

E. Ergänzende Untersuchungen

KTB Oberpfalz VB –
Bruchtektonik im Teufenbereich
von 1530–2500 m

KTB-Report	89-4	E1-E22	11 Abb.	Hannover 1989
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1530 bis 2500 m:

E. Ergänzende Untersuchungen

G. Zulauf *)

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
E.1. Einleitung	E 3
E.2. Ergebnisse der Untersuchungen	E 3
E.2.1. Vorläufige Statistik über die Kinematik und Raumlage der spröden Verschiebungsflächen	E 3
E.2.2. Mineralisation auf den Verschiebungsflächen	E 6
E.2.3. Altersabfolge der bruchhaften Gefüge	E 12
E.3. Schlußfolgerung	E 19
E.4. Schriftenverzeichnis	E 21
E.5. Danksagung	E 22

*) Anschrift des Verfassers: Geologisch-Paläontologisches Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Senckenberganlage 32-34, 6000 Frankfurt a.M.

Zusammenfassung

Die Untersuchung der bruchhaften Deformationen im Teufenintervall von 1530 bis 2500 m bestätigen den bisher angenommenen polyphasen spröden Deformationspfad der durchteuften Gesteine. Als älteste Bildungen müssen subvertikale Extensionsrisse angenommen werden, denen SW-fallende Aufschiebungen folgten. Mit Hilfe der eingeschalteten Lamprophyre läßt sich für beide ein spätvariszisches Bildungsalter ableiten. Die darauffolgenden Bewegungen (2. Generation von Aufschiebungen, untergeordnete Horizontalverschiebungen, Abschiebungen) sind offensichtlich nach der Intrusion der Lamprophyre (postvariszisch) erfolgt. Die mit steigender Teufe beobachteten Veränderungen hinsichtlich der Kataklasezonen (Diskretisierung der Scherzonen, Kornverfeinerung der Porphyroklasten, Abnahme der Abschiebungen) lassen sich vermutlich durch den mit der Teufe gestiegenen Umschließungsdruck erklären. Die in den Paragneisen vorhandene, meist steile Foliation führte im Vergleich zu den massigen Lamprophyren und Metabasiten zu einer für Aufschiebungen ungewöhnlich steilen Lagerung. Die bisherige Beobachtung, daß Graphitanreicherung nur in den ältesten Störungen der Paragneise stattgefunden hat, bestätigte sich. Unterschiedliche Kohlenstoffisotope von Graphit und Calcit deuten darauf hin, daß sich beide nicht gleichzeitig innerhalb der Kataklasezonen gebildet haben.

Abstract

Investigations of fracture-related deformations between 1530 and 2500 m depth confirm the brittle deformation path argued up to now. The oldest features are subvertical tension gashes followed by SW-dipping reverse faults. By the aids of intercalated lamprophyres both events must be of late-Variscan age. Subsequent deformations (2nd generation of reverse faults, subordinate NE-SW-trending strike-slip faults, normal faults) are younger than the lamprophyres and thus are probably of post-Variscan age. With increasing depth a variation of some brittle features could be recognized (reduction of the thickness of the cataclastic zones, refinement of porphyroclasts, decrease of the amount of normal faults). Probably the increasing confining pressure is responsible for these modifications. Moreover a striking variation of the spatial position of the faults and their mineralization, due to a change in lithology, could be observed. Graphite-enrichment is restricted to the first generation of reverse faults within the paragneisses. Different carbon isotopes of graphite and calcite suggest that both minerals have formed within the cataclastic zones at separate times.

E.1. Einleitung

Die hier vorgestellten Ergebnisse über die spröden Deformationsgefüge umfassen den tiefsten Teil der Bohrung VB 1 (1530 bis 1816 m, ca. 25 % Metabasite und ca. 75 % Paragneise) sowie den oberen Abschnitt der Bohrung VB 1a (1802 m bis 2500 m, vorwiegend Paragneise). Die aus dem Teufenbereich von 0 bis 1530 m vorhandene Kataklyse (vgl. de WALL & ZULAUF 1988; ZULAUF & KOHL 1989; ZULAUF et al. 1989) setzt sich bis 2500 m Teufe fort (siehe auch MASSALSKY et al. 1988, RÖHR et al. 1989). Es fällt jedoch auf, daß sich mit zunehmender Teufe zum einen die Mächtigkeit der Kataklysezonen und zum anderen die mittleren Durchmesser der Porphyroklasten verringern. Während man im oberen Teufenbereich bis zu 60 cm breite Kataklysezonen mit bis zu 4 cm großen Porphyroklasten beobachtet (z.B. KEYSSNER et al. 1988: Abb. B.3.3.), findet man im hier untersuchten Teufenabschnitt (bis 2500 m) lediglich geringmächtige, in seltenen Fällen bis zu 10 cm breite Kataklysezonen, deren Porphyroklasten in der Regel kleiner als 1 cm sind (Abb. E.2.1., E.2.8, E.2.10). Eine auffällige Verminderung der Kataklysezonen läßt sich ab ca. 2450 m feststellen. Von hier ab bis zur Teufe von 2500 m kommen nur noch diskrete, bis zu max. 1 cm mächtige Ultrakataklyse vor. Ob sich dieser Trend mit zunehmender Teufe fortsetzt, müssen die weiteren Untersuchungen zeigen.

Die unterschiedliche Lithologie (vor allem Metabasite, Paragneise, Lamprophyre) wirkte sich merklich auf die Raumlage und Mineralisation der Verschiebungszonen aus.

Die Einfallrichtung der Störungen läßt sich im Einzelfall wegen der bislang fehlenden (noch durchzuführenden) Rückorientierung nicht angeben. Ein wesentlicher Anteil fällt in die selbe Richtung wie die Foliation (nach SW), wobei die Einfallswinkel der Störungen meist flacher sind. Somit liegen hinsichtlich der absoluten Raumlage ähnliche Verhältnisse vor wie im obersten Teil der Bohrung (vgl. ZULAUF et al. 1989).

E.2. Ergebnisse der Untersuchungen

E.2.1. Vorläufige Statistik über die Kinematik und Raumlage der spröden Verschiebungsflächen

Die Vorherrschaft der Aufschiebungen setzt sich bis 2500 m Teufe deutlich fort (z.B. Abb. E.2.1.; vgl. Tab. E.2.1 bis E.2.4). Die Einfallswinkel der Aufschiebungen reichen zwar von 10° bis 70°, der größte Anteil jedoch fällt mit Winkeln zwischen 25° und 55° ein (vgl. Abb. E.2.3. u. E.2.4.). Im Vergleich zu den relativ flach einfallenden Aufschiebungen innerhalb der Metabasitfolge (ZULAUF & KOHL 1989: Abb. E.2.4) kommt es in den Paragneisen zu einer Versteilung der Aufschiebungen, was bereits innerhalb der Wechselfolge Paragneis/Metabasit (0 bis 535 m) festgestellt worden ist (vgl. de WALL & ZULAUF 1988: Abb. E.2.3). Die z.T. vorhandene, für

