

E. Ergänzende Untersuchungen

KTB Oberpfalz VB –
Bruchtektonik im Teufenbereich
von 1177–1530 m

G. Zulauf
J. Kohl

KTB-Report	89-2	E 1 - E 14	11 Abb.	Hannover 1989
------------	------	------------	---------	---------------

E. Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530 m

G. Zulauf & J. Kohl*)

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
E.1 Einleitung	E 1
E.2 Ergebnisse der Untersuchungen	E 1
E.2.1 Vorläufige Statistik über die Kinematik der Verschiebungsflächen	E 1
E.2.2 Mineralisation auf den Verschiebungsflächen	E 8
E.2.3 Altersabfolge der Bruchsysteme	E11
E.3 Schlußfolgerung	E12
E.4 Schriftenverzeichnis	E13
E.5 Danksagung	E14

*) Anschrift der Verfasser:

Dipl. Geol., Dipl. Ing. G. Zulauf
 Geologisch-Paläontologisches Institut
 Senckenberganlage 32-34
 6000 Frankfurt am Main 11

Dipl. Geol. J. Kohl
 KTB Feldlabor
 8486 Windischeschenbach

E.1 Einleitung

Die im Teufenbereich 0 - 992 m vorhandene polyphase Bruchtektonik (vgl. de WALL & ZULAUF 1988) setzt sich in gleichem Maße in den hier untersuchten Teufenabschnitt (1177 - 1530 m) fort. Sie führt zu Verschiebungsflächen mit Harnischstriemung und kataklastischen Gefügen.

Die Kataklastite liegen in unterschiedlicher Mächtigkeit (max. 60 cm) und Gefügeausbildung (Proto- bis Ultrakataklastit) vor. Ihre eckigen bis kantengerundeten Porphyroklasten sind meist schlecht sortiert und erreichen Größen bis zu 3 cm. In der Regel sind sie in einer dunklen chloritreichen Matrix eingebettet (vgl. KEYSNER et al. 1988: Abb. B.3.2 - B.3.4).

Die Vermessung der Harnischflächen und deren zugehörige Lineare erfolgte mit dem von VOLLBRECHT & de WALL (IGDL Göttingen) konzipierten und von der Firma Möhrlixbauer (Windischeschenbach) gebauten Meßgerät "Goniofix". Als fiktive Nordrichtung diente die auf den Bohrkernen angebrachte Referenzlinie, welche zur späteren Rückorientierung notwendig ist.

Erste Rückorientierungsdaten liegen für die Paragneise aus dem Teufenabschnitt 750 - 992 m vor (MASSALSKY et al. 1988). Rotiert man die in diesem Abschnitt gemessenen Harnischflächen mit den jeweils zugehörigen Linearen (vgl. de WALL & ZULAUF 1988) in die wahre Lage zurück, so fällt auf, daß fast sämtliche Flächen nach SW bis SSW einfallen. Die Lineare streuen in einem etwas größeren Bereich. Ähnliche Bewegungsmuster ergaben auch die Harnische des ca. 500 m W' der KTB-V gelegenen Straßenaufschlusses bei Gerbersdorf.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Raumlage der Harnische im rückorientierten Teufenabschnitt häufig an die meist gut ausgeprägte Foliation der hier vorliegenden Paragneise gebunden ist und somit nicht zwangsläufig für die gesamte Bohrung maßgebend sein muß. Mehr repräsentative Bewegungsmuster werden von den massigen Metagabbros und Amphiboliten erwartet, wie sie in dem hier untersuchten Teufenabschnitt - allerdings noch ohne Rückorientierung - vorliegen.

E.2 Ergebnisse der Untersuchungen

E.2.1 Vorläufige Statistik über die Kinematik der Verschiebungsflächen

Die Vormacht der Aufschiebungen gegenüber Abschiebungen setzt sich aus dem Teufenabschnitt 0 - 992 m in den hier untersuchten, gekernten Teufenbereich (1177 - 1530 m) deutlich fort.

Aus Tab. E.2.1.a und b kann man entnehmen, daß fast 80 % der festgestellten spröden Bewegungszonen aufschiebend sind. In dieser Statistik wurden neben Stufen auf Harnischflächen auch Versatzrichtungen auf nicht zerbrochenen Bohrkernen (z.B. Abb. E.2.1) berücksichtigt.

