HOMANN, 1962), teilweise isoklinal mit schwacher B-paralleler Boudinierung;
- c) konstruktiv ermittelbare Einmuldung geringer Amplitude mit Spannweiten im 100 m-Bereich.

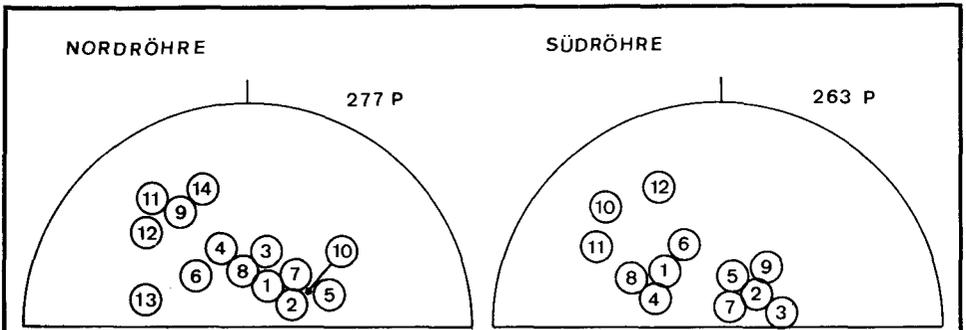
Achsenorientierung SW bis SSE:

- a) Oft asymmetrische dm- bis m-Falten uneinheitlicher Vergenz und mit wechselndem Öffnungswinkel;
- b) flache Großfalten (10 m- bis 100 m-Bereich) mit schmaler Scheitelumbiegungszone und langen, geraden Schenkeln; überwiegend E- bis SE-Vergenz (siehe Tab. 1);
- c) großräumige, konstruierbare Einmuldung großer Wellenlänge (siehe Beilage 1).

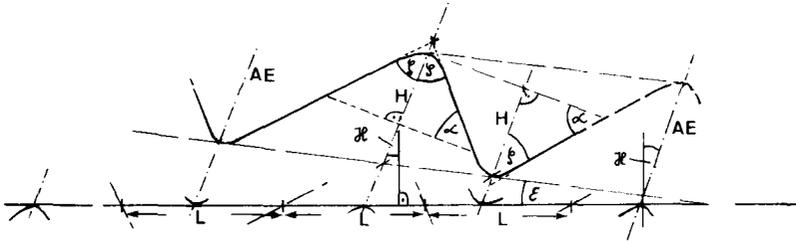
2.1.2. Lineationen

Auf praktisch allen Schieferungsflächen sind meist undeutliche lineare Elemente vertreten, bei deren Aufnahme eine genetische Vorweg-Deutung oft unerlässlich ist und damit eine Unschärfe in die Ergebnisse bringt.

Mit Knitterung werden als Fältelungsachsen gedeutete Lineare bezeichnet. Im Gelände können sie nur schwer von Verschnittlinearen unterschieden werden.



sf-POLSCHWERPUNKTE AB DEN TUNNELOSTPORTALEN



Nr.	L (m)	2 γ°	ε°	δ°	α°	H ca. m
1-2	214	170	6?	2	5	9
2-3	174	162	8	8	9	15
3-4	108	164	7	10	8	9
4-5	86	142	5	1	19	24
5-6	94	140	4	2	20	26
6-7	86	150	5	1	15	20
7-8	131	166	7	6	7	10
8-9	157	150	10	26	15	21
9-10	127	132	14	18	24	30
10-11	124	124	24	22	28	33
11-12	136	170	15	37	5	9
12-13	208	160	8	24	10	16
13-14	104	146	4?	18	17	23

Nr.	L (m)	2 γ°	ε°	δ°	α°	H ca. m
1-2	131	150	2?	8	15	17
2-3	139	164	14	6	8	11
3-4	170	140	6	2	20	31
4-5	225	154	0	7	13	17
5-6	129	160	6	14	10	16
6-7	111	154	16	15	9	18
7-8	199	144	17	12	13	25
8-9	174	140	24	18	18	23
9-10	178	128	25	22	20	31
10-11	181	168	18	32	26	9
11-12	183	166	6?	8	12	16

NORDRÖHRE

SÜDRÖHRE

TAB. 1:

GEOMETRISCHE DATEN DER IM TUNNEL DURCHFARENEN
GROSSFALTEN, KONSTRUIERTE WERTE

Die Lineare zeigen nach Horizontierung zwei Häufungen (siehe D 5): ein in SW liegendes Maximum und eine um E-W pendelnde, breitere Konzentration.

Regelungslineare ergeben sich aus der bevorzugten Ausrichtung von Minerallängsachsen bzw. linearer Mineralanordnung. Die Richtungen von Granatknotenreihen und Hellglimmerbahnen (D 4) zeigt eine nur undeutliche und breite Ballung um E-W mit untergeordneten Häufungen in NW-SE und NE-SW; um N-S orientierte Lineare treten nicht auf. Größere Disthenstengel andererseits sind strenger um N-S mit geringfügiger Bevorzugung der SSW-NNE-Richtung geregelt (D 3). Das Diagramm 3 zeigt auch die an drei Plagioklas- und Turmalinindividuen feststellbaren Auslängungsrichtungen (Streckung bzw. Zerreißung). Die längere Achse gestreckter Plagioklasaugen liegt in SSW-NNE, die mittlere in ESE-WNW; in letzterer Richtung sind auch die Turmalinstengel zerrissen und auseinandergedriftet.

Als „kataklastische“ Lineare werden Vorzeichnungen benannt, welche der bekannten Plattengneislineation ähneln, im Gelände jedoch nirgends eindeutig genetisch festgelegt werden konnten. Ihre größte Häufung liegt in SSE-NNW, weniger bedeutend erscheinen Konzentrationen um W-E (D 6).

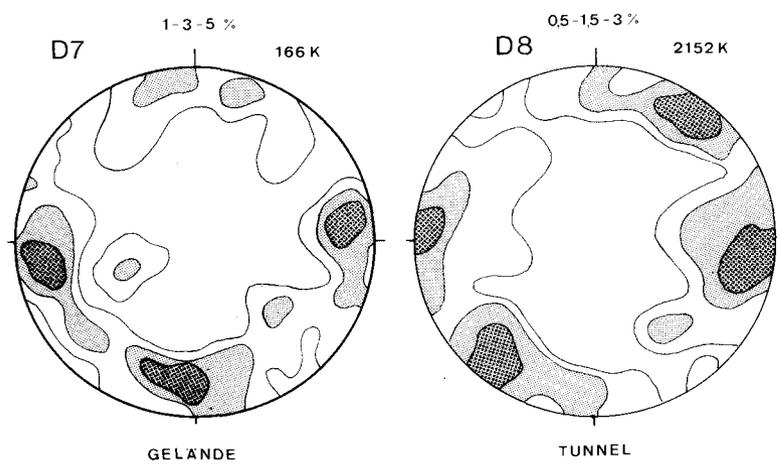
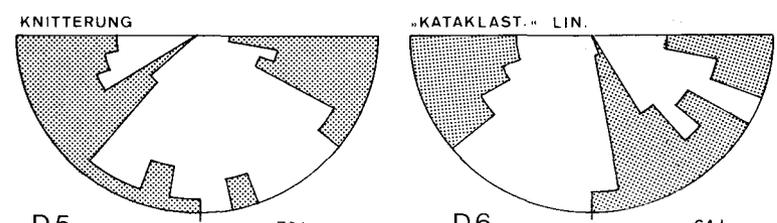
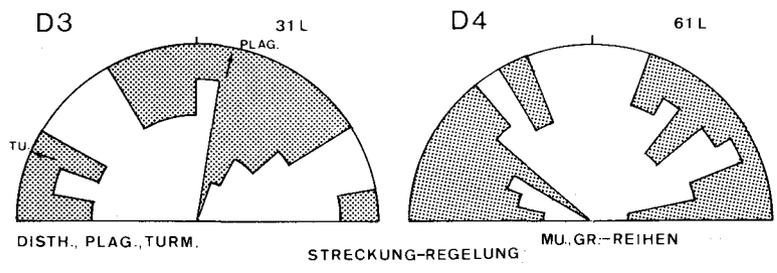
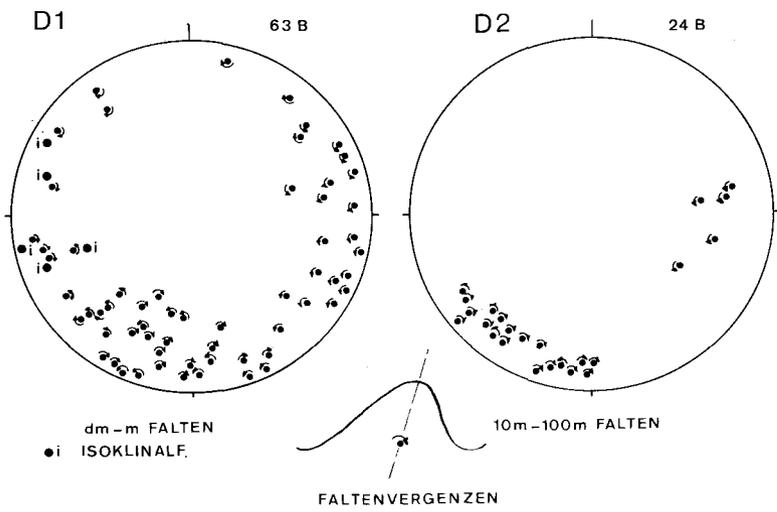
2.1.3. Deutung der linearen Gefügeelemente

Eine — auch rein symmetrologisch-kinematische — Deutung der linearen Strukturelemente stößt auf zahlreiche Schwierigkeiten. Differierende Achsenrichtungen können bestenfalls Anhaltspunkte liefern, da sich zur natürlichen Streuung die Deformation parallel B, die Auswirkungen von Überprägungen und vor allem die Tendenz der Achsen zum Ausschwenken gegen X (längste Achse des Deformationsellipsoides) addieren (vgl. SANDERSON, 1973, RAMSAY, 1967, BAUMGARTNER, 1976, WILLIAMS, 1978). PARK (1969) weist besonders auf die strenge Kontrolle älterer Strukturen auf die Richtungen jüngerer Elemente hin (siehe auch GHOSH und RAMBERG, 1968), die Ausführungen desselben Autors schränken auch die Signifikanz von Faltenstil und -symmetrie bei vergleichenden Falteninterpretationen ein.

Darüber hinaus ist der Faltenstil von mehreren kaum faßbaren Einflußgrößen, wie Gesteinsteilbeweglichkeit, Verhältnis der Strainachsen, Dauer der Beanspruchung (vgl. BAUMGARTNER, 1976), räumlichem Wechsel der Strainachsenorientierung (RAMSAY, 1967, BREDDIN, 1968) und Ausgangslage der Schichten in bezug auf die Deformationsachsen abhängig.

Nachfolgende Interpretation der zeitlichen Faltungsfolge und der Lineationen bezieht sich auf die heute vorliegenden Orientierungen und beruht vorwiegend auf der durch Ausglättung der größeren Faltenstrukturen gefundenen Abfolge. Der Ausdruck Falten-generation darf im folgenden nicht wie Faltungsakt verstanden werden; mehrere Generationen mit intern definierter Altersfolge können durchaus einem Prägungsakt entspringen.

B-1, Achsenorientierung um E-W: Die relativ älteste faltenbildende Deformation läßt sich nur noch reliktsch in den dünnen, Biotit-reichen Lagen der Silikatmarmore mit dünnen ausgeschwänzten Schenkeln und häufig isolierten, verdickten Scheiteln erkennen. Diese überaus stark gelängten isoklinalen Falten bilden die Bänderung der Silikatmarmore. Desgleichen sind hier die vielfach konvergierenden Quarzschüre in Glimmerschiefern zu nennen, welche sich teilweise zu schieferungsparallelen Bändern



mit deutlicher Mittelnaht vereinigen bzw. isoklinale, liegende Zwischenfalten im cm-Bereich bilden.