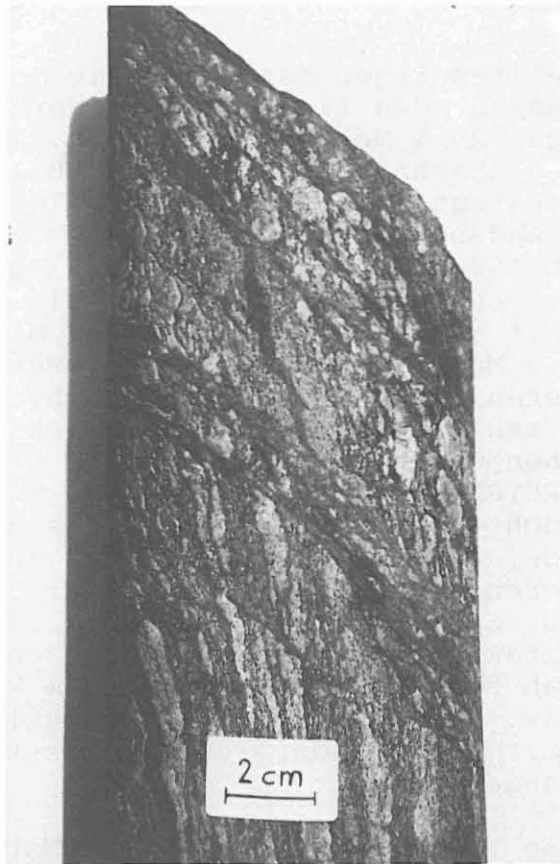


Abb. E.2.1.: Diskrete, mit Graphit und Chlorit mineralisierte Aufschiebungen im Paragneis. Die Einfallrichtung der Kataklysezonen ist die selbe wie die der steilen Foliation. Kst.-Nr. 416B1c, ca. 1840 m.

Aufschiebungen ungewöhnlich steile Raumlage in den Paragneissen resultiert vermutlich aus der steilen Foliation. DONATH (1961) konnte nachweisen, daß Flächen geringeren Scherwiderstandes - als solche kann die Foliation in den Paragneissen betrachtet werden - die Raumlage der spröden Scherzonen beeinflussen können. In den massigen Lamprophyren wurden, ähnlich wie in den Metabasiten, die Scherflächen vorwiegend nach dem Coulomb-Kriterium angelegt. Der Winkel zwischen der größten Hauptnormalspannung (horizontal) und der Scherfläche ist hierbei $< 45^\circ$, so daß die Einfallswinkel der Aufschiebungen ebenfalls $< 45^\circ$ sind (Abb. E.2.5.). Diese Werte sind für aufschiebende Störungen in weitgehend isotropen Gesteinen der Regelfall (z.B. PRICE 1981: 58; MANDL 1988: 16).

Die Abschiebungen kommen lediglich in den Metabasiten (1530 m bis 1610 m) in größerer Anzahl vor. Mit dem Einsetzen der darunter folgenden Paragneise nehmen sie kontinuierlich ab (Tab. E.2.1 - E.2.4). Ab ca. 2100 m beobachtet man sie nur noch selten, was zu der Annahme führt, daß sie mit zunehmender Teufe gänzlich verschwinden. Die Raumlage der Abschiebungen richtet sich ebenfalls deutlich nach der Lithologie. Die

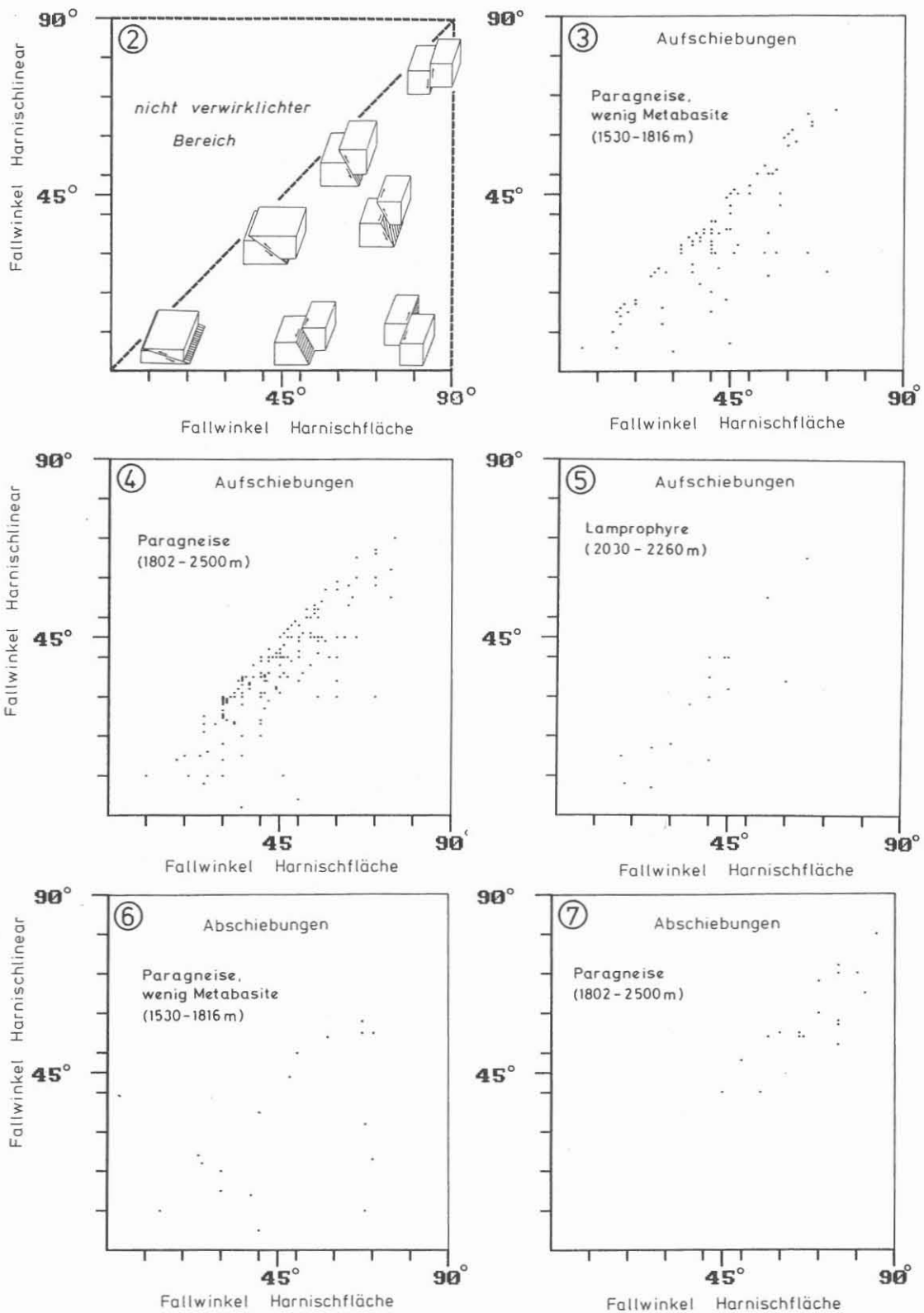


Abb. E.2.2: Erläuterungsschema zu Abb. E.2.3-E.2.7
Abb. E.2.3-E.2.7: Darstellung der Verschiebungsflächen, getrennt nach auf- und abschiebendem Bewegungssinn sowie nach unterschiedlicher Lithologie.