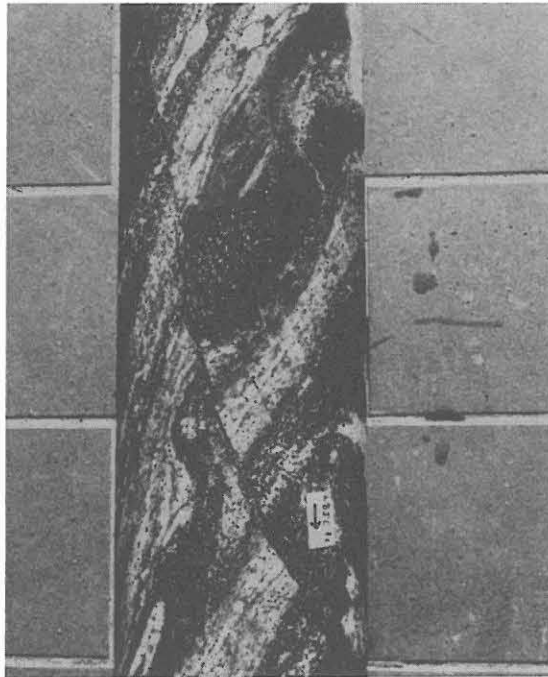
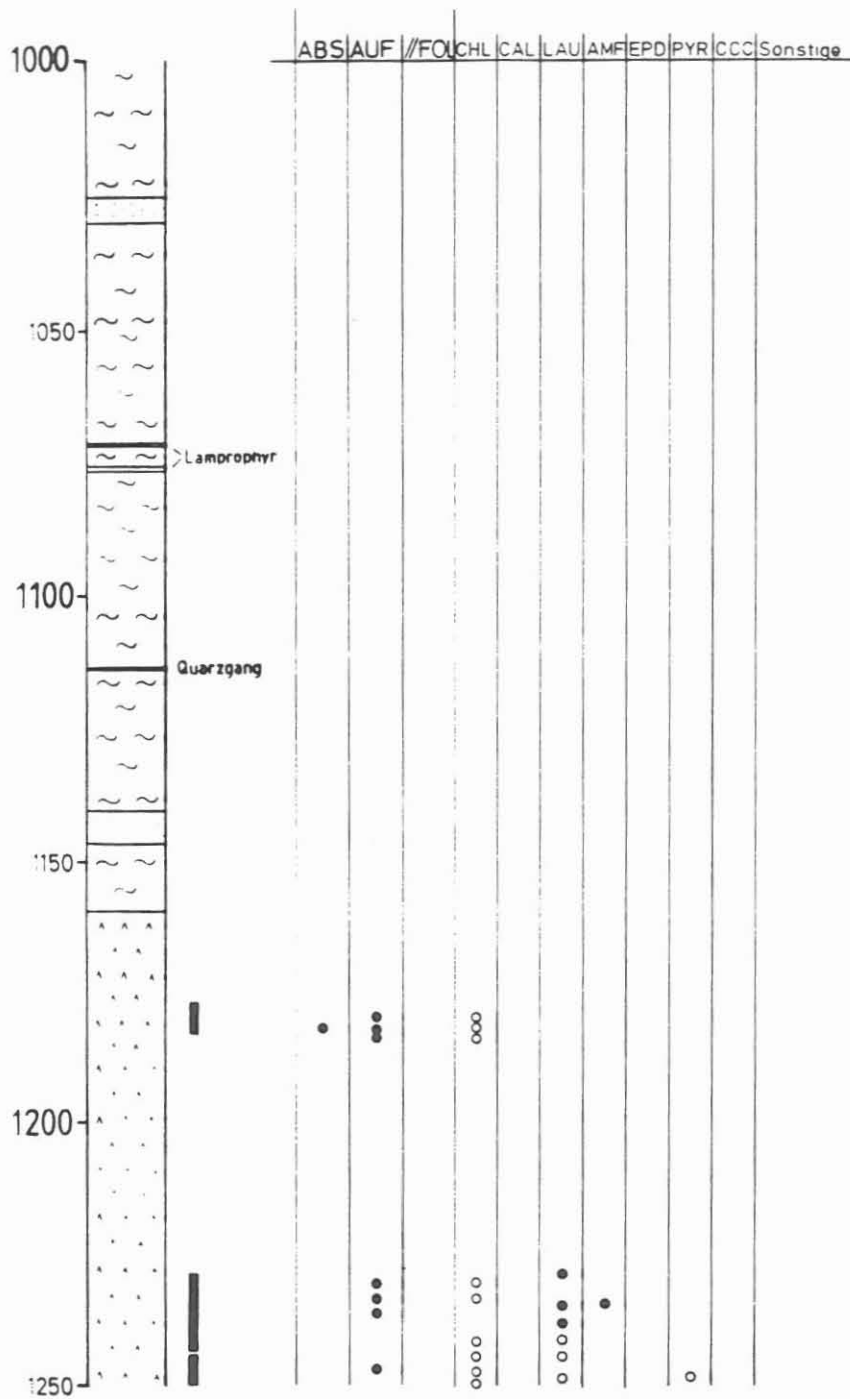