Die Merkmale dieser Falten (Gruppe 1 a) lassen eine genetische Verbindung zu der heute vorliegenden Schieferigkeit vermuten. Einige Beispiele für B-1-Faltenstrukturen im mesoskopischen Bereich zeigt die Fototafel 1. Aus dem Geländebefund können keine Argumente für oder wider eine Zuordnung der Faltengruppe 1 b zur B-1-Generation gewonnen werden, doch erwähnt BECK-MANAGETTA (1945) W-E orientierten Kleinfalten als ältestes Strukturelement. Ferner scheint der Faltungsstil (fast geschlossene, stark vergente bis liegende Falten mit deutlicher Schenkelausdünnung und Boudinageartigen Mächtigkeitsschwankungen) einen Hinweis bezüglich einer engen zeitlich-genetischen Verbindung der Faltengruppen 1 a und 1 b zu liefern.

B-2, Achsenorientierung SW bis SSE sowie um ESE: Diese deutlich jüngere Falten-generation ist im gesamten Arbeitsgebiet vertreten (Faltengruppe 2 a), greift streng ins Korngefüge ein und wurde auch aus der Saualpe beschrieben (LODEMANN, 1966, PILGER und WEISSENBACH, 1975); ferner ist die SW-SSW-Richtung auch in weiten Teilen der Kor- und Stubalm für achsiale Elemente bestimmend (BECKER und SCHUMACHER, 1973, BECK-MANAGETTA, 1980).

B-3, Achsenorientierung SW bis S: Als B-3-Falten werden die Strukturen im 10- bis 100 m-Bereich zusammengefaßt (Gruppe 2 b), ihr Altersverhältnis zu den B-2-Falten ist unsicher. Da die B-2-Rund- und -Sinusfalten den Sätteln der B-3-Strukturen mit Achsenflächendivergenz aufsitzen, darf man schließen, daß die Bildung der Kleinfalten (B-2) jener der Großstrukturen (B-3) vorausging. Dieser nicht im Korngefüge abgebildeten, doch mit symmetriekonformem Trennflächeninventar verbundenen Falten-generation („kalt“ geformte Dreieckfalten mit fast geraden Schenkeln, großer Faltenöffnung und schmalen Scharnierbereich) mag auch die Einmuldung der Gesamtschichtfolge zu einem Großsynklinorium mit flach SSW eintauchender Achse zugeordnet werden. Die Mulde (Faltung 2 c) ist über die Achsenflächenstellungen und den Falten Spiegel der B-3-Falten konstruierbar (vgl. Beilage 1).

B-4, Achsenorientierung E-ESE: Im wesentlichen als einzeitige Querstruktur zur B-3-Achsen-generation wird der weitspannig sanfte südvergente Faltenwurf geringer Amplitude (B-4) aufgefaßt (vgl. HOMANN, 1962), der sich aus der räumlichen sf-Flächenverteilung und der schwachen Scheitellinienundulation der B-3-Strukturen ergibt. Besagte Achsenorientierung wurde auch aus Stub- und Saualpe beschrieben.

Die Streuung von Lineationen, besonders auf gefalteten Flächen ist bekanntlich vorerst vom Altersverhältnis beider Elemente abhängig, als weitere einflußreiche Randbedingungen treten dazu noch der Winkel zwischen Faltenachse und Lineation, Strainachsenverhältnis und -größe und die Genese der Lineation (LISLE, 1974, RAMSAY, 1967); eine einfache geometrische Beziehung von Lineationen und Achsenorientierungen ist demnach kaum zu erwarten, besonders die Interpretation von Strecklinearen — sofern es sich nicht um die banale Tatsache von Streckungen durch Biegegleitfaltung auf Schicht- bzw. Schieferungsflächen handelt — ist problematisch. Die Strecklineare resultieren aus der Interndeformation (z. B. Hochlängung von Falten) und sind i. A. etwa normal zur Faltenachse in Richtung X orientiert (siehe SANDERSON, 1973, VOLL, 1969). Im Gelände gemessene Strecklineationen ergeben jedoch die Orientierung der Längsachse jener Ellipse, welche durch den Verschnitt des Deformationsallipsoids mit der Fläche, auf welcher das Datum gemessen wird, entsteht. Die Achsen besagter Ellipse

stimmen weder in Größe noch in der Richtung mit jenen des Strainellipsoides überein, wie LISLE (1974) anschaulich dargelegt hat. Darüber hinaus ist eine genaue volumetrische Kalkulation notwendig, um festzustellen, ob tatsächlich eine Streckung erfolgt ist, oder ob das Linear (z. B. Faserkristallite in Druckschattenhöfen) lediglich die Richtung einer Hauptnormalspannung während der Deformation (kleinste Druck- oder größte Zugspannung) abbildet (LANGHEINRICH, 1976).

Alle im Gelände erhobenen Lineationen mit offensichtlich unterschiedlicher Genese zeigen eine gewisse Häufung um E-W (siehe Diagramme D 3 bis D 6), was als strenger Ausdruck b-paralleler Orientierungen zu den B-1-Falten gewertet werden kann (siehe auch KLEINSCHMIDT, NEUGEBAUER, SCHÖNENBERG, 1975).

Knitterungen scheinen eindeutig mit den herrschenden B-Achsenrichtungen zu korrelieren (Diagramme D 1, D 5), ähnliche Orientierungen ergeben sich auch für Muskowitflatschen und manche Granatreihen. Problematisch erscheint die Interpretation der Mineralregelungen sowie der sogenannten „kataklastischen“ Lineation. Erstere Lineare scheinen deutliche Bindung an die strukturprägende B-2-Faltengeneration (im Sinne von b-Lineationen) aufzuweisen, können jedoch ebenso Bewegungen parallel „a“ der B-1-Falten zugerechnet werden; a-Lineationen in bezug auf B-1 oder auch B-2 scheinen auch die „kataklastische“ Lineare darzustellen. Diese und die Mineralregelungen (bzw. Auslängungen) entsprechen in Orientierung und Eigenschaften etwa den bekannten „Plattengneislineationen“, welche HOMANN (1962), BECKER (1976, Plagioklaslängung) sowie FRANK et al. (1980, 1981, auch symmetrologisch) überzeugend als a-Lineationen deuten, während BECK-MANAGETTA aus den zahlreichen um N-S liegenden Faltenachsen Argumente für eine Deutung der Plattengneislineationen als b-Lineare ableitet (vgl. auch BECKER, 1976). Für die Gegebenheiten des Arbeitsgebietes steht eine kräftige, bis in den Kornbereich gehende Differentialbewegung parallel den in Rede stehenden um N-S pendelnden linearen Elementen außer Frage (Auslängung von Plagioklas, Regelung prädeformativ gebildeter Disthenstengel und -knollen, vgl. FRANK et al., 1981). Es erscheint nicht weiter notwendig, kongenetische Faltungs-B-Achsen (je nach Standpunkt) in W-E bzw. um N-S zu suchen, da, wie eingangs erwähnt, die einfachen geometrischen Beziehungen zwischen Falten und Lineationen nur bei geringen Strainraten und homogener Deformation zu erwarten sind; auch vorliegende Parallelität oder Normalorientierung von verschiedenen Gefügeelementen impliziert nicht, daß sie unter diesen geometrischen Beziehungen auch entstanden sind bzw., daß sie überhaupt genetisch zusammengehören. Bei großen Gesamtdeformationen, wie sie in dem behandelten Gebiet anzunehmen sind, ist weitläufiges Auspendeln der B-Achsen in Richtung der längeren Achse im Deformationsellipsoid zu erwarten (WILLIAMS, 1978).

2.1.4. Schieferigkeit

Die durchgreifendste und engständigste flächige Anisotropie der beschriebenen Gesteinsfolgen ist durch die Schieferung (besser: Schieferigkeit) gegeben, wobei sie durchwegs als Kristallisationsschieferung anzusprechen ist. Im Handstück ist die Schieferigkeit sowohl als Regelungs- (Glimmer, Amphibole, Disthen) als auch als Verteilungsanisotropie (Bänderung, Flaserung) erkennbar; der in den Granat-Glimmerschiefern häufig linsige Spaltbruch und an verwitterten Oberflächen herauspräparierte feine

Fugensysteme deuten darüber hinaus eine weitständigere, spitzwinkelig die Hauptschieferung querende zweite Schieferung an.

Es ist anzunehmen, daß der mit der Schieferigkeit verbundene stoffliche Lagenbau (vgl. PILGER und WEISSENBACH, 1975) nicht ohne weiteres als sedimentäre Tracht gedeutet werden darf (vgl. H. HERITSCH, 1980). Schon bei schwacher Deformation und Metamorphose der Ausgangssedimente kommt es zu Stoffwanderungen, welche fortschreitend durch selektive Lösung (Quarz, Karbonat, Feldspate) zur Sonderung hellerer von meist dunkleren, Glimmer-reicheren Lagen führt (z. B. ENGELS, 1959, VOLL, 1969). Schon in diesem Frühstadium werden (vorwiegend durch die Schichtsilikatverteilung) z. B. von den sedimentären Verhältnissen abweichende Korngrößenverteilungen mit quergreifenden Bänderungen geschaffen. Bei plättender und rotationaler Deformation (Faltung) des Sedimentstapels wird diese aus Drucklösung und mechanischer Regelung resultierende stoffliche Bänderung zu einer Schieferigkeit ausgestaltet (LANGHEINRICH, 1977), wobei durch Plättung die meist zweischarig angelegte Zerschering einscharig bis in den Kornbereich gehend (meist die synthetische Schar) beendet und in die Achsenebene der begleitenden Faltung einorientiert wird (HOEPPENER, 1956). Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese in Schiefergebirgsarealen gut studierten Vorgänge auch im behandelten Kristallin am Anfang der tektonisch-metamorphen Entwicklung standen und der heute beobachtbare stoffliche Lagenbau mit bis in den Kornbereich gehender Regelung einer durch Blastese und Durchbewegung weiter ausgestalteten Transversalschieferung entspricht (vgl. KLEINSCHMIDT, NEUGEBAUER, SCHÖNENBERG, 1975). Ebenso wahrscheinlich ist es im Laufe der Gesteinsentwicklung zu Wiederschieferungen gekommen, ohne aber den tektonisch geschaffenen, stofflichen Lagenbau durchgreifend zu verändern.

2.1.5. Klüfte:

Bei der Aufnahme wurde versucht, die Klüfte (d. h. völlige Unterbrechung des mechanischen Zusammenhaltes ohne erkennbare Bewegung in der Bruchebene) in Trennbrüche (hervorgerufen durch relative Zugspannung, Sprödbrüche in der σ_1 — σ_2 -Ebene) und durch Schubspannungen hervorgerufene Scherklüfte (Scherflächenpaare, konjugierte Brüche, MOHR'sche Flächen) zu teilen und ein erzeugendes Spannungsfeld zu ermitteln. Neben der durch die Vortriebsarbeiten sehr eingeschränkten Zugänglichkeit und Bearbeitungszeit, standen dem Versuch prinzipielle Schwierigkeiten gegenüber: Die den Bruch auslösenden Deformationen und (in ihrem Gefolge) Spannungen sind meist nur im Experiment bekannt; die den Scherbruch begleitenden Verschiebungen der Bruchwänden bewegen sich in elastischen Medien häufig im Kristallgitterbereich und sind auf der Bruchfläche makroskopisch nicht erkennbar (KASTNER, 1953, ROBERTS, 1961). Scherflächen können, zumindest in spröden Medien durch den Zusammenschluß von Zugbrüchen entstehen (BOCK, 1976), während Trennbrüche andererseits nach DENNIS (1970) auch über die Schubkomponente der Beanspruchung hervorgerufen werden (siehe DAVIS, 1948).

Obertags sind die Rupturen im Arbeitsgebiet hinsichtlich ihrer Eigenschaften nicht trennbar, in den stark verwitterten Aufschlüssen treten sie immer als klaffende Spalten mit Tendenz zur Kluftgassenbildung auf. Das erhobene Kluftsystem läßt NNW-SSE- bis N-S- und ESE-WNW- bis E-W-streichende Saigerkluftscharen hervortreten,

weniger bedeutend erscheinen mittelsteil NE- bzw. NW-fallende Klüfte und wenige SE- bzw. SW-fallende Trennflächen (Diagramm 7, STINY, 1925, HOMANN, 1962).