Abschiebungen in den Metabasiten (1530 m bis 1610 m) fallen ungewöhnlich flach ein (Abb. E.2.6.), was durch Reaktivierung der älteren Aufschiebungen erklärt werden kann (vgl. auch ZULAUF & KOHL 1989). In den Gneisen hingegen fallen die Abschiebungen meist mit Winkeln $> 45^\circ$ ein (Abb. E.2.7.). In manchen Fällen kam es zu foliationsparallelen Abschiebungen. Doch lassen sich diese in weitaus geringerer Anzahl feststellen als in den Paragneisen zwischen 750 m und 990 m (vgl. de WALL & ZULAUF 1988: Tab. E.2.1.d). Vor allem bei subvertikaler oder sehr flacher Lagerung der Foliation fehlen sie weitgehend. Die generelle Abnahme der foliationsparallelen Bewegungen mit zunehmender Teufe könnte durch den steigenden Umschließungsdruck erklärt werden, der mit einer Erhöhung des Reibungswiderstandes auf den Foliationsflächen einherging.

E.2.2. Mineralisation auf den Verschiebungsflächen

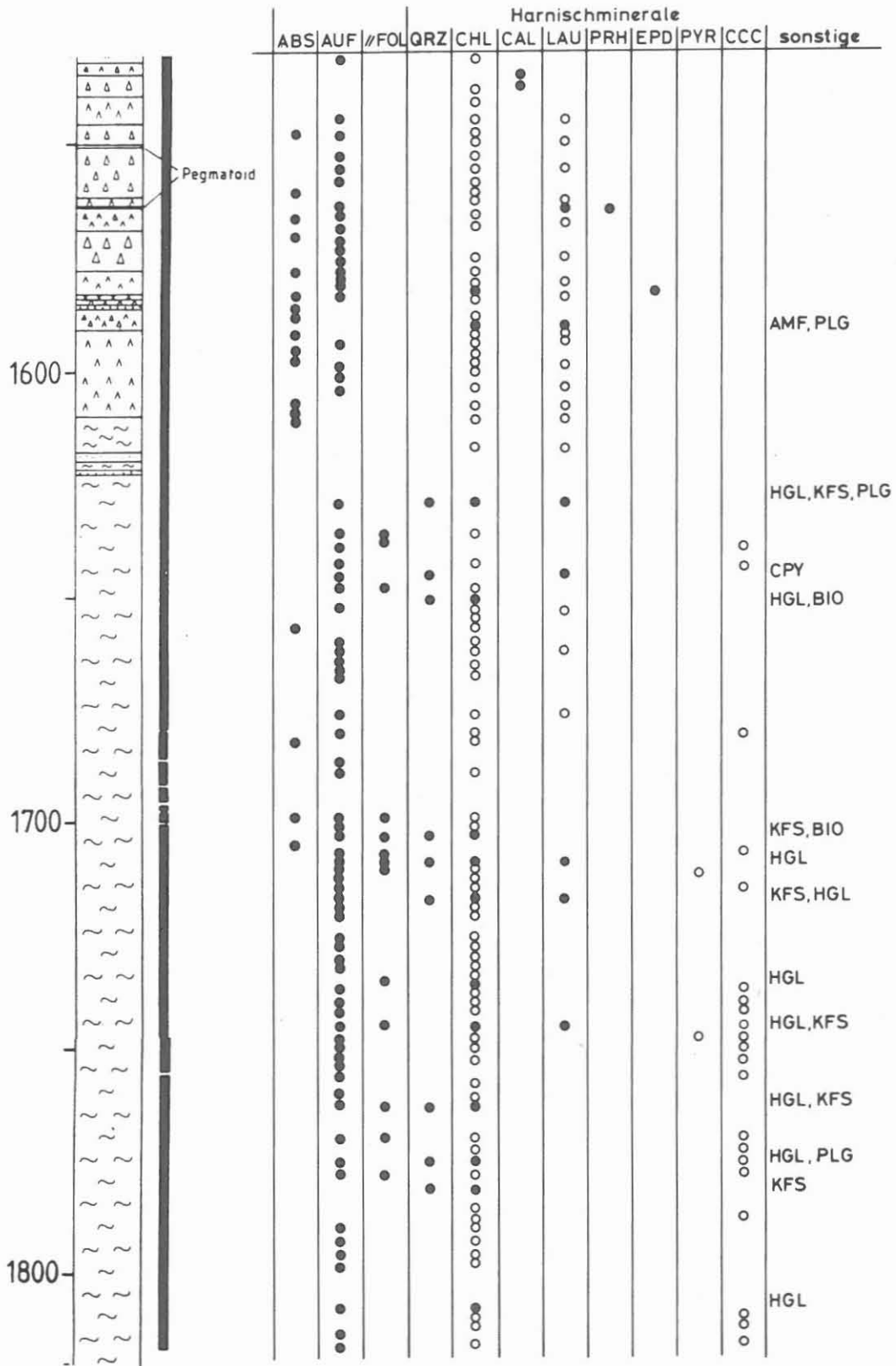
Die Verteilung der auf den Harnischflächen vorhandenen Mineralisation ist in Tab. E.2.1 bis E.2.4 dargestellt. Röntgendiffraktometrisch bestimmte Minerale wurden hierbei besonders gekennzeichnet.

Das weitaus häufigste, im Zuge der Kataklyse neugebildete Mineral ist Chlorit. Er kommt sowohl in den Metabasiten (bis 1610 m) als auch in den Paragneisen vor.

Laumontit ist vor allem in den Metabasiten vorhanden. Mit dem Einsetzen der darunter folgenden Paragneise nimmt er deutlich ab. Periodisches Auftreten von Laumontit auf den Harnischflächen resultiert vermutlich aus Variationen im Chemismus der Paragneise. Bei ca. 1942 m wurde neben postkinematischem idiomorphem Laumontit bis zu 2 mm große, braune Sphaleritkristalle als Harnischmineralisation festgestellt.