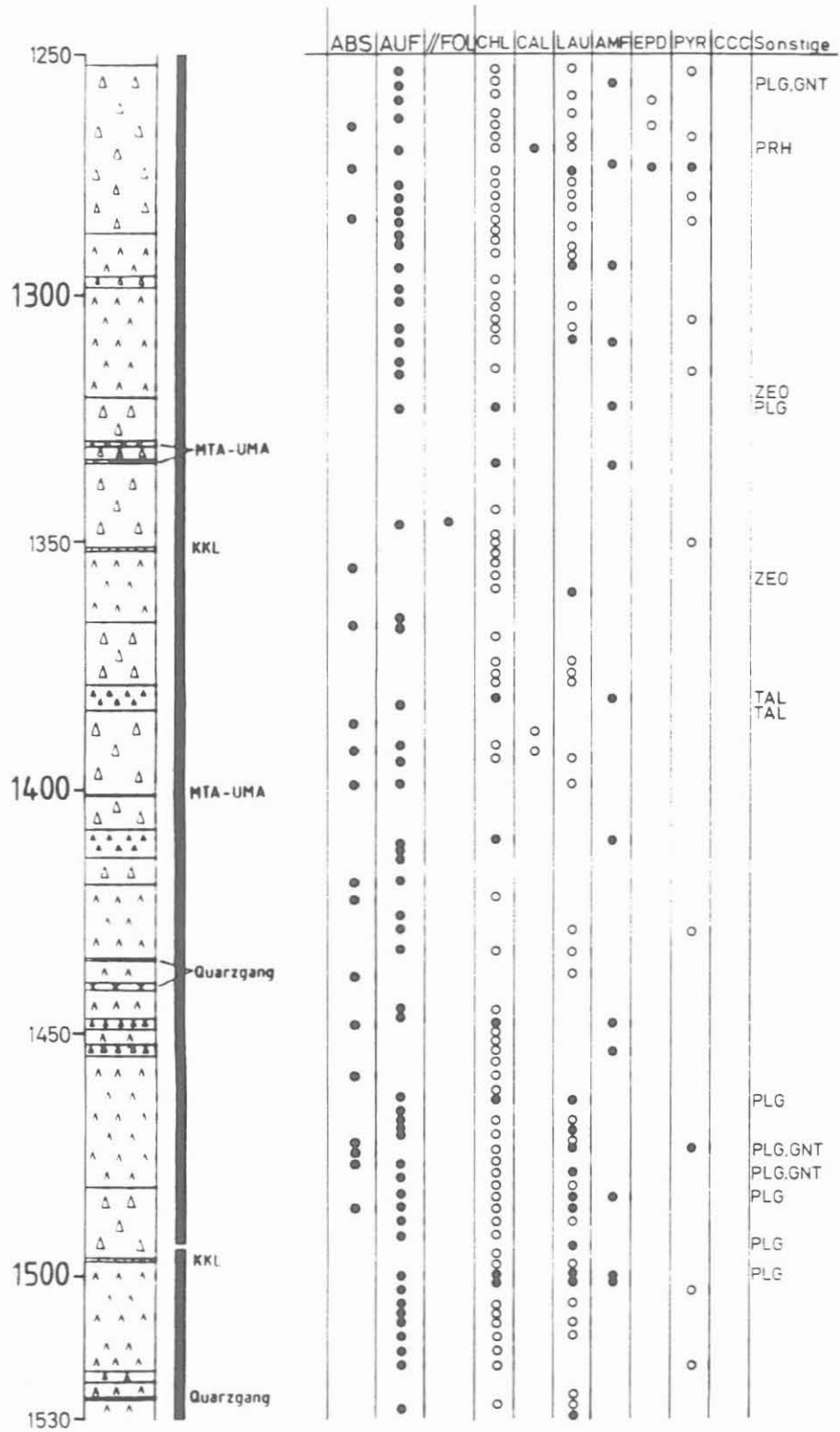
Abb.E.2.1: Aufschiebung im Granatamphibolit; Kst.-Nr.285C1c, 1364,0 m.

In den Diagrammen über die Bewegungsmuster (Abb. E.2.2 - E.2.5) wurde das Einfallen der Harnischflächen zum Einfallen der zugehörigen Lineare in Beziehung gebracht (vgl. de WALL & ZULAUF 1988). Man erhält so eine vorläufige kinematische Analyse, welche die Einfallsrichtung der Harnischflächen und -lineare zwar nicht berücksichtigt, aber die Art der Bewegungszone (z.B. flache oder steile Auf- bzw. Abschiebung, Blattverschiebung, Schrägaufschiebung) wiedergibt. Diese Art Statistik muß dem Leser bis zur Vorlage der Rückorientierungsdaten genügen.

In Abb. E.2.3 sind sämtliche Verschiebungsflächen - also auch diejenigen ohne festgestellten Bewegungssinn - eingetragen. Man erkennt, daß es sich meist um flache bis mittelsteile