Das Sammeldiagramm der im Tunnel erhobenen (D 8) Daten zeigt zwei dominierende Saigerklufscharen mit einer „typischen“ (MÜLLER und PACHER, 1965, BOCK, 1974, NOWY, 1977) Streichwinkeldifferenz von ca. 60°, begleitet von E-W- und NE-SW-Steilklüften, untergeordnet mittelsteil einfallende, offensichtlich konjugierte Diagonalklufscharen. In den Einzeldiagrammen (Beilage 2) treten die Hauptklufscharen überall hervor, während komplementäre Scharen wechselnd stark besetzt aufscheinen. Den häufigsten und wichtigsten Kluffstellungen können weitere Parameter zugeordnet werden.

So zeigen Klufföffnung und -abstand, Makrorauigkeit, Bestege und Durchtrennungsgrad (vgl. BROSCHE, 1982) so enge Beziehungen zu den Orientierungen der Scharen, daß diese zu Klufffamilien zusammengefaßt werden können, wobei jede Familie in zwei Kluffgruppen zerfällt: bei Saigerklüftung symmetrische Polbesetzung der Peripherie, bei mittelsteilen Klüften konjugiert-komplementäre Pollagen in gegenüberliegenden Quadranten (siehe D 9).

Familie A-A': Ausgezeichnet durch die höchsten beobachteten Durchtrennungsgrade tritt die Gruppe A bevorzugt im E-Teil des Tunnels auf, während Gruppe A' gegen W zu dominiert; Klufföffnungen erreichen mehrere mm, an Bestegen finden sich hauptsächlich Calcitkrusten und -rasen neben Magnetkies; Chlorit- und Tonbeläge sind seltener. Klüfte der Familie A-A' sind straff geregelt.

Familie D-D': weicht in der Orientierung nur wenig von A-A' ab und wird gegen W zunehmend wichtiger; Kluffwandungen rau und eben, Durchtrennung hoch, Kiesbestege überwiegen. Chlorit- und Calcitbeläge kommen zu etwa gleichen Teilen vor. Flächen mit der Stellung D' sind auch als Verschiebungsflächen aktiviert worden.

Familie B-B' stellt über die gesamte Tunnellänge wichtige Flächen mit hoher Durchtrennung und strenger Regelung; rauhe Wandungen mit Kies-, Chlorit- und Calcitbestegen kennzeichnen Gruppe B, während B' häufig Lettenkrusten zeigt und als Verschiebungsflächenbündel aktiv war.

Familie C-C' ist überwiegend durch die Gruppe C vertreten, die linearen Durchtrennungsgrade liegen immer unter 0,5 (bez. auf den Tunneldurchmesser vom ca. 10 m). Mehr als 60 % dieser Flächen tragen Letten- oder Chloritbestege. Gleiches gilt für die Familie G-G'.

Familien E-E' und F-F' sind konjugierte Kleinkluffsysteme, mehr als 70 % der Flächen tragen Letten- bzw. Chloritbestege, Calcit fehlt fast völlig. Die Kluffwandungen sind eben und glatt, die Individuen einer Schar lösen einander häufig gestaffelt ab; die Gruppen E' und F' sind besser geregelt als ihre Komplementärscharen.

Die etwas unterschiedliche Polpunktconfiguration in den Diagrammen der obertags und im Tunnel gemessenen Klüfte resultiert aus der unterschiedlichen Datenzahl: bei statistischer Überprüfung der Maxima-Verteilung ergibt sich keine deutbare, signifikante Abweichung.

2.1.6. Interpretation des Kluffgefüges

Bekanntlich bildet die Symmetrie des (gestaltlichen) Gefüges nur dann die Symmetrie der erzeugenden Deformationsverhältnisse ab, wenn beim gefügeprägenden Vorgang keine niedriger symmetrischen oder anders orientierten Materialanisotropien wirksam

waren (SANDER, 1948), d. h. eine Interpretation des Klufftflächengefüges muß davon ausgehen, daß der gestaltende Deformations- und Spannungsplan durch keine vorgegebene Anisotropie wesentlich beeinflusst wurde. Streng genommen kann also nur die erste Deformation des flachliegenden Sedimentstapels (axialsymmetrisch) ein dem äußeren Feld adäquates Gefüge erzeugen, unterstützt durch die Tendenz der Hauptspannungen, sich in geschichteten Medien parallel bzw. normal zur Schichtebene einzuregeln. Weitere Verformungsakte sind mit starker Anisotropie konfrontiert und nur bei einem gleich orientierten, nicht höher symmetrischen (äußeren) Kräfteplan kann aus dem gestaltlichen Gefüge wiederum auf das funktionale geschlossen werden.

Da nicht anzunehmen ist, daß alle im Arbeitsgebiet anzutreffenden Rupturen gleichzeitig (einzeitig) entstanden sind, beschränkt sich die folgende Deutung auf eine symmetrisch-beschreibende Zuordnung von Flächenscharen zu den Faltenbildern, ferner bleibt auch das zeitliche und räumliche Verhältnis von Faltung und Klufftentstehung unberücksichtigt (PRICE, 1959, ROBERTS, 1961).

Wie aus den Diagrammen (Beilage) ersichtlich, könnten die Klufftfamilien A-A', (D-D') als bc-Flächen, Klüfte der Familien B-B', C-C' als ac-Flächen der wichtigsten Faltengruppe (mit Achsenlagen von S bis SW) zugeordnet werden; die umgekehrte Indizierung ergibt sich für die Großeinmuldung mit ESE-WNW-Achsenlage. Wichtig ist, daß die betreffenden Klufftfamilien in ihren Eigenschaften gut mit einer Deutung als Trenn-(Zug-Dehnungs-)Klüften übereinstimmen.

Die Klüfte der Familie (C-C'), G-G' können als hk0-Flächen, E-E' und F-F' als konjugierte hkl-Scherklüfte zu dem B-Achsenmaximum in S-SW gedeutet werden, die Eigenschaften der Klufftwandungen unterstützen diese Deutung. Auch für diese Klufftfamilien ist eine Zuordnung zu einer ESE-WNW-streichenden Faltenachse möglich: Die am stärksten vertretenen Gruppen F' und E' bilden ein definiertes Verschiebungsflächenpaar (hkl-Scherklüfte) mit antithetischen Komplementärflächen E und F, dessen erzeugende Beanspruchung in Richtung NNW-SSW wirkend (normal zu B: ESE-WNW) zu suchen wäre. Tab. 2 gibt die symmetrologischen Beziehungen der Klüfte zu den Faltungsgenerationen an.

	Klufftfamilien						
	A-A'	B-B'	C-C'	D-D'	E-E'	F-F'	G-G'
B-3	(bc)	ac	(ac)	hk0	h0l	hkl	hk0
B-4	ac	bc	(bc)	(ac)	hkl	0kl	hk0
Zerrung(?)		++		+	++	+++	
Jüngste							
Bewegungen		++		+	++	++	

Tabelle 2: Symmetrologische Zuordnung und Benennung der Klufftfamilien zu den größeren Faltenstrukturen; +, ++ und +++ bezeichnen seltene, untergeordnete und häufige Aktivierung der Klufftfamilien als junge Verschiebungsflächen.

Die Klüfte der Obertagsaufschlüsse scheinen ebenfalls auf eine um N-S pendelnde B-Achse (Faltungssachse) beziehbar zu sein. Es dominieren ac- und bc-Fugen, verbunden durch breite Gürtel, auf welche die Polpunkte der hk0-Scherklüfte fallen.

Eine in jüngerer Zeit wiederholt angewendete Methode der Klüftinterpretation (KOHLBECK & SCHEIDEGGER, 1977, 1980; SCHEIDEGGER cum lit., 1980) betrachtet die Gesteinsklüftung weitgehend ohne Berücksichtigung von geologisch-tektonischem Werdegang, Anisotropie und Gesteins-Kompetenz als Ausdruck neotektonischer Krustenspannungen und leitet daraus (großräumliche) Spannungsverteilungen ab.

Legt man das vorliegende Klüftungssystem dieser Betrachtungsweise zugrunde (D 10), so könnte man in Übereinstimmung mit zitierten Autoren auf eine (sub-)rezente größte Normalspannung in der Kruste in Richtung (NW) NNW-SSE (SE) kommen, wenn man die weitaus wichtigsten Klüftfamilien A-A' und B-B' als konjugierte Bruchscharen auffaßt (BANKWITZ, 1966, DENNIS, 1970, PETERS, 1980).

2.1.7. Störungen (Verschiebungsflächen)

Wie eingangs erwähnt, ist mit der Bezeichnung der Trennflächen keine strenge genetische Trennung verbunden, vielmehr zielt sie auf die (jetzt) beobachtbare Funktion einer Flächenschar ab. Bei der Aufnahme wurden Flächen mit Harnischen oder nur mm-dünnen Myloniten („a“) von bewegten Schieferungsflächen und Störungen mit dm- bis m-starken Myloniten getrennt („b“). Das Gefüge der Verschiebungsflächen zeigt im westlichen Drittel des Tunnels deutlich andere Konfiguration als im Ostteil. Beide Diagramme lassen (neben der starken Vertretung von sf-parallelen Bewegungsflächen) die Tendenz zur Polpunktscharung in drei Maxima erkennen, wie es im Anisotrop bei dreidimensionalem (auch drehsymmetrischem) Beanspruchungszustand zu erwarten ist (KASTNER, 1953, RECHES, 1978).

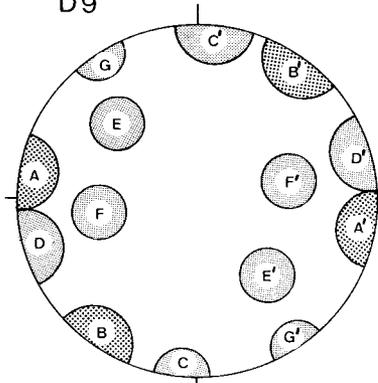
Das Diagramm des Ostteiles (D 11) zeigt einen breiten, W-E verlaufenden Polgürtel mit Ansätzen zu etwa N-S ziehenden Gürtelverteilungen. Die Brüche „a“ bilden den Gürtel mit den diffusen Ausläufern, während bewegte Schieferungsflächen und Brüche „b“ die begrenzten Maxima innerhalb des Gürtels bilden und somit strenger geregelt sind.

Die Zuordnung und Deutung dieser Flächen läßt den breiten Gürtel als geometrischen Ort der Polpunkte von h0l-Scherflächen zur S-SW B-Achsenlage erkennen (a-c-Großkreis).

Die unvollständig besetzten, querlaufenden Gürtel könnten aus der Besetzung von Okl-Flächen zur Faltung resultieren, wobei Flächen mit den Orientierungen der Klüftgruppen E' und B' hervortreten. Hk0-Flächen besetzen die Peripherie von E gegen S. Bezüglich der Verschiebungsflächen parallel sf und mit der Orientierung B' ist anzumerken, daß die Verschnittlinie beider Scharen (Scherungs-B?) mit der ESE-streichenden B-Achse übereinstimmt. Die Störungsgruppe „b“ mit den starken Myloniten entspricht den Klüftorientierungen F'-D' und die Klüfte dürften teilweise Adventivflächen dieser Störungen darstellen, wiewohl sie auch in h0l zur Hauptfaltenachsenrichtung liegen. Eine mechanische Deutung kann:

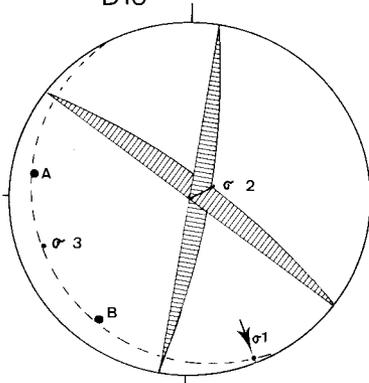
1. jeweils eine mylonitbetonte Störungsschar und sf als konjugierte Verschiebungsbrüche auffassen, deren erzeugende größere Hauptnormalspannung flach um E-W gelegen haben könnte. Die zugehörige Schnittlinie beider Scharen ($=\sigma_2$) deckt sich mit der Orientierung der B-Achsenmaxima um S-SSW, und eine gleichzeitige Entstehung der Verschiebungsbrüche „b“ und der Bewegung parallel sf ist möglich.
2. Die Verschiebungsflächen mit starken Myloniten bilden miteinander ein konjugiertes System, die größere Hauptnormalspannung ist steil gegen NE gerichtet, gleichzeitige