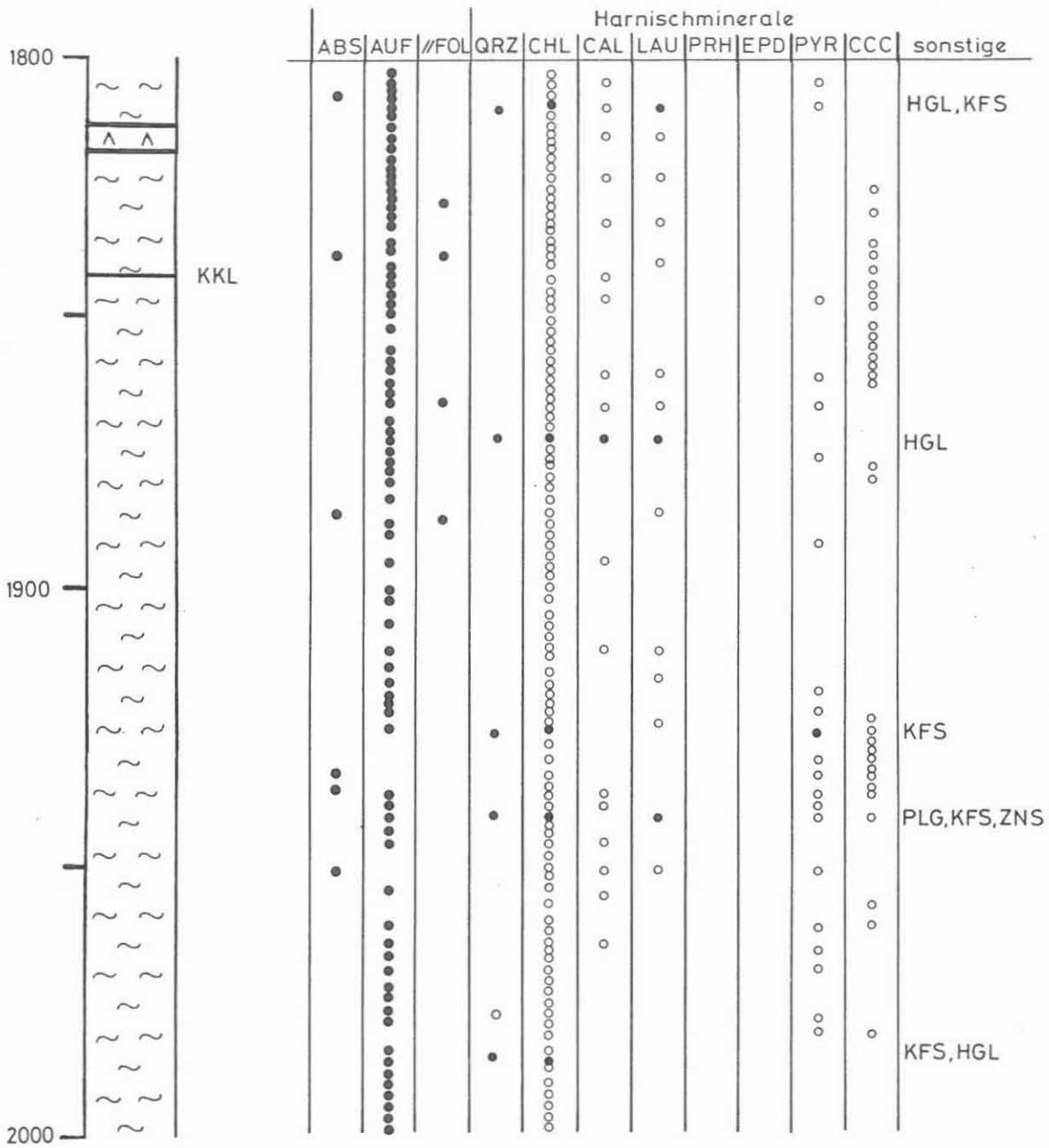
Für Calcit gilt ähnliches wie für Laumontit. Er tritt stellenweise sowohl in den Metabasiten als auch in den Paragneisen auf. Man findet ihn jedoch fast immer auf den Harnischflächen der Lamprophyre, die zwischen 2030 m und 2060 m gehäuft auftreten. An einigen Stellen wurden in Quarz-Porphyrorklasten von Graphitkataklasiten feine, bis zu 0,5 mm breite Calcitgängchen beobachtet (z.B. Kernstück 572B1d). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß unterschiedliche Kohlenstoffisotope von Graphit ($\delta^{13}\text{C} = 19.87$ PDB) und Calcit ($\delta^{13}\text{C} = -8.876$ PDB) aus einem Graphitkataklasit des obersten Teufenbereiches (Kernstück 27A2c, Teufe: ca. 195 m) zeigen, daß ein von ZULAUF et al. (1989) vermuteter genetischer Bezug zwischen Graphit und Calcit offensichtlich nicht besteht (mündl. Mitt. von Frau Dipl.-Geol. M. Lodemann, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg). Vielmehr ist davon auszugehen, daß sich Calcit vor dem Graphit - vermutlich während der initialen Bruchphase - abgeschieden hat.

Quarz kommt als Harnischmineralisation ausschließlich in den Paragneisen vor. Es ist hier nicht auszuschließen, daß sich



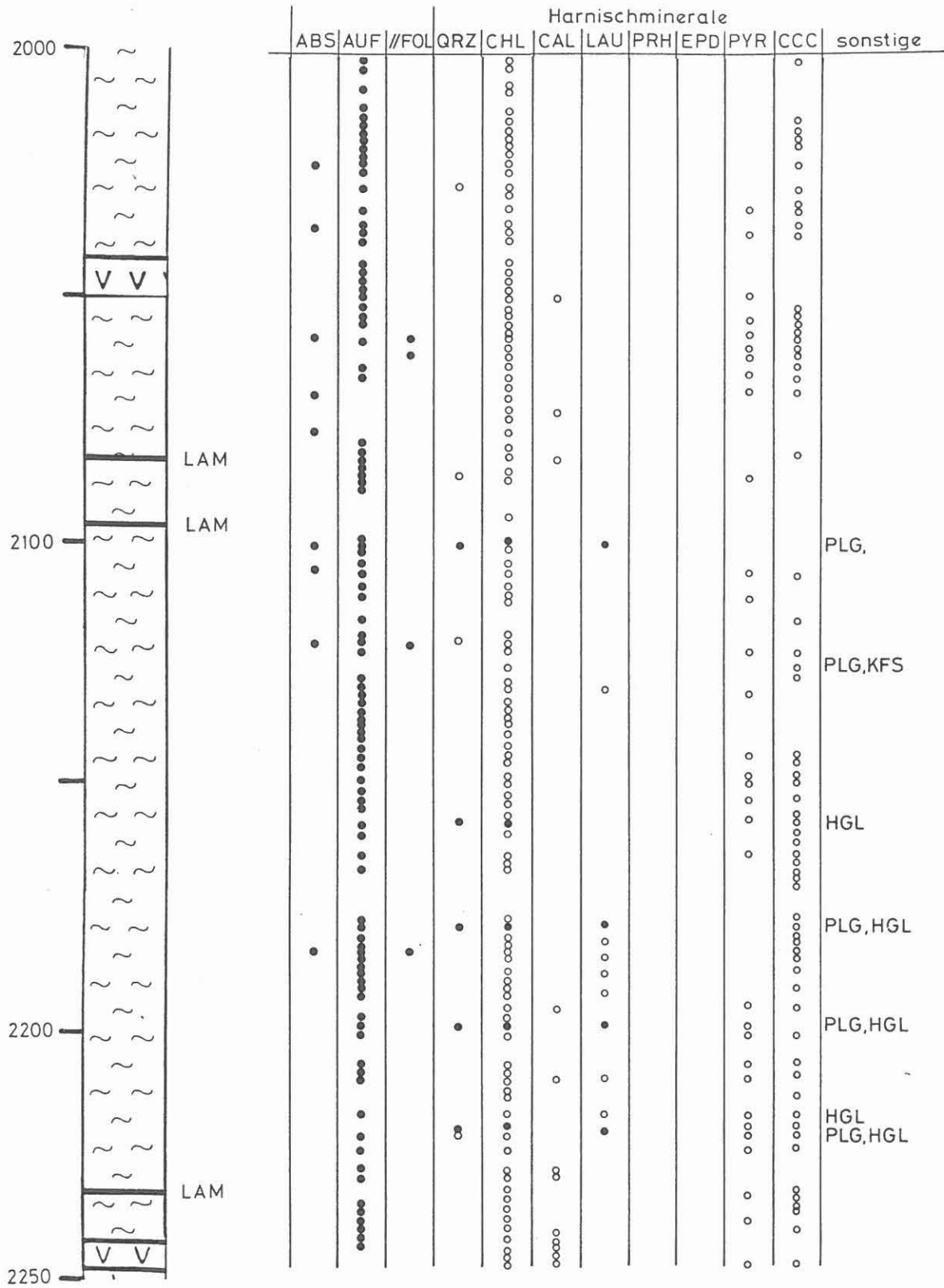
Tab. E.2.1

Tab. E.2.1-E.2.4: Teufenabhängiges Auftreten von Abschiebungen (ABS), Aufschiebungen (AUF), foliationsparallelen