Tab. E.2.1.a



Tab. E.2.1.b

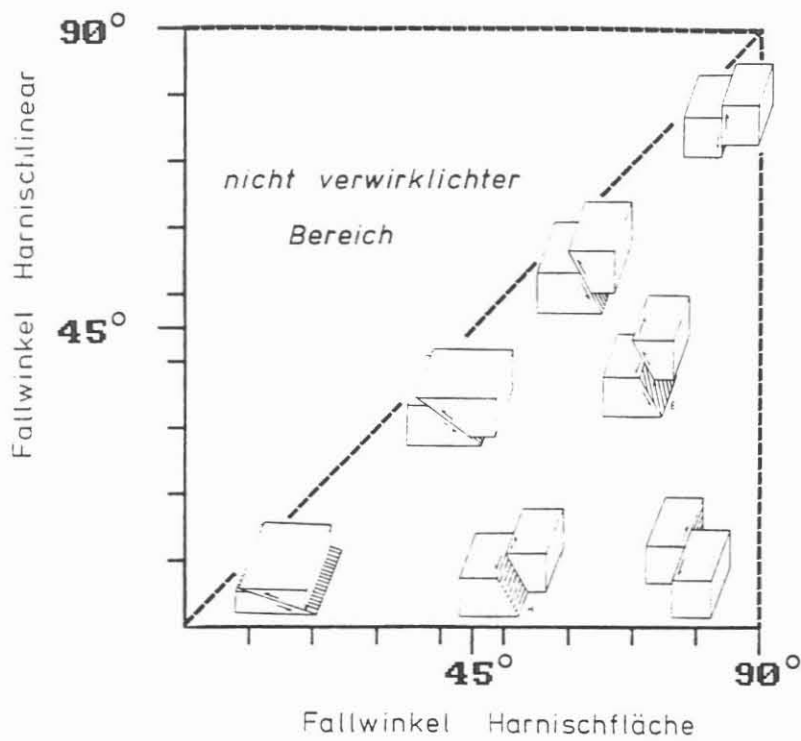


Abb. E.2.2: Erläuterungsschema zu den Abbildungen E.2.3 - E.2.5 mit eingetragenen Bewegungsmustern (hier exemplarisch als Aufschiebungen).

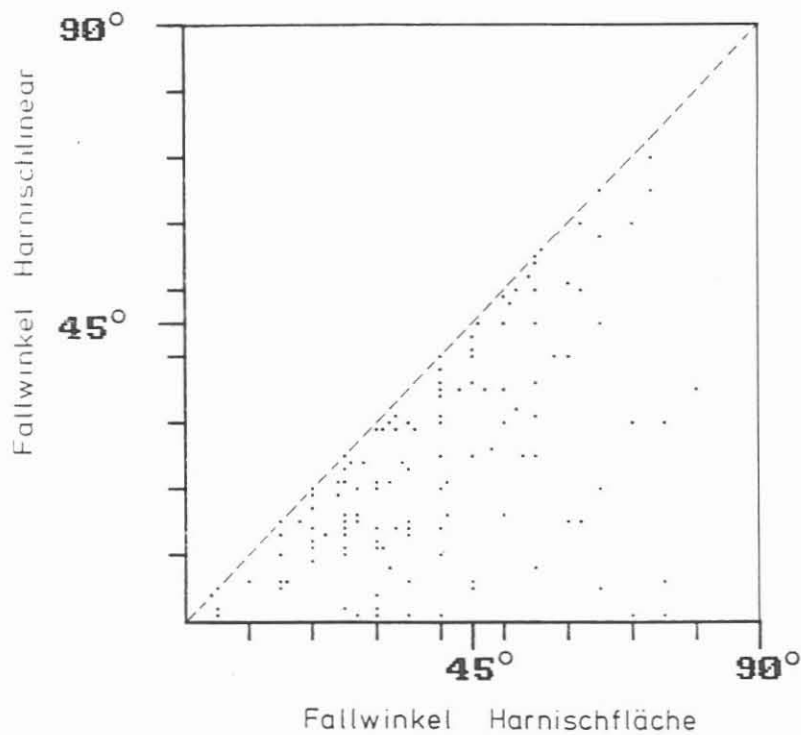


Abb. E.2.3: Darstellung sämtlicher Verschiebungsflächen des untersuchten Teufenbereiches.

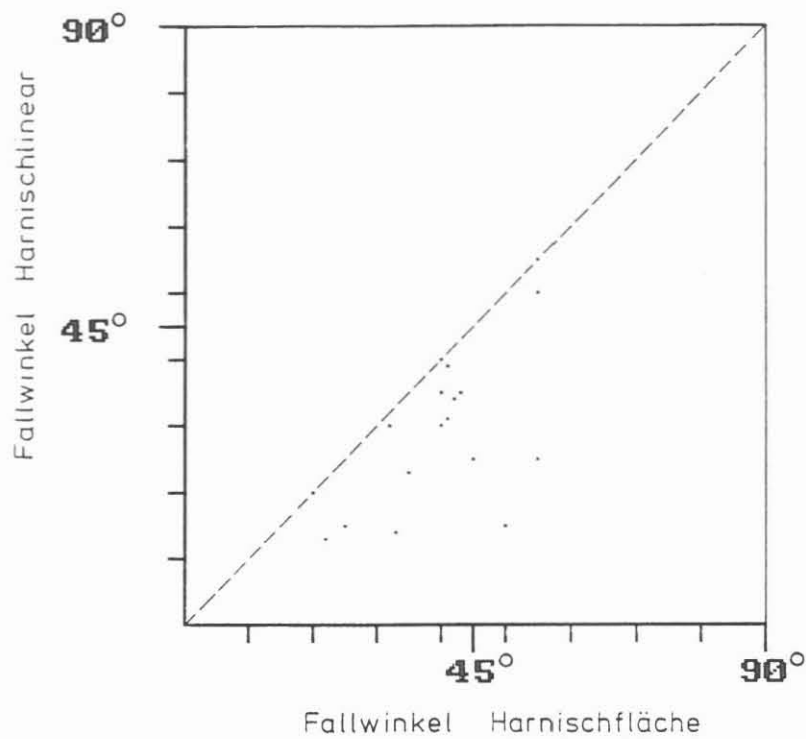


Abb. E.2.4: Darstellung der im untersuchten Teufenbereich als aufschiebend festgestellten Harnischflächen.