D9



KLUFTFAMILIEN

D10

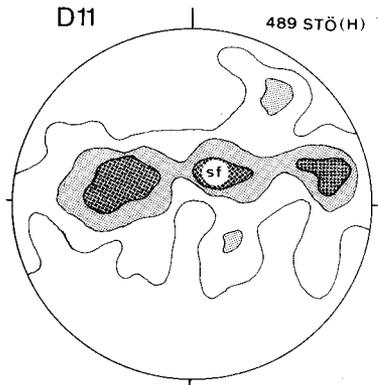


1-2-3%

RELATIVBEW. D. HANGENDEN

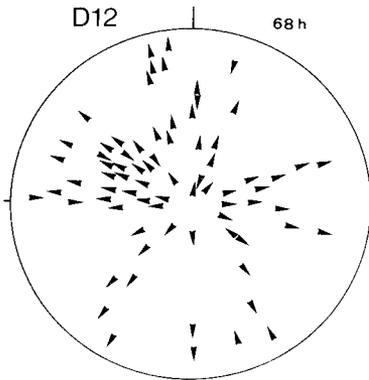
D11

489 STÖ(H)



D12

68 h

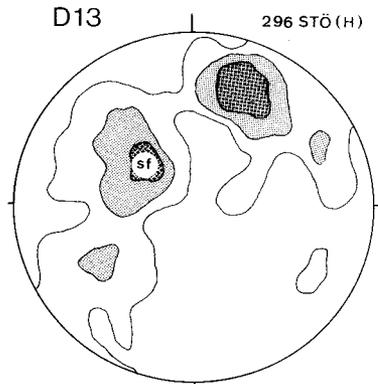


TUNNEL - OSTABSCHNITT

1-2-3%

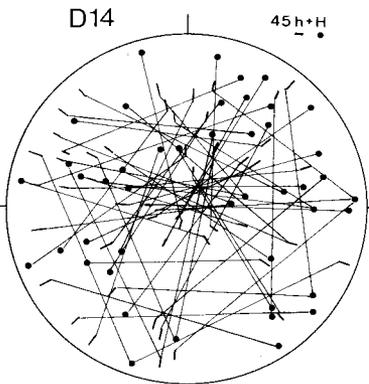
D13

296 STÖ(H)



D14

45h+H



TUNNEL - WESTABSCHNITT

Bewegungen auf sf, B' sind unwahrscheinlich. Diese Deutung wird durch die Funktion der Störungsgruppe „b“ als synthetische Abschiebungen (im Gefolge einer jungen Zerrungstektonik, vgl. THIEDIG & WEISSENBACH, 1975) ohne größere Versetzungsbeträge gestützt (D 12). Als jüngste Bewegungen sind an den Abschiebungen geringfügige N-S-Verschiebungen vorgekommen.

Bezüglich der Interpretation der Störungsscharen als konjugierte Bruchbündel (COULOMB-NAVIER-Brüche) muß angemerkt werden, daß sich im Anisotrop solche Bruchflächen meist einscharig im Winkelbereich zwischen vorgegebener Ebene geringster Scherfestigkeit und der dieser nächstliegenden, theoretischen COULOMB-Fläche ausbilden (JÄGER, 1960, DONATH, 1961).

Im Diagramm des W-Teiles (D 13) zieht ein Polpunktgürtel NE-SW mit Auslängungen an der Peripherie von N gegen E und von W gegen S. Verschiebungen parallel sf und die Brüche mit starkem Mylonit bilden auch hier die Maxima. Die abweichenden Orientierungen gegenüber dem Ostteil können daraus abgeleitet werden, daß sich diese Gefüge im steilen Westflügel des Großsynklinoriums entwickelten und hier die Hauptfaltenachsen SSE eintauchen. Demzufolge zeigt der Gürtel hOl-Orientierungen und an der Peripherie die Pole der als Okl-Scherfläche angelegten Brüche. In kleineren Polhäufungen können die unterdrückten hOl-Scharen der S-SW-Faltenachsen vermutet werden. Die Störungsgruppe „b“ ist wie im E-Teil als steile Abschiebungsschar mit jüngeren geringfügigen Verschiebungen etwa im Streichen ausgebildet.

Da die Diagrammgefügebilder der Verschiebungsflächen vom Ost- und Westteil des Tunnels durch Ausglätten von B-3-(S-SW)- und B-4-(ESE)-Falten teilweise ineinander übergeführt werden können, läge der Schluß nahe, daß die entsprechenden Flächen schon früh angelegt wurden. Eine Fortführung der Einmündung des Synklinoriums könnte die in Rede stehenden Teilgefüge rotiert haben. Es erscheint aber eher möglich, daß der durch die verschiedene Orientierung der Schieferung im E- und W-Teil unterschiedliche Anstellwinkel der äußeren Lasten zu den vorgegebenen Anisotropien die Raumstellung der Verschiebungsflächen beeinflusste bzw. andere vorgegebene Orientierungen aktivierte. Sicherlich ist über die strukturell bedingten, lokalen Modifikationen auch das regionale Spannungsfeld mehrfachen räumlichen und zeitlichen Wechseln unterworfen gewesen, so daß verschiedene Flächenscharen immer wieder bei unterschiedlichen funktionalem Gefüge zum Spannungsabbau und -ausgleich benutzt wurden.

Aus den Geländebefunden lassen sich nur schwache Anhaltspunkte für den Verlauf von Störungen gewinnen (einige Gräben, Unterbrechungen von Aufschlußreihen). Erst nach Kenntnis des im Tunnelwestteil dominierenden Störungsbündels mit der Stellung B' (\pm saiger, WNW-Streichen) können einige auffallend ebene Riesenklufscharen in den Aufschlüssen 7, 9, 40 (in Beilage 3) als Verschiebungsflächen gedeutet werden. Ferner kann das morphologische Lineament vom Gehöft „Kleinbauer“ über den Sattel „Vier Tore“ in Richtung Packer Stausee als Spur eines Störungsbündels aufgefaßt werden (vgl. BECK-MANAGETTA, 1980). Ein Hinweis darauf läßt sich aus dem Aushub für das Betriebsgebäude West des Tunnels ableiten, wo unter ca. 8 m Hangschutt und Wildbachsedimenten völlig aufgewittertes verquetschtes („Gesteinsleichen“) Gebirge bis zur Baugruben-Sohle (auf 15 m unter Geländeoberkante) angetroffen wurde. Etwa parallel zu dieser Störung dürfte ein Bruchsystem von südlich „Grabenbauer“ über das Tunnelostportal gegen SW ziehen. Dort traf der Aushub für

das Kollektorbauwerk unter der Hangschuttschwarte bis auf 6 m Tiefe verruscheltes Gebirge mit groben tektonischen Quetschlingen; parallel dazu können an den guten künstlichen Aufschlüssen östlich bis südöstlich des Tunnelostportales mehrere steil NW-fallende Abschiebungsblätter mit Versetzungen im dm- bis m-Bereich und jüngeren Verschiebungen im Streichen beobachtet werden. Für die zahlreichen im Tunnel angetroffenen Verschiebungsflächen, welche zum Großteil obertage ausbeissen müßten, ergibt sich im Gelände kein konkreter Hinweis; allerdings läßt die Geländemorphologie eine deutliche Beziehung zum in Beilage 3 eingezeichneten Störungsmuster erkennen.

Großräumlich betrachtet scheint das Störungsbild als Detailmosaik die Vorzeichnung von Pöser- und Packer-Störungslinie (TOLLMANN, 1969, 1976) nachzuzeichnen; ähnliche Richtungsbeziehungen ergeben sich auch mit dem Bruchsystem der Saualpe (THIEDIG & WEISSENBACH, 1975). Ebenso kann das Bruchflächengefüge mit den Aufnahmen von STINY (1925) im Teigitschgebiet (Teigitschklammlinie, Hierzmannlinie, Stampflinie) verglichen werden.

2.2. Mikroskopische Gefügelemente

2.2.1. Mineralregelung

Die optische Orientierung der Körner einzelner Quarzschnüre und -bänder zeigt häufig Abweichungen von den üblichen Regelungen (α - bzw. TRENER-Regel; γ -Regel), und zwar besteht eine deutlich bevorzugte Orientierung von ne' im Winkel von 38—75° zu sf in der Schliffebene. Dies betrifft vor allem lamellierte, streifig-undulös auslöschende Körner mit mäßiger Polygonisierung; wo Mörtelkorngrenzen bzw. Subkornbildungen vorliegen, ist die Regelung weitgehend aufgelöst.

Die Abb. 1 zeigt zwei ausgewählte Beispiele von Quarz-c-Achsenorientierungen in Derbyquarzbändern der Disthen-Granat-Glimmerschiefer. Das Gefüge der Schriffe 20p zeigt in völliger Übereinstimmung mit FRANK et al. (1980, 1981) sowie KROHE & FRANK (1981) nordvergente Schiefgürtel zu sf ; die entsprechenden Scherflächen (shears) bei Deutung des Gefüges als Ausdruck einer „simple shear“-Deformation sind dementsprechend südvergent (nordfallend) zu erwarten. Im Diagramm 20n läßt sich eine c-Achsenverteilung etwa symmetrisch um das Bezugslinear (um N-S) bzw. sf erkennen (a-Tektonit, vgl. FRANK et al., 1.c).

Schwieriger deutbar ist das Diagramm der Schriffe 29, entnommen einer Quarzlage mit Mittelnaht und deutlicher E-W-Lineation. In Schlifften „p“ ergeben sich Häufungen, welche als unvollständige, gekreuzte Gürtel interpretiert werden könnten; in Schlifften „n“ scheiden sich die Durchstoßpunkte der Achsen von Schlibbereichen oberhalb und unterhalb der Mittelnaht und häufen sich in benachbarten Quadranten. Es ist zweifelhaft, daß es sich dabei um ein Reliktgefüge der B-1-Faltung handelt, da Quarzorientierungen sehr sensibel auf Deformationen reagieren (vgl. M. BRUNEL, 1980; LISTER & PRICE, 1978).

Deutlich parallel einem W-E-Linear eingeregelt sind Turmalinsäulen (Abb. 2), ähnliches gilt für die Auslängungen von Biotitflittern in mehreren Schlifften (Abb. 3).

2.2.2. Sekundäre Schieferungsflächen (Fototafeln 1 A, 2 A, B)

Die Schieferigkeit im Dünnschliffbild mit stofflichen Lagenbau, (selten deutlich sichtbarer) isokliner Faltung und allgemeiner Paralleltexur wird zuweilen von Zoisit-