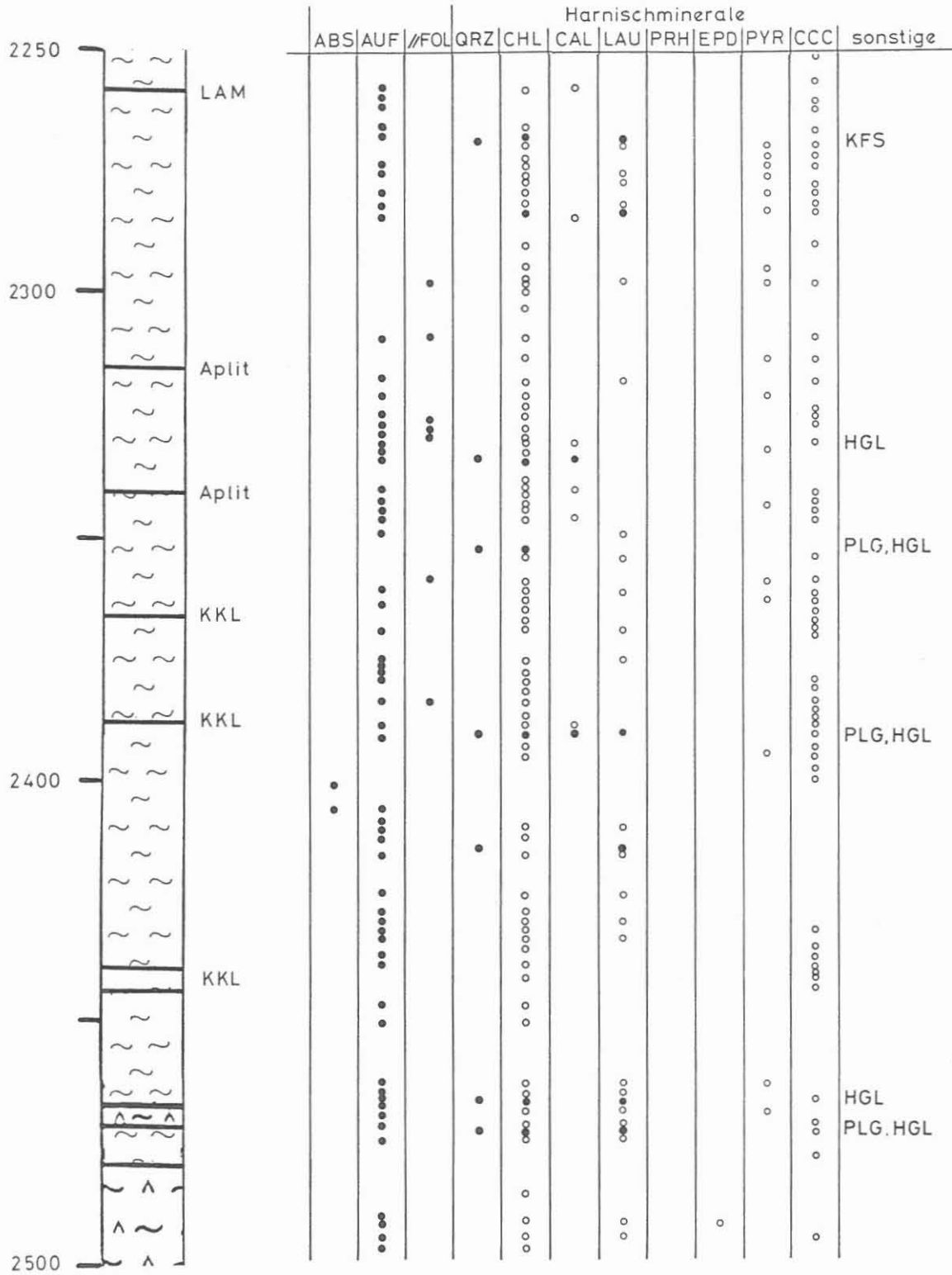


Tab. E.2.2.

Verschiebungen (// FOL) und der Harnischmineralisation. Ausgefüllte Kreise = durch RDA nachgewiesene Minerale. Offene Kreise = makroskopisch bestimmte Minerale. Lithologisches Profil nach MASSALSKY et al. (1988) und RÖHR et al. (1989). QRZ = Quarz, CHL = Chlorit, CAL = Calcit, LAU = Laumontit, PRH = Prehnit, EPD = Epidot, PYR = Pyrit, CCC = Graphit, KFS = Kalifeldspat, PLG = Plagioklas, HGL = Hellglimmer, BIO = Biotit, AMF = Amphibol, ZNS = Sphalerit. Generalisiertes lithologisches Profil nach RÖHR et al. (1989).



Tab. E.2.3



Tab. E.2.4

primär vorhandene, entlang der Störungszonen zerriebene Quarze an der Zusammensetzung des Harnischbelages beteiligen. Ähnliches gilt für die Minerale Plagioklas, Amphibol, Biotit und Hellglimmer, die mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie nachgewiesen wurden.

Selten auftretender Epidot läßt sich vor allem in Metabasiten und hornblendeführenden Gneisen feststellen. Im tiefsten Teil des Untersuchungsabschnittes (ca. 2493 m) durchschlägt ein chloritreicher Ultrakataklasit (zwischen hornblendeführendem Gneis und Amphibolit) eine epidotführende ältere Scherzone (innerhalb von hornblendeführenden Gneisen) (Abb. E.2.8.).

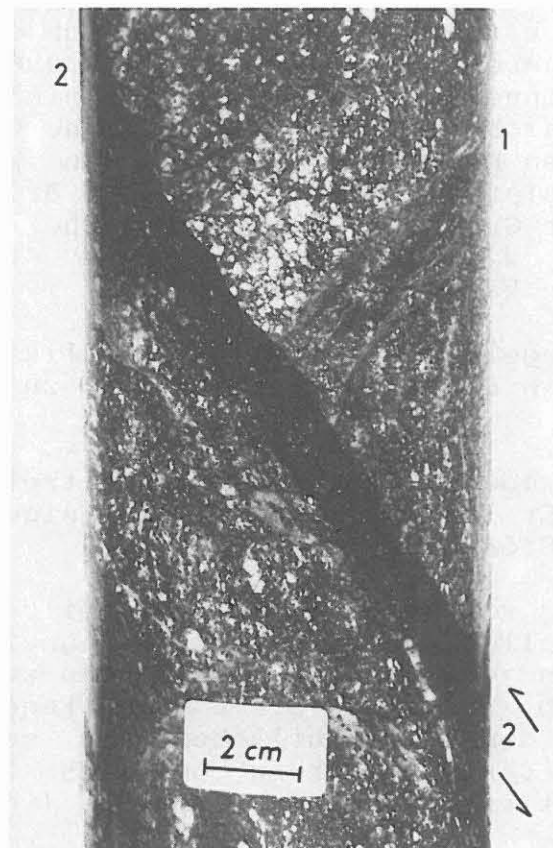


Abb. E.2.8: Eine mit Epidot mineralisierte Scherzone (1) wird von einem jüngeren, vorwiegend aus Chlorit bestehenden Ultrakataklasit (2) durchschlagen. Die zum Ultrakataklasit konjugierten Riedel-Scherflächen lassen erkennen, daß es sich hierbei um eine Aufschiebung handelt. Kst.-Nr. 609F2hk, ca. 2492 m.