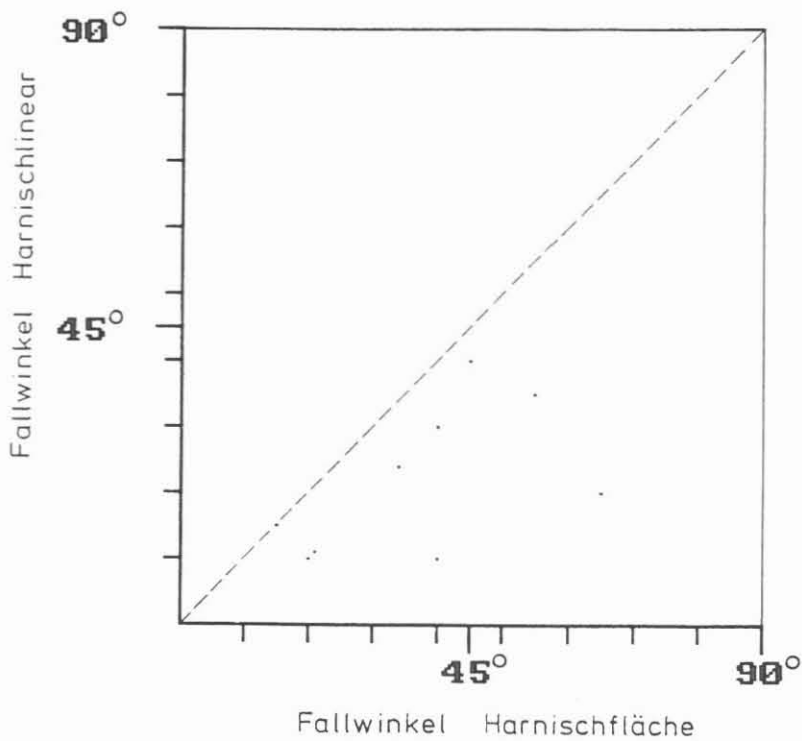


Abb. E.2.5: Darstellung der im untersuchten Teufenbereich als abschiebend festgestellten Harnischflächen.

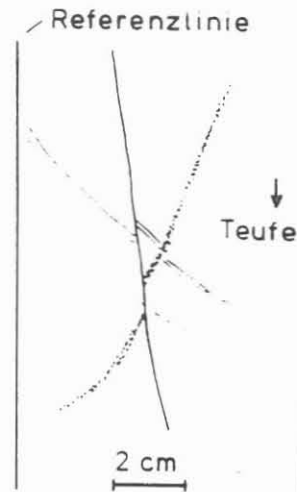
Auf- bzw. Abschiebungen handelt. Die Abschiebungen sollten jedoch, wie aus Tab. E.2.1 zu entnehmen ist, nur in geringem Maße beteiligt sein. Vergleicht man diese Gesamtstatistik mit derjenigen aus dem Teufenbereich 0 - 992 m (de WALL & ZULAUF 1988: Abb. E.2.1), so stellt man fest, daß Störungsflächen, deren Lineare etwa das gleiche Einfallen aufweisen wie die Flächen selbst (dip-slip faults) in dem hier untersuchten Teufenabschnitt seltener auftreten. Die Punkte plotten häufiger in Bereichen mit vorhandener schräger Bewegungskomponente. Weiterhin fällt auf, daß sehr steile Verschiebungsflächen und Blattverschiebungen nach wie vor stark in den Hintergrund treten. Mehr oder weniger horizontal verlaufende Harnischstriemung wurde nicht selten in den Meta-Ultramafititen beobachtet.

In Abb. E.2.4 sind lediglich die als eindeutig aufschiebend identifizierten Harnischflächen dargestellt. Die geringe Anzahl ist auf das z.T. schwierige Erkennen des Bewegungssinnes auf den vorwiegend mit Chlorit belegten Harnischflächen (häufig fehlende Stufen) zurückzuführen. Jedoch läßt sich trotz der geringen Datenmenge ein ähnlicher Trend wie in Abb. E.2.3 (sämtliche Verschiebungsflächen) erkennen. Die beobachteten Aufschiebungen besitzen häufig eine mehr oder weniger große schräge Bewegungskomponente. Sie fallen wie die Harnischlineare in der Regel mit Winkeln $< 45^\circ$ ein. Sehr steile Aufschiebungen, wie sie im Teufenabschnitt 0 - 992 m beobachtet wurden (de WALL & ZULAUF 1988: Abb. E.2.2), fehlen gänzlich. Ein relativ flaches Einfallen (ca. $30 - 40^\circ$) zeigt auch die Mehrzahl der an nicht zerbrochenen Bohrkernen beobachteten Kataklysezonen, was o.g. Beobachtungen bestätigt.

Die seltener vorhandenen Abschiebungen zeigen ein vollkommen anderes Bewegungsmuster als diejenigen, die in den Paragneisen zwischen 850 und 950 m vorliegen. Wurden aus dem zuletzt genannten Abschnitt vorwiegend steile Abschiebungen mit i.d. R. dip-slip-Charakter festgestellt (de WALL & ZULAUF 1988: Abb. E.2.4), so treten in dem hier untersuchten Bereich vorwiegend flache Abschiebungen mit mehr oder weniger großer schräger Bewegungskomponente auf (Abb. E.2.5).