QUARZ C-ACHSEN, DURCHSTOSSPUNKTE, OBERE HALBKUGEL

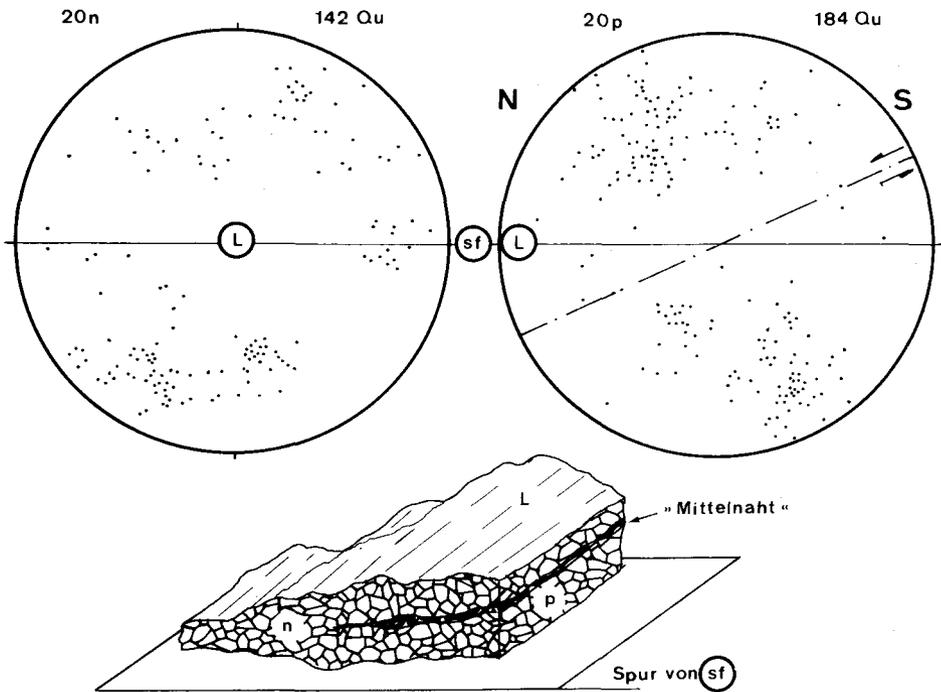
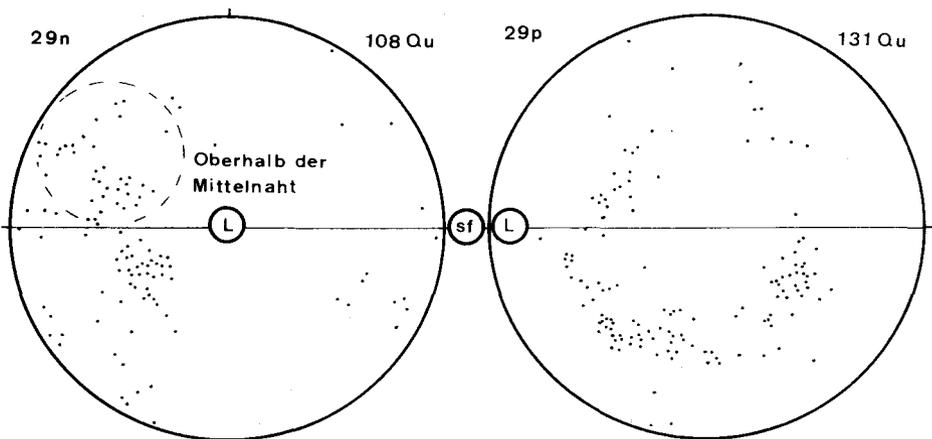
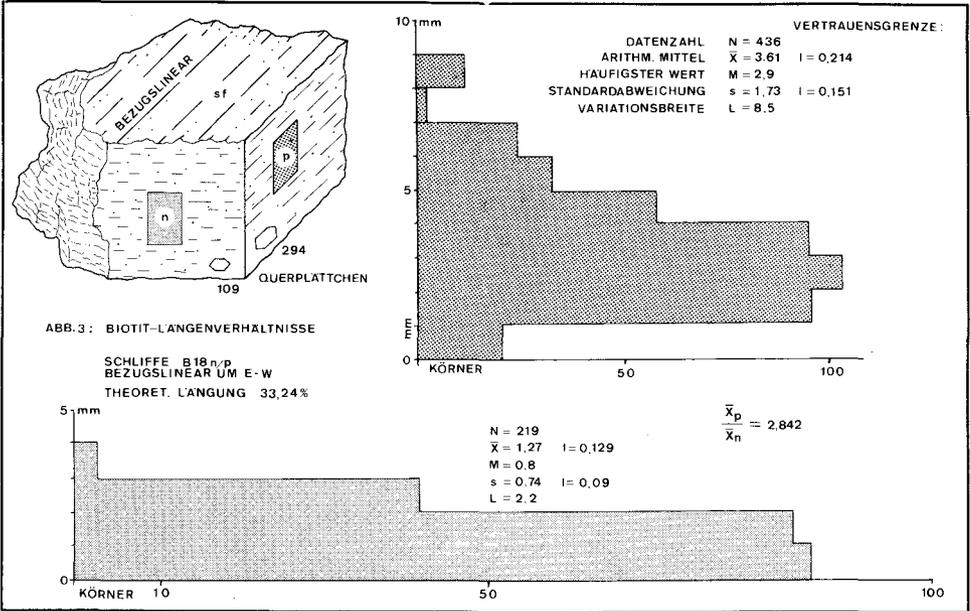
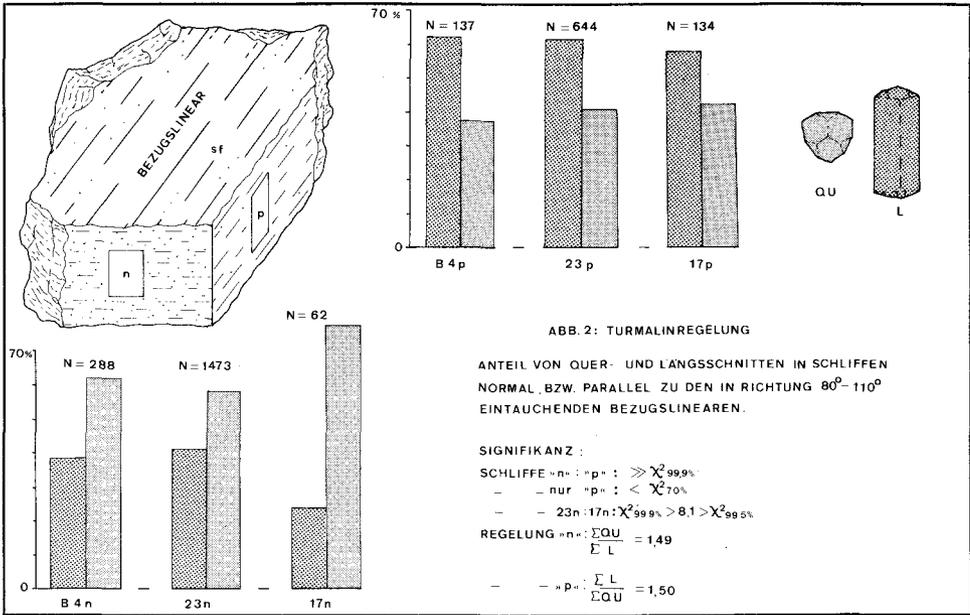


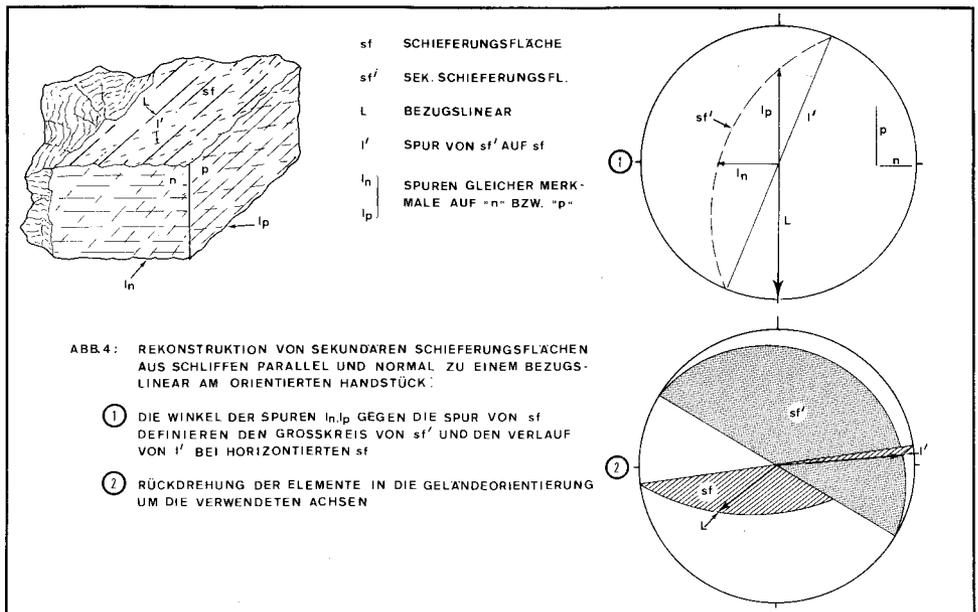
Abb.: 1





stengeln, verbogenen Hellglimmer- und Disthenscheitern sowie Biotitflittern durchbrochen; in Glimmer-reichen Lagen ist sf_2 durch flexurartige Verbindungen gekennzeichnet.

Aus solchen Wellungen entwickeln sich vergente bis überkippte Spitzfalten, deren Achsebenen sich als Spuren von sf_2 (Glimmerflitter) in Quarz-reicheren Lagen abzeichnen. Nach der Konstruktion von sf_2 aus den Spuren mit jeweils gleichen Merkmalen im Schliff parallel bzw. normal zu einem Bezugslinear (Abb. 4) ergibt sich kein einheitliches Bild: die Steichrichtungen von sf_2 -Flächen (die Verschnittspur mit sf ergibt keine b-Achse!) könnten sowohl mit der B-2-Achsgeneration wie auch mit den „kataklastischen“ Linearen in Verbindung gebracht werden.



2.2.3. Falten (Fototafeln 2B, C, D; 3 A, B)

Faltenstrukturen im Dünnschliff sind verbreitet, und zwar lassen sich folgende Typen herauschälen:

1. I. a. liegende, meist isoklinale Falten, deren Ausdehnung sich nicht selten über mehrere Dünnschliffe erstreckt. Die Abbildung der Strukturen erfolgt meist durch posttektonische Glimmer- bzw. Zoisit- oder Erzscheren. Treten die untereinander subparallelen, in der Schieferungsebene liegende Faltenachsebenen nahe zueinander, sind die Falten nur noch aus dem fischgrätartig parkettierten Glimmergefüge zu erschließen. Den Falten dieser Gruppe, welche z.T. mit einer um E-W pendelnden Lineation (b-Lineation) auf den sf -Flächen verbunden sind, ist auch die isoklinale Faltung feiner Quarzschnüre im Schliffbereich zuzuordnen.

2. In bezug auf Biotit (und Disthen) para- bis postkristalline, meist aufrechte kleine Strukturen, welche eine um SW orientierte Lineation auf *sf* erzeugen. Mit diesen Falten sind auch einfache Knickungen von Disthen- und Biotitscheitern verbunden (Fototafel 3 C).

2.2.4. Rupturen

Deutlich parallel zur Lineation (um N-S) gelängerter Granat zeigt untereinander subparallele Dehnungsrisse, zwischen denen feine konjugierte Sprungmuster liegen (Fototafel 3 D). Derber Zoisit in Kalksilikatknollen wird von auffälligen Trübungsspuren durchzogen, welche sich, untereinander etwa parallel verlaufend und an Korngrenzen nur selten die Richtung ändernd, bogig-wellig über den Schliff erstrecken. Einzelne dieser Bahnen setzen sich in Granat als verheilte Risse fort. Daß es sich dabei nicht um Artefakte der Schlifffherstellung handelt, kann aus dem Absetzen von Spalt- rissen an den Trübungsbahnen, das Einlenken dieser in Spaltungsrichtungen und Richtungsänderungen an Korngrenzen abgeleitet werden. Außerdem werden bei Betrachtung mit stärkerer Vergrößerung spitzwinkelig zur Richtung der Trübungsspur und zueinander parallel verlaufende Fiederspältchen (feinste, nadelige Einlagerungen?) erkennbar. Die Trübingstreifen scheinen demnach Mikroflexurzonen (kink-bands) darzustellen, ihre Orientierung kann mangels geeigneter Richtungsindikatoren am Handstück nicht festgelegt werden (Fototafel 4 A, B).

Bis in den Handstückbereich erkennbare, durch Rekristallisation der betroffenen Gemengteile und Verheilung mit dem metamorphen Mineralbestand (Biotit, Quarz, Klinozoisit-Epidot) gekennzeichnete Rupturen beweisen eine schon früh tätige Bruchdeformation (Fototafel 4 D).

Bewegungen etwa parallel den Schieferungsflächen, doch jünger als deren metamorphe Ausgestaltung zeigen sich u. d. M. als scharfe parallelscharige Bahnen mit begleitenden, feinkörnigen Rekristallisationsstreifen. Grober, älterer Biotit ist in diese Flächen eingeschleppt, feine Flitter scheinen neu gesproßt (Fototafel 5 A).

Jüngste Äußerungen rupturer Deformation im Schliffbild betreffen unregelmäßig verlaufende Brüche, die durch Calcit, „Limonit“ (mit kräftigen Verfärbungen der Bruchwandung) und seltener durch einen optisch nicht auflösbaren Mineralfilz (*n* und *D* gering, farblos bis blaß gelblich) verheilt sind.