Graphit, für viele der Kataklasezonen charakteristisch, läßt sich mit dem Einsetzen der Paragneise (unterhalb der Metabasite, ca. 1610 m) in zunehmendem Maße feststellen. Die spröden Scherzonen in den Metabasiten hingegen sind nicht mit Graphit mineralisiert (vgl. auch ZULAUF & KOHL 1989). Dasselbe gilt für die unmittelbar an die Metabasite angrenzenden

Paragneise, wo sich die Harnischmineralisation nach makroskopischen Gesichtspunkten ausschließlich auf Chlorit und Laumontit beschränkt. Das erste Auftreten von Graphit läßt sich - in geringen Mengen - erst bei ca. 1640 m beobachten. Intensive Graphitisierung der Störungen beginnt bei ca. 1740 m und setzt sich dann in regelmäßigen Abständen (20 m bis 50 m) bis zur Teufe von 2450 m fort. Innerhalb des bei ca. 2450 m beginnenden Komplexes aus Hornblendegneisen nimmt die Graphitisierung der Störungszonen wieder ab (vgl. Tab. E.2.4).

Relativ selten kommen foliationsparallele Verschiebungen mit geringfügiger Graphitanreicherung vor. Lediglich an einer Stelle konnte eine 1 cm breite, graphitreiche Lage beobachtet werden, die parallel zur verfalteten Foliation verläuft. Hierbei ist besonders hervorzuheben, daß sich der Graphit im Faltenscharnier angereichert hat (Kernstück 498A1b), was auf primären Graphit innerhalb der Paragneise hindeuten könnte. Andererseits läßt sich Transport und Anreicherung von Graphit während der spröden Deformation anhand von kataklastischen Quarzgängen zweifelsfrei feststellen. Die Brüche im Quarz sind intensiv mit Graphit (Spiegelharnische) belegt (z.B. Kernstück 493D2a), was nur durch sekundäre Graphitakkumulation erklärt werden kann.

Pyrit ist in der Regel an die Graphitmineralisation gebunden. Er tritt meist in Form von kleinen, bis zu 1 mm großen Körnern auf.

Kalifeldspat kommt ebenfalls auf den graphitreichen Verschiebungsflächen vor. Er läßt sich jedoch in einigen Fällen auch auf graphitfreien Störungen nachweisen.

Die Unterscheidung von primären und neugebildeten Hellglimmern ist in den hellglimmerführenden Paragneisen besonders schwierig. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß ein Großteil der in Tab. E.2.1 bis E.2.4 eingetragenen Hellglimmervorkommen auf den Harnischflächen neu gebildet wurde. Häufig beobachtete Serizitisierung von Feldspat innerhalb der Kataklasezonen unterstützt diese Vermutung (vgl. ZULAUF et al. 1989).

E.2.3. Altersabfolge der bruchhaften Gefüge

Der von ZULAUF et al. (1989) dargelegte, aus Untersuchungen bis 1500 m abgeleitete spröde Deformationspfad läßt sich im hier untersuchten Abschnitt in gleicher Weise verfolgen.

Die ältesten bruchhaften Bildungen stellen subvertikale, bis zu 2 cm breite Extensionsrisse dar, die vor allem in den Metabasiten vorkommen und hier im "crack-seal Modus" entstanden sind (Abb. E.2.9). Auffällig ist jedoch, daß sie nicht - wie im mittleren und oberen Abschnitt des Metabasitkörpers - mit Prehnit, sondern mit Quarz und Plagioklas mineralisiert sind.

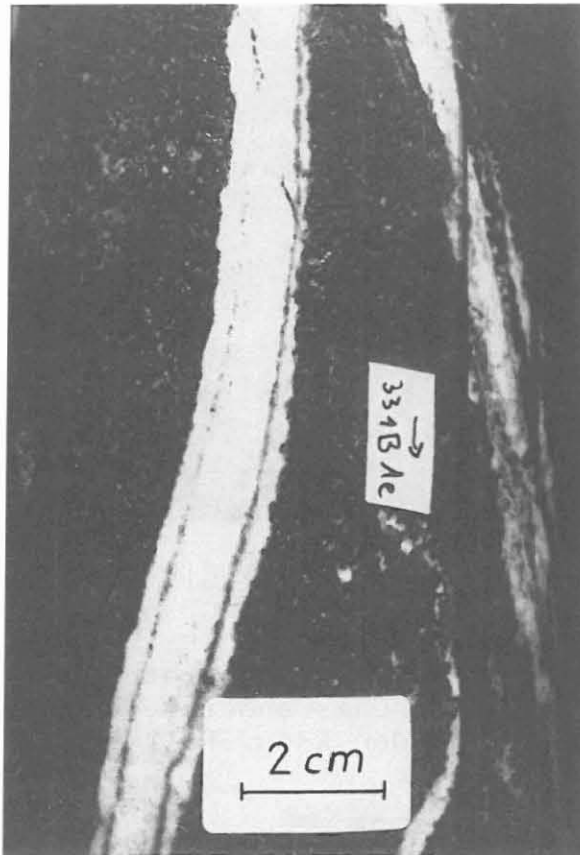


Abb. E.2.9: Subvertikal verlaufende, mit Quarz und Plagioklas im "crack-seal Modus" mineralisierte Extensionsrisse aus dem untersten Abschnitt des Metabasitkomplexes. Kst.-Nr. 331B1c, ca. 1588 m.

Die auf die Gangbildung folgende Deformationsphase führte zu aufschiebenden Katakklasezonen, die in den Paragneisen mit Graphitanreicherung einherging (Abb. E.2.10). Laterale Einengung wird überdies durch subvertikale Drucklösungssuturen angezeigt (Abb. E.2.11). Diese ältere Generation von Aufschiebungen wird vielfach von jüngeren, diskreten Aufschiebungen versetzt (Abb. E.2.12). Letztere sind meist mit Chlorit und Laumontit - nicht mit Graphit - mineralisiert. Ihre Versatzbeträge sind in der Regel gering.

Die jüngeren Aufschiebungen werden von flach einfallenden, relativ unregelmäßig verlaufenden Quarzgängen durchschlagen (Abb. E.2.13), deren meist flache Lagerung anhaltende laterale Krusteneinengung anzeigt.