In den massigen Gesteinen, vor allem in den Metagabbros, wurden häufig konjugierte Schersysteme beobachtet. Ähnlich wie im Abschnitt zwischen 0 und 992 m fällt die Richtung der sich hieraus ergebenden größten Hauptnormalspannung flach, mit ca. $10 - 20^\circ$ ein (Abb. E.2.6). Der Versatzbetrag entlang der Verschiebungszonen kann wegen des eng begrenzten Beobachtungsfeldes an den Bohrkernen in seiner maximalen Dimension nicht ermittelt werden. Die größten, am Bohrkern gemessenen Verschiebungsbeträge ließen sich mit 12 cm ermitteln (Abb. E.2.7). Jedoch deuten die häufig vorhandenen Kataklysezonen an den Grenzen unterschiedlicher lithologischer Einheiten (Abb. E.2.8) auf weit größere Versatzbeträge hin.

Abb. E.2.6:
Konjugiertes Schersystem im
Granatamphibolit. Die von
links unten nach rechts oben
verlaufende Scherzone wurde im
Laufe der Verformungsgeschichte
inaktiv; somit wurde sie
durch die zweite Scherbahn
aufschiebend versetzt; Kst.-
Nr.309F2a, 1480,0 m.



E.2.2 Mineralisation auf den Verschiebungsflächen

Auf den Harnischflächen beobachtet man häufig Mineralneubildungen, die unter retrograden Metamorphosebedingungen entstanden sind. Diese sind in Tab. E.2.1.a und b in Abhängigkeit von Teufe und Lithologie dargestellt. Sie wurden zum größten Teil makroskopisch bestimmt und in Zweifelsfällen durch RDA-Analysen ergänzt und verifiziert.

Die am häufigsten vorkommenden Minerale sind Chlorit und Laumontit. Sie treten fast im gesamten untersuchten Teufenabschnitt auf. Laumontit läßt sich u.a. daran erkennen, daß er auf den Harnischen (Abb. E.2.9) - und auch auf Klüften - als schneeweiße, glitzernde Masse aus nadeligen Kristallen vorliegt, die sich zwischen den Fingern leicht zu Pulver zerreiben läßt. Bohrkerne, die Verschiebungsflächen mit reichlich Laumontit enthalten, zerbrechen bevorzugt entlang dieser Zonen.

Die Tatsache, daß bei den RDA-Analysen neben Chlorit fast immer Amphibol und etwas seltener Plagioklas und Granat nachgewiesen wurde, deutet darauf hin, daß es sich bei den hierzu gehörigen Harnischbelägen nicht ausschließlich um Mineralneubildungen, sondern auch um Bruchstücke des Nebengesteins (fault gouge) handelt. Gleichzeitig läßt sich hieraus ableiten, daß der Chlorit wahrscheinlich vorwiegend aus den Amphibolen hervorgegangen ist. Dies trifft sowohl für die Metabasite (Amphibolite und Metagabbros) als auch für die eingeschalteten Meta-Ultramafitite zu.

Die Meta-Ultramafitite unterscheiden sich hinsichtlich der Harnischmineralisation von den Metabasiten dadurch, daß Laumontit fehlt, dafür aber manchmal eine speckig-glänzende, leicht ritzbare Mineralisation (Talk) auftritt. Epidot - genauso selten wie im Teufenbereich 0 - 992 m - wurde lediglich zwischen 1255 und 1275 nachgewiesen. Hier taucht auch Prehnit auf, der nach KEYSNER et al. (1988) neben Chlorit häufig in retrograden Alterationszonen zu finden ist.

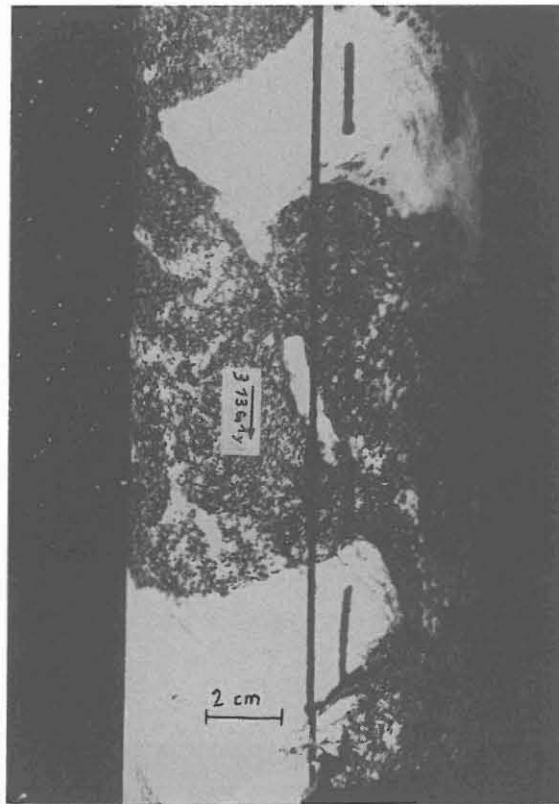


Abb.E.2.7: Aufschiebung im Granatamphibolit. In der Scherzone befindet sich ein abgescherter Teil des Gangs; Kst.-Nr. 313Gly, 1503,0 m.