2.2.5. Reliktische Einschlußgefüge

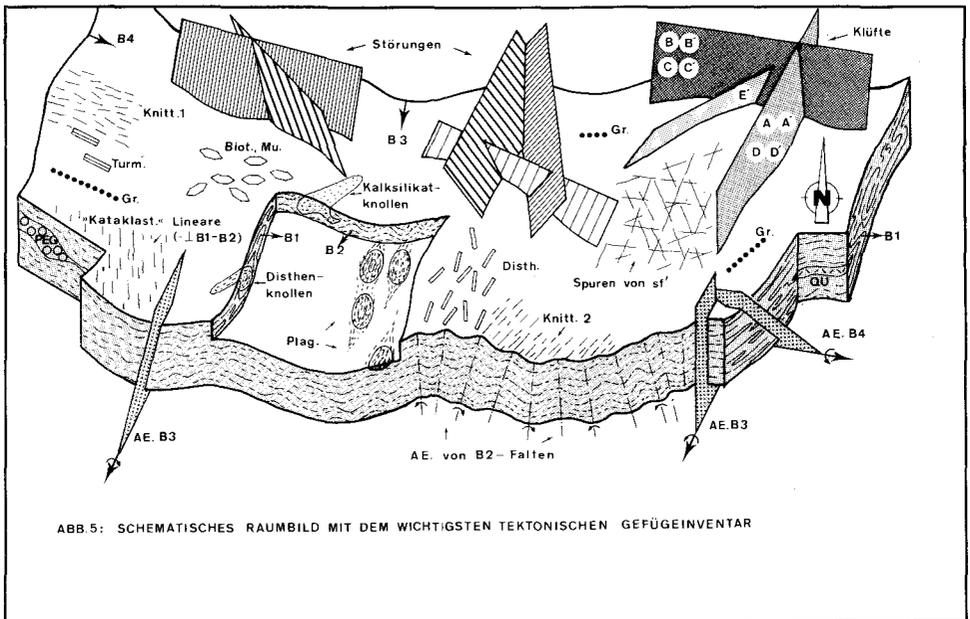
Die großen Granate der Disthen-Granat-Glimmerschiefer zeigen einen mehrfachen zonaren Aufbau von Einschlußkränzen, welche einen Zeitquerschnitt durch die während bzw. zwischen den Kristallisationsschüben erfolgten Deformationen darstellen.

Um die meist deutlich abgegrenzten, durch wenig strukturiertes Opakmaterial getrüben Kerne findet sich eine breite Zone, deren staubfeine Opakeinlagerungen (s_{ii}) eine ebene Paralleltexur („Schichtung“) abbilden. Einzelne Lagen dieser Schichtung zeigen bereits eine angedeutete Transversalschieferung. Um einen dünnen, den Granthabitus nachzeichnenden klaren Rand folgt eine Einschlußzone, welche bereits enge Verfaltung (s_i) anzeigt. Nach einem weiteren einschlußfreien Saum folgt die teilweise auf s_e beziehbare Zone der Großeinschlüsse mit dem heutigen Mineralbestand, doch in geringerer Korngröße (Fototafel 5 B, C, D).

Eine enge Faltung nachzeichnende Einschlußzüge lassen sich auch in grob rekristallisiertem Plagioklas beobachten.

3. Schluß

Die erhobenen Gefügeelemente zeigen, daß das Gebirge mehreren Beanspruchungen unterworfen war und dabei bruchlos bis bruchhaft deformiert wurde. Das relative Alter dieser Deformationen konnte nur teilweise abgeleitet werden: im allgemeinen scheint im behandelten Gebiet ein älterer Faltenbau, dessen Strukturen mit heute um W-E liegenden Achsen selten über den Handstückbereich hinausgehen, von jüngeren Faltungen mit Achsen SW bis SSE und symmetrie-konformen Trennflächengefüge abgelöst worden zu sein. Schließlich ergaben großräumige Einmuldungen (Achsen um SSW und ESE) und eine, vorzüglich Abschiebungen aktivierende Tektonik den heute vorliegenden strukturellen Aufbau. Eine zusammenfassende, idealisierte Darstellung der erhobenen Gefügeelemente am Kalcherkogel ist in Abb. 5 versucht.



Über größere Gebiete unter Berücksichtigung der Metamorphose- und Kr-Fm-Verhältnisse sowie des Korngefüges durchgeführte und durch absolute Datierungen unterstützte Untersuchungen könnten endgültige Klarheit in die Deformationsgeschichte und das Verhältnis der Plattengneislineationen im mittleren und nördlichen Teil der Koralm bringen.

Literatur

- BANKWITZ, P.: Über Klüfte II. Die Bildung der Klufffläche und eine Systematik ihrer Strukturen. — *Geologie*, 15/II, S. 896—941, Berlin 1966.
- BAUMGARTNER, W.: Analyse und Interpretation des Baues der Frankenfesler Decke (südlich St. Pölten, Österreich). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österreich*, 23, S. 79—111, Wien 1976.
- BECKER, L. P.: Gefügetektonische Studien an pegmatoiden Gneisen mit Plattengneistextur aus dem Gebiet östlich des Wölcherkogels (Stubalm, Steiermark). — *Mitt. natwiss. Ver. Steiermark*, 106, S. 39—49, Graz 1976.
- BECKER, L. P., & SCHUMACHER, R.: Metamorphose und Tektonik in dem Gebiet zwischen Stub- und Gleinalpe, Stmk. — *Mitt. geol. Ges. Wien*, 65, 1972, S. 1—32, Wien 1973.
- BECK-MANAGETTA, P.: Zur Tektonik des Stainzer- und Gamsner Plattengneises in der Koralpe (Steiermark). — *Jb. geol. B.-A.*, 90, 1945, S. 151—180, Wien 1947.
- Der geologische Aufbau des steirischen Anteiles der Koralpe. — *Ber. wasserwirtsch. Rahmenplanung*, 31, 2. Teil, *Geologie*, S. 8—41, Graz 1975.
- Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50.000, Blatt 188 Wolfsberg, 6709. — Wien (Geol. B.-A.) 1980.
- BOCK, H.: Ein Beitrag zur statistischen Kluffuntersuchung. — *Festschr. L. Müller-Salzburg*, S. 99—111, Karlsruhe 1974.
- Einige Beobachtungen und Überlegungen zur Kluffentstehung in Sedimentgesteinen. — *Geol. Rdsch.*, 65, S. 83—101, Stuttgart 1976.
- BREDDIN, H.: Quantitative Tektonik, 2. Teil; III Faltung. — *Geol. Mitt.*, 7, S. 333—436, Achen 1968.
- BROSCH, F. J.: Zur Baugeologie des Kalcherkogeltunnels bei Pack. — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österreichs*, 28, (in Druck).
- BRUNEL, M.: Quartz fabrics in shear zone mylonites: evidence for a major imprint due to late strain increments. — *Tectonophysics*, 64, S. 33—44, Amsterdam 1980.
- DAVIS, E. A.: The effect of size and stored energy on the fracture of tubular specimens. — *J. appl. Mechanics*, 15, S. 216—221, 1948.
- DENNIS, J. G.: Zur genetischen Unterscheidung von gemeinen Klüften und Verschiebungen. — *Geol. Rdsch.*, 59, S. 222—228, Stuttgart 1970.
- DONATH, F. A.: Experimental study of shear failure in anisotropic rocks. — *Bull. geol. Soc. Amer.*, 72, S. 985—990, New York 1961.
- ENGELS, B.: Die kleintektonische Arbeitsweise unter besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendung im deutschen Paläozoikum. — *Geotekt. Forsch.*, 13, S. 1—129, Stuttgart 1959.
- FRANK, W., FREY, I., & JUNG, G.: Strukturgeologische und geochronologische Neuergebnisse aus Stub- und Koralpe. — Die frühalpine Geschichte der Ostalpen (Hochschulforschungsschwerpunkt S 15), *Jber.* 1980, S. 11—18, Graz 1981.
- FRANK, W., ROETZEL, R., & THÖNI, M.: Wie intensiv war die altalpine Metamorphose und Strukturprägung im SE-Teil des ostalpinen Kristallin? — Die frühalpine Geschichte der Ostalpen (Hochschulforschungsschwerpunkt S 15), *Jber.* 1979, Heft 1, S. 13—20, Graz—Leoben 1980.
- HERITSCH, H.: Ein feinkörniger Tuffit von Rechberg bei Frohnleiten (Steiermark) und die Berechnung seiner Metamorphose in der Cyanit-Almandin-Muskowit-Subfazies. — *Mitt. natwiss. Verh. Steiermark*, 110, 13—22, Graz 1980.
- HOEPPNER, R.: Zum Problem der Bruchbildung, Schieferung und Faltung. — *Geol. Rdsch.*, 45, S. 245—283, Stuttgart 1956.
- HOMANN, O.: Das kristalline Gebirge im Raum Pack—Ligist. — *Min. Mitteilbl. Landesmus. Joanneum*, 1962, 2, S. 21—62, Graz 1962.
- JAEGER, J. C.: Shear fracture in anisotropic rocks. — *Geol. Mag.*, 97, S. 65—72, 1960.
- KASTNER, H.: Über die Anwendung der technischen Mechanik in der tektonischen Geologie. — *Geol. und Bauwesen*, 20, S. 56—76, Wien 1953.
- KOHLBECK, F., & SCHEIDEGGER, A. E.: On the theory of the evaluation of joint orientation measurements. — *Rock mech.*, 9, S. 9—25, Wien—New York 1977.
- KOHLBECK, F., SCHEIDEGGER, A. E., & ROCH, K. H.: In situ stress measurements in Austria. — *Rock mech. Suppl.*, 9, S. 21—29, Wien—New York 1980.

- KLEINSCHMIDT, G., NEUGEBAUER, J., & SCHÖNENBERG, R.: Gesteinsinhalt und Stratigraphie der Phyllitgruppe in der Saualpe. — Clausthaler geol. Abh., Sdbd. 1, S. 11—45, Clausthal-Zellerfeld 1975.
- KROHE, A., & FRANK, W.: Gesteine vom Koralmtypus mit Plattengneistektonik bei Steinbach, Burgenland. — Die frühalpine Geschichte der Ostalpen (Hochschulforschungsschwerpunkt S 15), Jber. 1980, S. 18—20a, Graz 1981.
- LANGHEINRICH, G.: Verformungsanalyse im Rhenoharzynikum. — Geotekt. Forsch., 51, S. 1—127, Stuttgart 1976.
- Zur Terminologie der Schieferungen. — Geol. Rdsch., 66, S. 336—352, Stuttgart 1977.
- LISLE, R. J.: Deformed lineations as finite-strain structures. — Tectonophysics, 21, S. 165—179, Amsterdam 1974.
- LISTER, G. S., & PRICE, G. P.: Fabric development in a quartz-feldspar mylonite. — Tectonophysics, 49, S. 37—78, Amsterdam 1978.
- LODEMANN, W.: Durchbewegung und Metamorphose in den zentralen Ostalpen, 1: Bewegungsspuren an Porphyroblasten des Saualpen-Kristallins (Ostkärnten). — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1966, S. 338—352, Stuttgart 1966.
- MÜLLER, L., & PACHER, F.: Modellversuche zur Klärung der Bruchgefahr geklüfteter Medien. — Felsmech. Ing.-Geol. Suppl., 2, S. 7—24, Wien—New York 1965.
- NOWY, W.: Die Geologie des Gleinalm-Autobahntunnels (1. Teil: Tektonik). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österreich, 24, S. 59—123, Wien 1977.
- PARK, R. G.: Structural correlation in metamorphic belts. — Tectonophysics, 7, S. 323—338, Amsterdam 1969.
- PETERS, K.: Klüfte-Merkmale, Entstehungsdeutungen, ihre Verwendbarkeit für die Rekonstruktion von Spannungen sowie ihre Bedeutung für die Erdöl-Erdgas-Industrie. — Z. geol. Wiss., 8 (7), S. 853—877, Berlin 1980.
- PILGER, A., & WEISSENBACH, N.: Die tektonische Entwicklung des Hochkristallins der Saualpe. — Clausthaler geol. Abh., Sdbd. 1, S. 115—131, Clausthal-Zellerfeld 1975.
- PRICE, N. J.: Mechanics of jointing in rocks. — Geol. Mag., 96 (2), S. 149—167, 1959.
- RAMBERG, H., & GHOSH, S. H.: Deformation structures in the Hovin group schists on the Hommelvik-Hell region (Norway). — Tectonophysics, 6, S. 311—330, Amsterdam 1968.
- RAMSAY, J. G.: Folding and fracturing of rocks. — 362 Seiten, New York (McGraw-Hill) 1967.
- RECHES, Z.: Analysis of faulting in three-dimensional strain-field. — Tectonophysics, 47, S. 109—129, Amsterdam 1978.
- ROBERTS, J. C.: Feather-fracture, and the mechanics of rock jointing. — Amer. J. Science, 259, S. 481—492, 1961.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper; Teil I. — 215 Seiten, Innsbruck—Wien (Springer) 1948.
- SANDERSON, D. J.: The development of fold axes ablique to the regional trend. — Tectonophysics, 16, S. 55—70, Amsterdam 1973.
- SCHIEDERGER, A. E.: Alpine joints and valleys in the light of the neotectonic stress field. — Rock mech. Suppl., 9, S. 109—124, Wien—New York 1980.
- STINY, J.: Gesteinsklüftung im Teigtischgebiet. — Tschermaks Min. petr. Mitt., (2) 38, S. 464—478, Wien 1925.
- THIEDIG, F., & WEISSENBACH, W.: Die junge Bruchtektonik im Bereich der Saualpe. — Clausthaler geol. Abh., Sdbd. 1, S. 155—175, Clausthal-Zellerfeld 1975.
- TOLLMANN, A.: Die Bruchtektonik in den Ostalpen. — Geol. Rdsch., 59, S. 278—288, Stuttgart 1969.
- TOLLMANN, A.: Tektonische Auswertung der Satellitenbilder der Ostalpen. S. 295—289. [In:] BECKEL, H. [Hrsg.]: Österreich im Satellitenbild. — 107 Seiten, Salzburg (O. Müller) 1976.
- VOLL, G.: Klastische Mineralien aus den Sedimentserien der schottischen Highlands und ihr Schicksal bei aufsteigender Regional- und Kontaktmetamorphose. — Habilitationsschrift Fak. Bergbau Hüttenwesen, Techn. Univ. Berlin, 361 Seiten, Berlin (Verl. d. TU) 1969.
- WILLIAMS, G. D.: Rotation of contemporary folds into the X direction during overthrust processes in Laksefjord, Finnmark. — Tectonophysics, 48, S. 29—40, Amsterdam 1978.