Diese Gänge wiederum werden entlang diskreter Abschiebungen um wenige cm versetzt (Abb. E.2.13). An einer Stelle konnte beobachtet werden, daß ein mit Laumontit verfülltes Gängchen

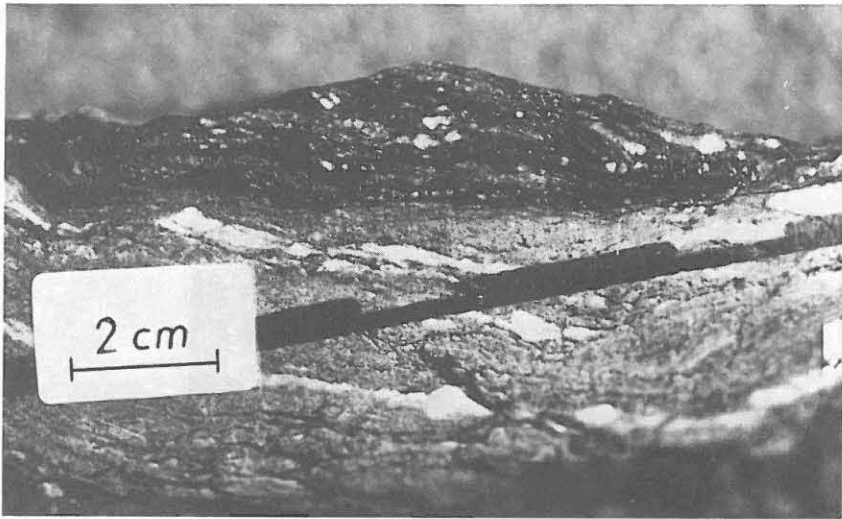


Abb. E.2.10: Graphitreicher Kataklastit in Paragneisen. Innerhalb der Kataklastosezone hat sich Graphit insbesondere auf diskreten, wenige mm breiten Zonen (Ultrakataklastiten) angereichert. Diese werden entlang diskreter Scherbänder leicht versetzt, woraus ein aufschiebender Bewegungssinn der Kataklastosezone abgeleitet werden kann. Kst.-Nr. 498Alb, ca. 2166 m.

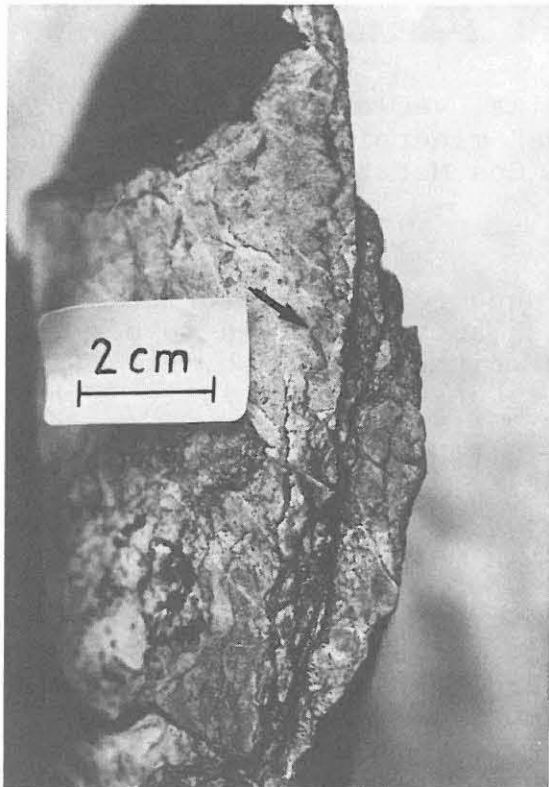


Abb. E.2.11: Subvertikale Drucklösungssuturen (siehe Pfeil) im kataklastisch deformierten Quarzmobilisat zeugen von lateraler Krusteneinengung. Kst.-Nr. 493D2a, ca. 2158 m.



Abb. E.2.12: Eine ältere, graphitführende aufschiebende Kataklysezone wird entlang einer jüngeren diskreten Aufschiebung um 1 cm versetzt. Kst.-Nr. 477A1a, ca. 2086 m.

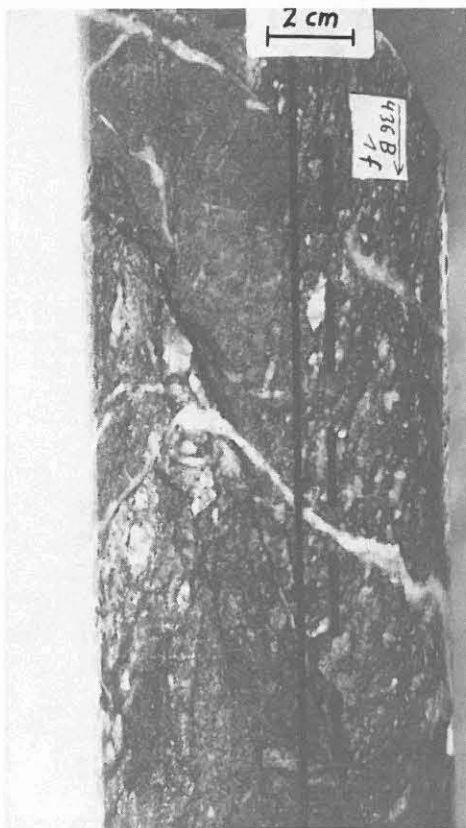


Abb. E.2.13: Eine diskrete Aufschiebung wird von einem Quarzgang durchschlagen. Man beachte die Riedel-Scherflächen welche zur Aufschiebung konjugiert sind. Der Quarzgang selbst wird entlang jüngerer Abschiebungen leicht versetzt (rechte Bildhälfte). Kst.-Nr. 436B1f, ca. 1933 m.

eine Abschiebung durchschlägt. (Abb. E.2.14). Entlang dieses Gängchens ist es ebenfalls zu einer mit geringem Versatz verbundenen Abschiebung gekommen. Da für die Bildung von Laumontit aufgrund von Apatitspaltspuren-Daten nur ein prä-Tertiäres Alter angenommen werden kann (WAGNER et al. 1988), müssen die ältesten Abschiebungen bereits vor dem Tertiär angelegt worden sein.

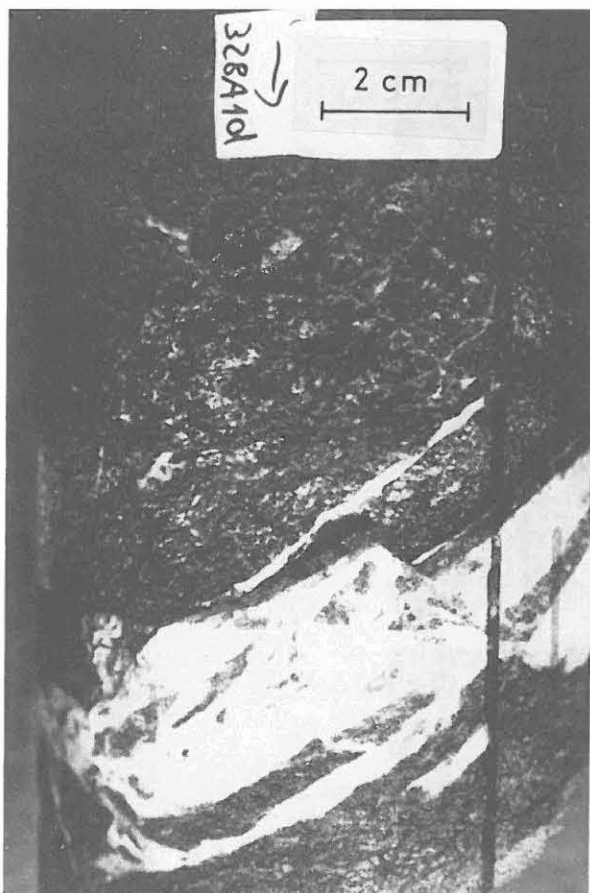


Abb. E.2.14: Ein mit Laumontit mineralisiertes Gängen wird von der diskreten Abschiebung nicht mehr versetzt. Kst.-Nr. 328A1d, ca. 1570 m.