Abb. E.2.8: Grenze Ultramafitit/Amphibolit, kataklastisch überprägt; Kst.-Nr. 289A2e, 1384,9 m.

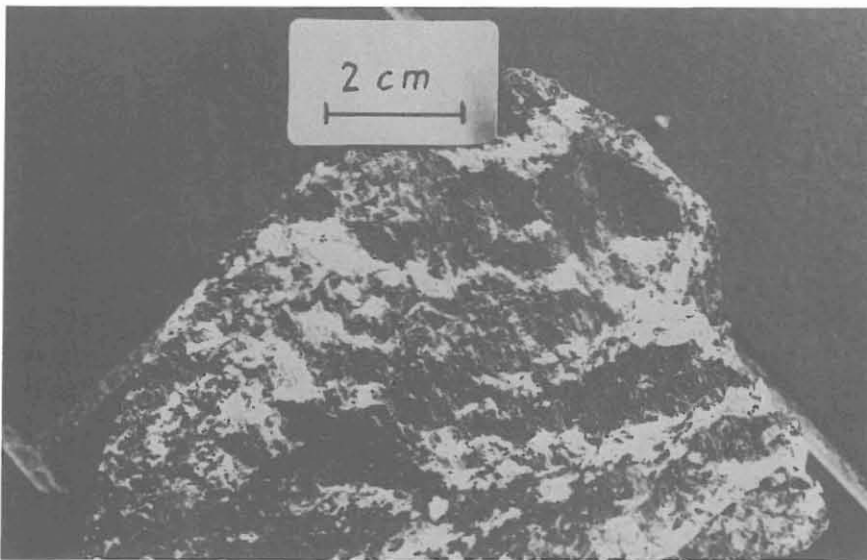


Abb. E.2.9: Harnisch mit Laumontit (Schrägaufschiebung);
Kst.-Nr. 274B1g, 1307,3 m.



Abb. E.2.10: Kst. 275B1c, 1313,5 m
1) steiler, ca. 0,5 cm breiter Extensionsriss, kataklastisch
überprägt.
2) relativ flache, aufschiebende Zone mit zugehörigen Riedel-
Scherflächen, welche die weißen Gänge versetzen.



Abb. E.2.11: Im Kst.-Nr. 291D1g (1398,7 m) treten drei Generationen von Verschiebungsflächen auf:

- 1) ca. 0,5 cm breite, flache Kataklysezone
- 2) relativ steile, aufgrund von Riedel-Flächen aufschiebende Zone
- 3) flache, abschiebende diskrete Zone

Pyrit tritt sporadisch sowohl in den Metabasiten als auch in den Meta-Ultramafititen auf Verschiebungsflächen auf. Er ist häufig körnig z.T. aber auch blattgoldartig ausgebildet. Graphit, für die Kataklysezonen der Paragneise typisch, fehlt in den hier untersuchten Metabasiten und Meta-Ultramafititen. Die Abnahme von Calcit als Harnischbelag ab ca. 740 m hält bis 1530 m an. Calcit konnte nur an einigen wenigen Stellen nachgewiesen werden.

E.2.3 Altersabfolge der Bruchsysteme

Ähnlich wie im Abschnitt 0 - 992 m äußert sich die Mehrphasigkeit der Bruchtektonik in Form von versetzten Kataklysezonen. Ebenfalls wurde in wenigen Fällen mehr als eine Striemung auf ein und derselben Harnischfläche beobachtet, was auf Reaktivierung von bereits existierenden Verschiebungsflächen, unter einem veränderten Spannungsfeld, hindeutet.

Das älteste, durch spröde Deformation entstandene Gefüge, umfaßt steile bis saiger stehende, meist wenige mm breite

Extensionsrisse, an denen manchmal geringer Versatz stattgefunden hat (Abb. E.2.10). Dieser Versatz ist überwiegend aufschiebend (KOHL 1988), wobei es sich um eine Reaktivierung der Extensionsrisse handeln dürfte. Wie parallel zu den Gangwänden verlaufende Einschlußreihen zeigen, haben sich diese im crack-seal Modus (vgl. RAMSAY & HUBER 1987: 576) gebildet. Sie enthalten nach RDA-Analysen hauptsächlich Prehnit.

Ähnlich ausgebildete, steile Prehnitgänge, jedoch bis zu wenigen cm breit, konnten auch in der S' ZEV (Steinbruch und Geothermiebohrung bei Remmelberg) innerhalb der hier anstehenden, von Granit umgebenen Amphibolitserie nachgewiesen werden (ZULAUF et al. 1989).

Nach der Bildung der Extensionsrisse haben sich während einer ersten lateralen Einengung vorwiegend flache Aufschiebungen gebildet (Abb. E.2.10). Bei einer zweiten lateralen Einengung unter einem veränderten Spannungsfeld kam es zu weiteren, mehr diskreten Aufschiebungen, welche die älteren versetzen. Diese Verhältnisse wurden auch im Teufenabschnitt 0 - 992 m beobachtet (de WALL & ZULAUF 1988).

Nach der lateralen Einengung kam es zur Extension, mit der die Bildung von Abschiebungen einherging (Abb. E.2.11).