Beschreibung der Fototafeln

Tafel 1

- A und B: Zwei Anschnitte eines Handstückes parallel (A) und normal (B) zum dominierenden Linear (um E-W) auf sf.
A zeigt die Längsachse einer Derbyquarzlinse und die Spuren einer sekundären Schieferigkeit spitzwinkelig zu sf.
In B (rechtwinkelig zu A) erkennt man die isoklinale Faltung der B-1-Generation und die kurze Achse der Derbyquarzlinse.
- C: Mit einer um W-E liegenden Achse in Glimmerschiefer (Gl) eingewickelte, etwa faustgroße, isolierte Kalksilikatknolle (Ks). Die Knolle ist intern zusätzlich gefaltet.
- D: Durch stoffliche Bänderung abgebildete, von der Hauptschieferigkeit durchquerte B-1-Falte (Scherfalte).

Tafel 2

- A: Quersprossende Biotitfitter in Glimmerlage zeichnen sf¹ nach; es scheint sich dabei um Rekristallisationen nach Knickzonen zu handeln (Vergr. 32x, Nic. +).
- B: Aus vergentem Falten in Glimmer-reichen Lagen hervorgehende, in Quarzbändern durch beginnende Umregelung angedeutete sekundäre Schieferigkeit (Nic. +, Vergr. 32x).
- C: Parkettierte Hellglimmer als relikttischer Hinweis auf B-1-Faltung in einer Quarzlage mit „Mittelnahrt“, Scheitelbereich (Vergr. 80x, Nic. +).
- D: Durch kleinstengelige Klinozoisitstrahlen nachgezeichnete, isoklinale B-1-Falten mit Scheitelverdickung (Vergr. 80x, Nic. //).

Tafel 3

- A: Durch Opakmaterial in feinkörnigem Muskowit nachgezeichnete B-1-Falte, pilzförmig zu mitraartiger Faltenstruktur gestaucht (Vergr. 80x, Nic. //).
- B: Ausschnitt aus einer B-1-Falte, nachgezeichnet durch postdeformative Glimmer, teilweise in fischgrätartiger Parkettierung (Vergr. 32x, Nic. +).
- C: Im Zuge der B-2-Fältelung verbogene Disthenscheiter (Nic. //, Vergr. 80x).
- D: Subparallele Zugrisse (dunkel, etwa senkrecht) normal zur Längsachse von stark gelängtem Granat; zwischen den Rissen ein feines, diagonales Sprungmuster (Nic. //, Vergr. 80x).

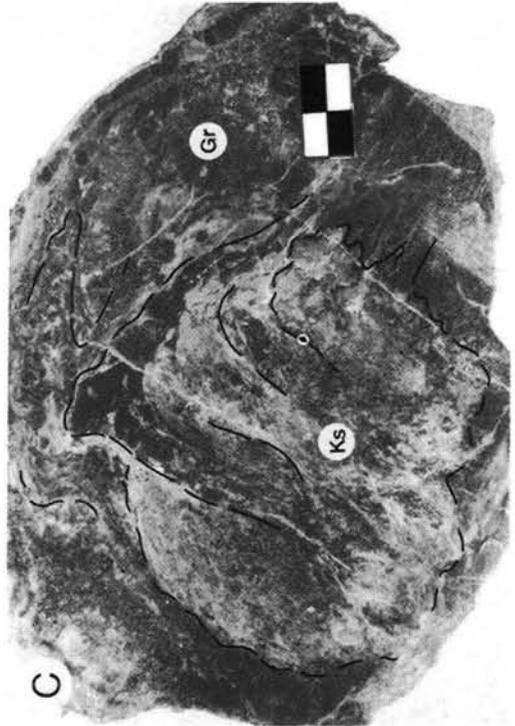
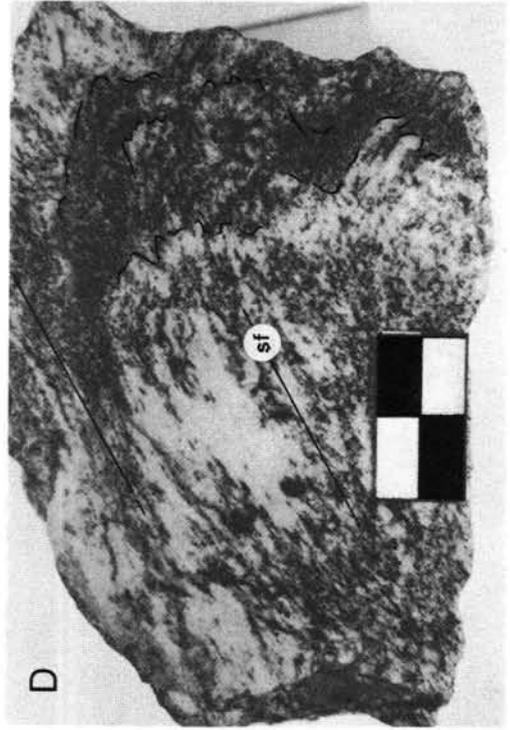
Tafel 4

- A: Grobe Zoisitkörner, durchgezogen von untereinander etwa subparallelen „Trübungs-spuren“ (Vergr. 32x, Nic. //) ohne erkennbaren kristallographischen Bezug.
- B: Wie A, Vergr. 320x: Das Detail aus einem Trübungsstreifen zeigt feinste, parallel orientierte Spältchen oder Einschlüsse schräg zum Verlauf des Streifens.
- C: Grobkörniges, zerbrochenes und nur schwach undulös auslöschendes Quarzkornaggregat mit Mörtel- und Sutura-Korn Grenzen (Vergr. 80x, Nic. //).
- D: Handstückanschliff: Durch B-1-Faltung eingerolltes, zerissenes und im Zuge der B-2-Knitterung(?) geknicktes Amphibolitband in Disthen-Granat-Glimmerschiefer; eine etwa über das Knickscharnier verlaufende und in die Grenze Glimmerschiefer-Amphibolit einschwenkende Kleinverwerfung (Pfeil). Die Verheilung des Bruches besteht aus Epidot (hell) und grobem Biotit (dunkel, rechter Bildrand).

Tafel 5

- A: Scharfe Gleitbahnen para- bis postkristalliner Durchbewegung etwa parallel der Schieferigkeit in feinkörnigem Glimmerschiefer. Zu erkennen sind die linsige Zerschierung zwischen den Teilbewegungsflächen und die Einschleppung bzw. Neusprossung von Biotitflittern. Zwischen den enger benachbarten Bewegungsbahnen ist das Gestein feinkörnig rekristallisiert (Nic. //, Vergr. 32x).
- B: In s_{ii} (horizontal, Schichtung?) durch ein feines Parallelgefüge abgebildete Transversalschieferung (Vergr. 80x, Nic. //).
- C: Undeformiertes s_{ii} (rechts, Schichtung?), durch einen klaren Anwachsraum von s_i getrennt, welches etwas grobkörniger eine Fältelung nachzeichnet (Vergr. 80x, Nic. //).
- D: Durch Opakmaterial abgebildete Fältelung in s_i (Vergr. 80x, Nic. //).

Fototafel 1



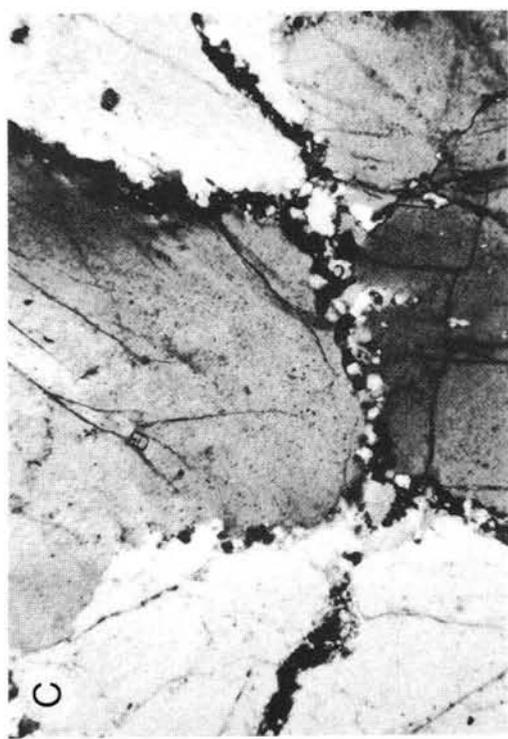
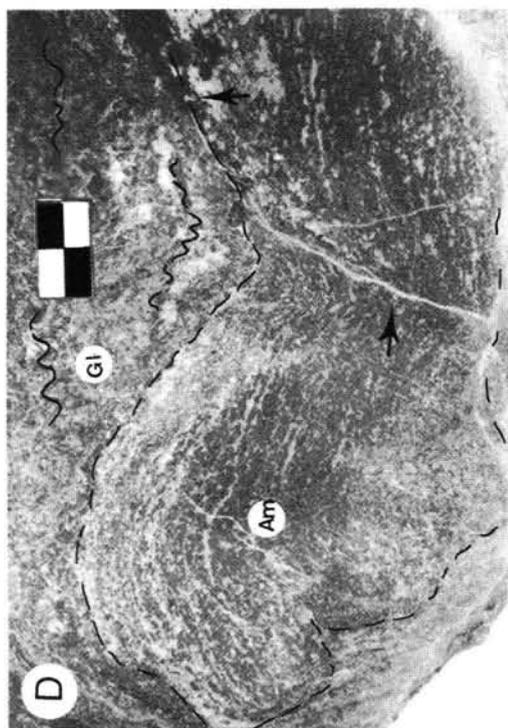
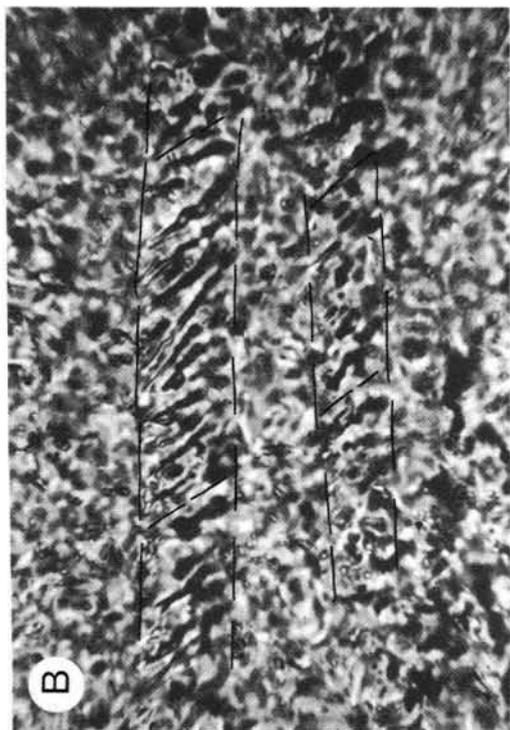
Fototafel 2