In den Gneisen bedienten sich diese Abschiebungen der Folia-tion, teilweise liegen auch gegensinnig einfallende, konjugierte Flächenscharen vor (KOHL 1988).

Die jüngsten kataklastischen Verschiebungsflächen sind sehr flache, äußerst schmale Zonen, die gelegentlich verschiedene Gefügedomänen gegeneinander versetzen. Insgesamt jedoch dürften die Verschiebungsbeträge relativ gering sein. Diese Verschiebungsflächen sind mit Chlorit belegt.

E.3 Schlußfolgerung

Hinsichtlich der Kinematik der Verschiebungsflächen setzt sich der im Teufenbereich 0 - 992 m beobachtete Trend grundsätzlich fort. Die generelle Verflachung der spröden Bewegungszonen hängt vermutlich mit der veränderten Lithologie zusammen. Ein entscheidender, die spröde Deformation beeinflussender Faktor ist die Anisotropie (vgl. PATERSON 1978: 42ff), welche im Teufenabschnitt 0 - 992 m in Form einer meist gut ausgeprägten Folia-tion innerhalb der Paragneise vorhanden ist und sich auf die Raumlage der Verschiebungsflächen z.T. beträchtlich ausgewirkt hat (de WALL & ZULAUF 1988). Die eher massigen Metagabbros und Amphibolite des hier untersuchten Teufenbereichs besitzen hingegen keine oder eine nur schwach ausgeprägte Folia-tion. Die mit Prehnit verfüllten steilen Extensionsrisse, welche vermutlich während des Aufstiegs des nahegelegenen Falkenberger Granits angelegt wur-

den, stellen zusammen mit den lithologischen Grenzen - vor allem Kontakte von Metabasiten zu Meta-Ultramafititen - die einzigen Unstetigkeitsflächen dar. Man kann deshalb davon ausgehen, daß die ältesten Aufschiebungen nur selten an eine vorgegebene Struktur gebunden waren sondern größtenteils neu, unter flachen bis mittelsteilen Einfallswinkeln angelegt wurden. Ob hierbei bevorzugt lithologische Grenzzonen aktiviert wurden, muß dahingestellt bleiben. Die häufig beobachteten kataklastischen Gefüge entlang dieser Zonen können auch durch den bei der Kataklase entstanden Versatz erklärt werden, welcher eventuell unterschiedliche lithologische Einheiten in Kontakt geraten ließ.

Die nachfolgenden Bewegungen erfolgten unter einem veränderten Spannungsfeld, wobei z.T. neue Verschiebungsflächen angelegt wurden, z.T. aber auch die zuvor angelegten Bruchzonen reaktiviert wurden. Hierauf deuten vor allem die häufig auftretenden, schräg verlaufenden Harnischstriemungen hin (vgl. WILLIAMS 1958, BOTT 1959). Es lassen sich mit Sicherheit 2 aufschiebende und ein abschiebendes System nachweisen.

Das Fehlen der für die Paragneise charakteristischen Graphitharnische und -kataklasite deutet darauf hin, daß der in den Paragneisen stellenweise primär vorliegende Graphit zur Anlage der Graphitkataklasite notwendig war. Ob es sich hierbei um einfache Anreicherungen des primären Graphits innerhalb der kataklastischen Bereiche handelt, muß dahingestellt bleiben. Es muß auch an die Möglichkeit gedacht werden, daß der primäre, fein verteilte Graphit für das Ausfällen von sekundärem Graphit aus einer potentiellen Gasphase eine Art katalytische Wirkung besessen haben könnte.

E.4 Schriftenverzeichnis

BOTT, M.P.H. (1959): The mechanics of oblique slip faulting.- Geol. Mag. 96, 109 - 117.

KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G. & HACKER (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: B. Geologie. - KTB Report, 88-6: B1-B88.

KOHL, J. (1988): Makroskopische Bohrkerndetaillaufnahme des Teufenbereiches 800 m - 992 m.- KTB Report 88-9: E1 - E11.

MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S. & KOHL, J. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m: B. Geologie. - KTB Report 88-9: B1-B66.

PATERSON, M.S. (1978): Experimental rock deformation. - The brittle field. - 254 S.; Heidelberg (Springer).

RAMSAY, J.G. & HUBER, M.J. (1987): The techniques of modern structural geology, Volume 2: folds and fractures.- 700 S.

de WALL, H. & ZULAUF, G. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, die bruchhaften Verformungsgefüge im Teufenbereich 0 - 992 m. E: Ergänzende Untersuchungen. - KTB Report 88-2: E1-E19.

WILLIAMS, A. (1958): Oblique-slip faults and rotated stress systems. - Geol. Mag., 95: 207-218.

ZULAUF, G., KLEINSCHMIDT, G. & ONCKEN, O. (1989): Late- to post-variscan cataclasis in amphibolites of the geothermic bore hole "Rommelberg" (Oberpfalz). - Terra Abstracts (im Druck).

E.5 Danksagung

Wir danken der Arbeitsgruppe Geochemie-Petrologie des Feldlabors, insbesondere Herrn Dr. Stroh, für die röntgendiffraktometrische Untersuchungen.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt (Az: Kl 429/7-1).