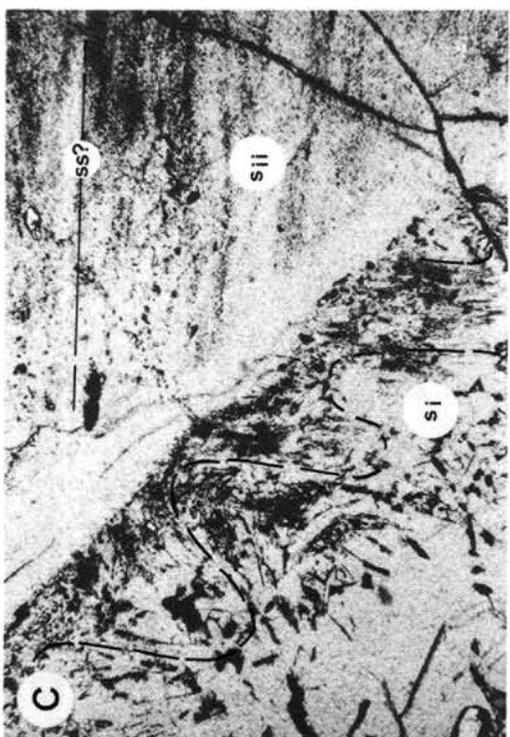
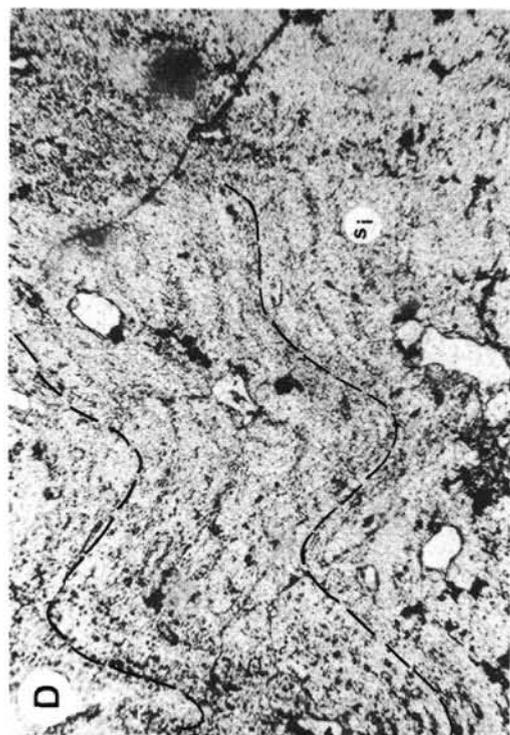
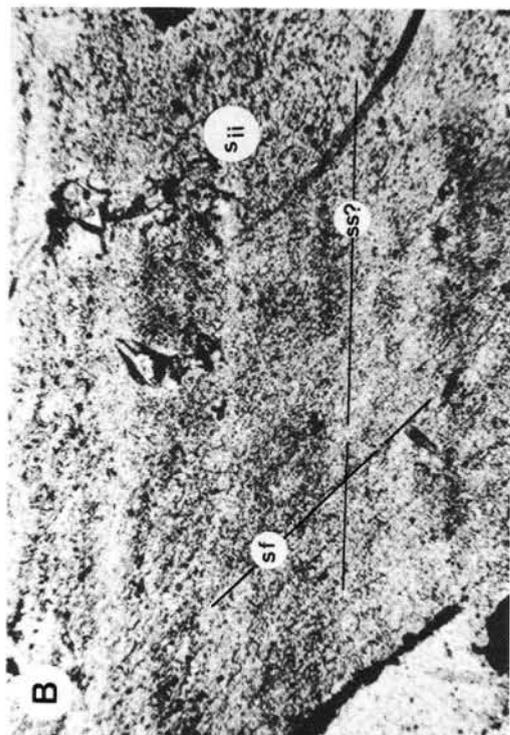
Fototafel 3



Fototafel 4



Fototafel 5



KALCHERKOGEL

PROFIL UND GROSSBAU DER DURCHÖRTERTEN FOLGE

0 300m

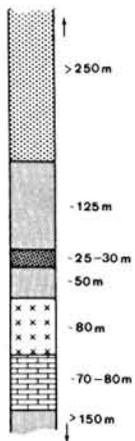


DISTHEN-GRANAT-GLIMMERSCHIEFER
mit Pegmatoid-, Kalksilikat- und Marmor-
linsen, Amphibolitbändern, Derbyquarz

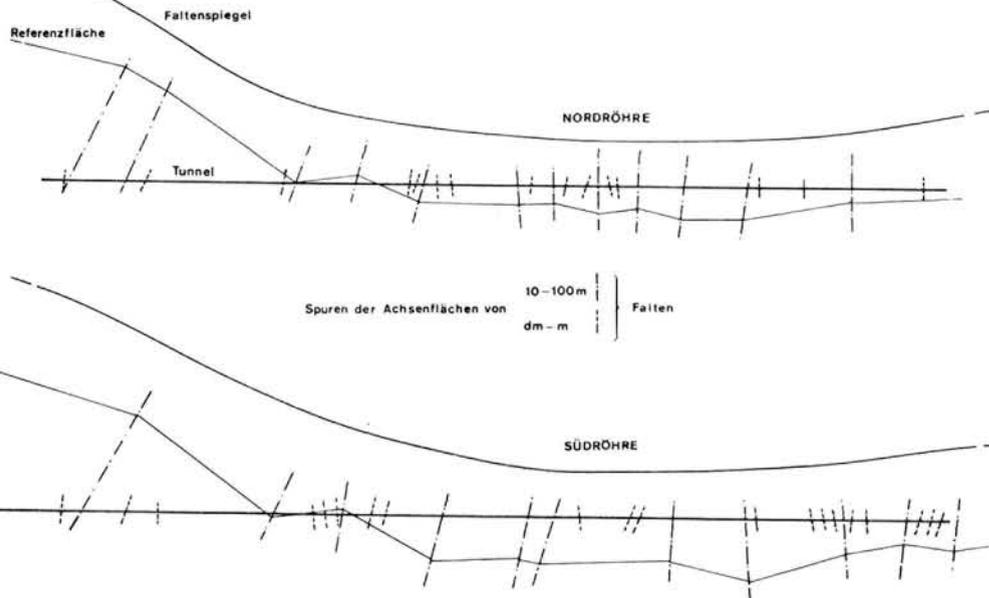
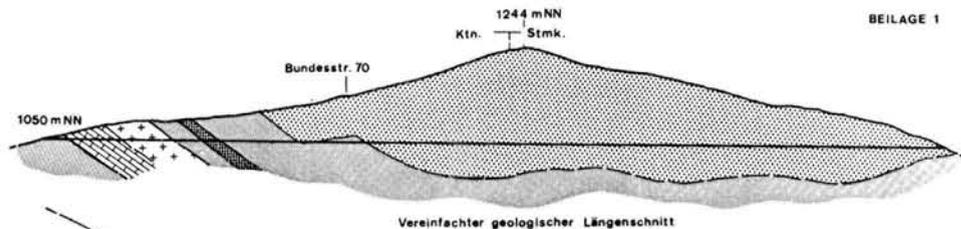
GLIMMERSCHIEFER mit Marmorlagen,
tw. quarzilisch

GLIMMERQUARZIT; Zoisit, Amphibol führend

PEGMATOID mit Biotitschieferlagen
(SILIKAT-) MARMOR mit Kalksilikat-
glimmerschiefer

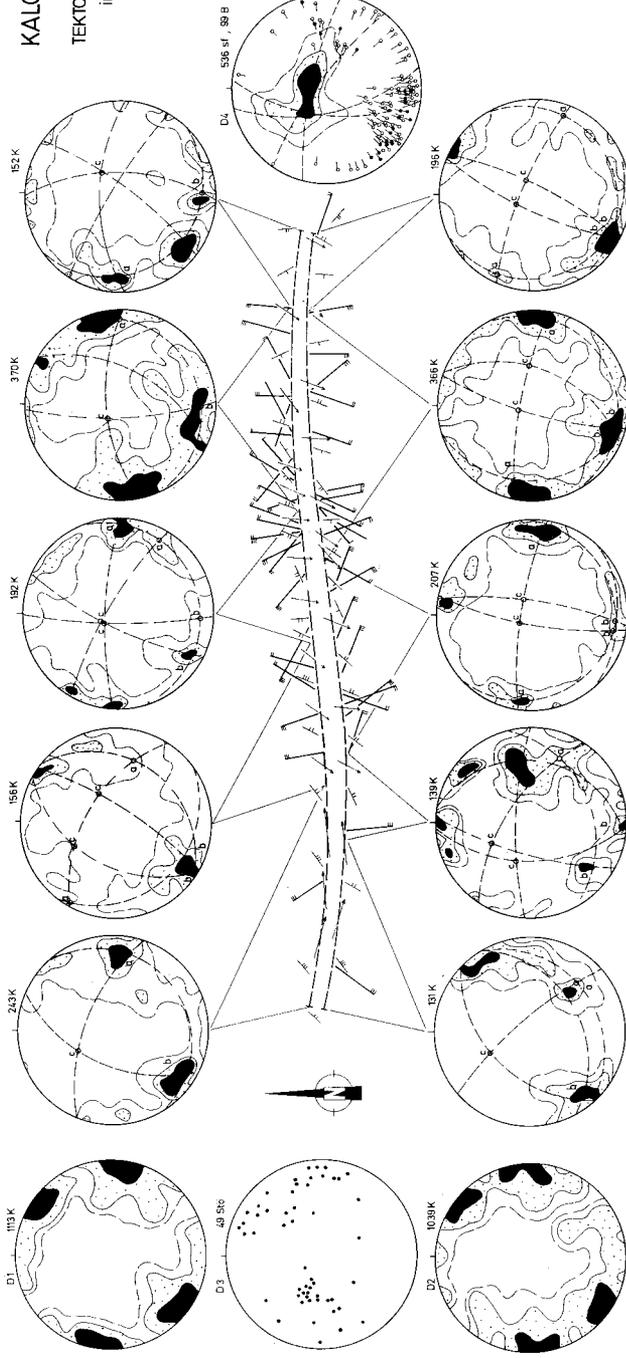


BEILAGE 1



KALCHERKOGELTUNNEL

TEKTONISCHE GEFÜGEELEMENTE im Tunnelgrundriß



Konturverläufe 1-3 Stg.

○ Gradkreise und Koordinaten der Flächen-Achsenmetrieziehung

B-ACHSEN:

Spuren von 100m-Falten, Einheiten 20°, 30°

100m-Falten

m-m-Falten

Durchstoßpunkte

HAUPTSTÖRUNGEN:

Spur, Falzzeichen wie Schieferung

Polpunkte in D3

KLÜFTE

D1 Gesamtkontinental d Nordohre

D2 - - - Südohre

SCHIEFERUNG:

D4 Rheinstadium

Spur, Einfallen: $85^{\circ} 19'$, $20^{\circ} 37'$ $00^{\circ} 69'$

KALCHERKOGEL

TEKTONISCHE KARTENSKIZZE

- B AXHSEN:**
- 10m-Bereich
 - m-Falten
 - dm-cm Falten
 - Rundzeln
- MINERALREGELUNG:**
- ← Lange Achse
 - ← Mittlere Achse
 - Undeutbare Lineation
- Pole der Schieferung
 - XXXX Einfallen 0-37, 6-197, 20-339, 40-69°
 - Störungen, konstruktiv ermittelt
 - - - Störungen, vermutet
 - Achsentrands von weitspannigen konstruktiv ermittelten Verbiegungen
 - Strecklinear?, „kataklastisches“ Lin.
 - ⊕ Aufschluß