Als jüngste bruchhafte Gefüge sind in den massigen Metabasiten subhorizontale, meist weniger als 1 mm breite Extensionsrisse festzustellen. Zum Teil liegen diese auch als diskrete Scherrisse vor, die jedoch nur einen geringen Versatz (< 1 cm) aufweisen. Sie können als Entlastungsrisse angesehen werden, die vermutlich während der jüngsten Heraushebung im Tertiär (vgl. WAGNER 1988) entstanden sind.

Neben den o.g. Auf- und Abschiebungen können, insbesondere im tiefsten Teil des Untersuchungsabschnittes, an einigen Stellen Horizontalverschiebungen beobachtet werden. Ihre relative zeitliche Einordnung ist noch nicht eindeutig geklärt. Setzt

man voraus, daß bei Mehrfachstriemungen auf graphitreichen Harnischflächen (Abb. E.2.15) die jüngere Verschiebung das mit der älteren Bewegung verknüpfte Harnischlinear überprägt, stellt sich heraus, daß die Blattverschiebungen, verbunden mit Horizontalharnischen, in der Regel jünger als Aufschiebungen oder Schrägverschiebungen sind. Überschneidungen zwischen Blattverschiebungen und Abschiebungen wurden nicht beobachtet. Es ist jedoch am wahrscheinlichsten, daß sich die Blattverschiebungen im Zeitraum zwischen der Entstehung der Auf- und Abschiebungen gebildet haben (vgl. hierzu MANDL 1988: 16)

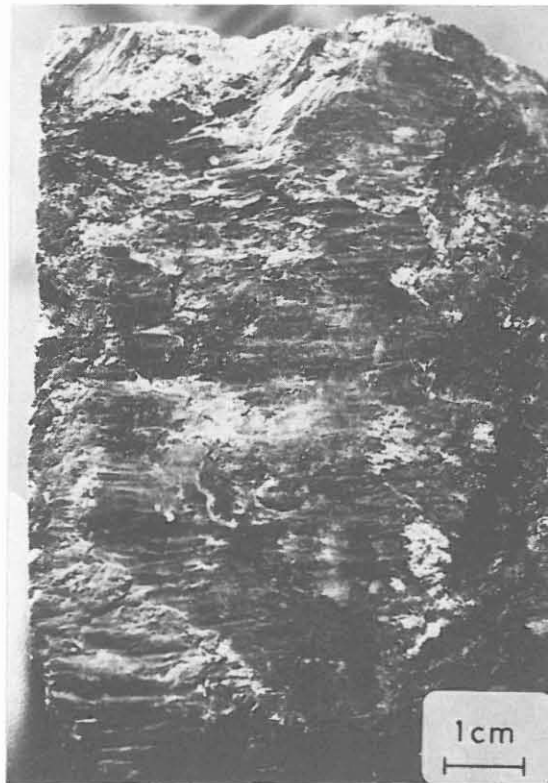


Abb. E.2.15: Eine ältere Schrägverschiebung (sichtbar an der Harnischstriemung in der oberen linken Bildecke) wird von einer jüngeren Horizontalverschiebung überprägt. Kst.-Nr. 596 Clh, ca. 2443 m. Kernachse verläuft senkrecht.

Man kann davon ausgehen, daß sie an das NW-SE verlaufende Fichtelnaab-Störungssystem geknüpft sind, da sie gewöhnlich auf steilen, mit der Foliation nach SW einfallenden Flächen vorkommen. Der Bewegungssinn kann wegen fehlender oder in beide Richtungen zeigender Stufen auf den Graphitharnischen nicht festgestellt werden.

Für die Alterseinstufung der verschiedenen Kataklysegenerationen sind die zwischen 2030 m und 2260 m vorkommenden Lamprophyre besonders relevant. Eine Reihe von Beobachtungen spricht dafür, daß die Lamprophyre von den ältesten spröden Deformationen verschont geblieben sind. So findet man weder

subvertikale Extensionsrisse noch breite, mit der "Graphitkataklase" korrelierende Verschiebungszonen in den Lamprophyren. Daß die "Graphitkataklase" vor dem Eindringen der Lamprophyre stattgefunden hat, wird zudem durch folgende Beobachtungen belegt. Man findet zum einen Fragmente von Graphitkataklasiten, die in den Lamprophyren eingeschlossen sind. Zum anderen setzen sich in den Paragneisen vorhandene diskrete Aufschiebungen - zumindest makroskopisch - nicht in die Lamprophyre fort (Abb. E.2.16).

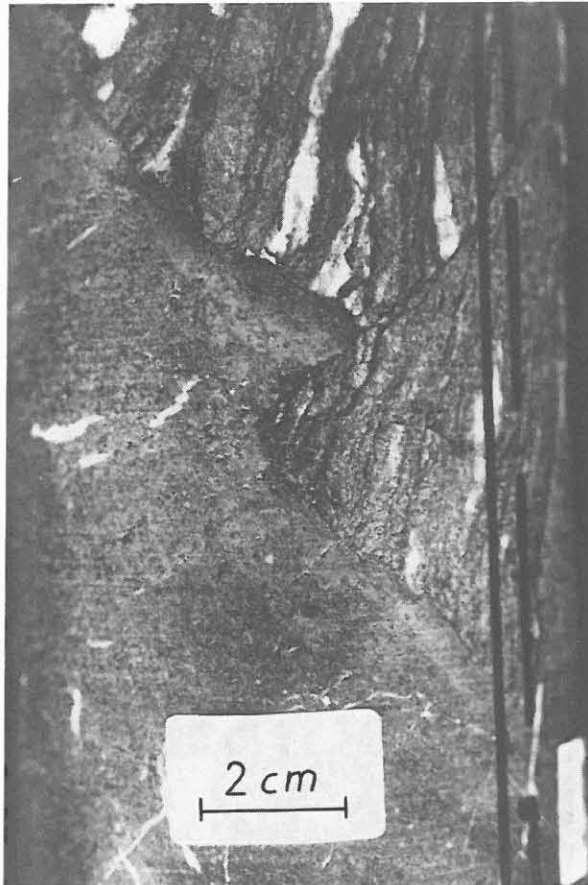


Abb. E.2.16: Eine aufschiebende diskrete Verschiebungszone setzt sich makroskopisch nicht vom Gneis (rechts oben) in den Lamprophyr (links unten) fort. Kst.-Nr. 536A1b, ca. 2257 m.

Die jüngeren (post-"graphitischen") Deformationen haben die Lamprophyre jedoch erfasst. Dies gilt vor allem für die zweite Generation von Aufschiebungen (vgl. Abb. E.2.17). Die Verschiebungsbeträge dieser jüngeren Generation scheinen in der Regel gering zu sein. Am Bohrkern konnten Versätze bis zu 10 cm festgestellt werden.

Eine exakte Altersdatierung der Lamprophyre liegt bisher nicht vor. Da die spätvariszischen Granite der Oberpfalz häufig von Lamprophyren durchschlagen werden (z.B. VOLL 1960: 347, WURM 1962: 154, FORSTER 1965: 132), sind sie offensicht-

lich jünger als die Granite. STETTNER (1981) gibt ein spätvariszisches Alter an. Dasselbe trifft für die Lamprophyre des Schwarzwaldes zu (WIMMENAUER 1967).

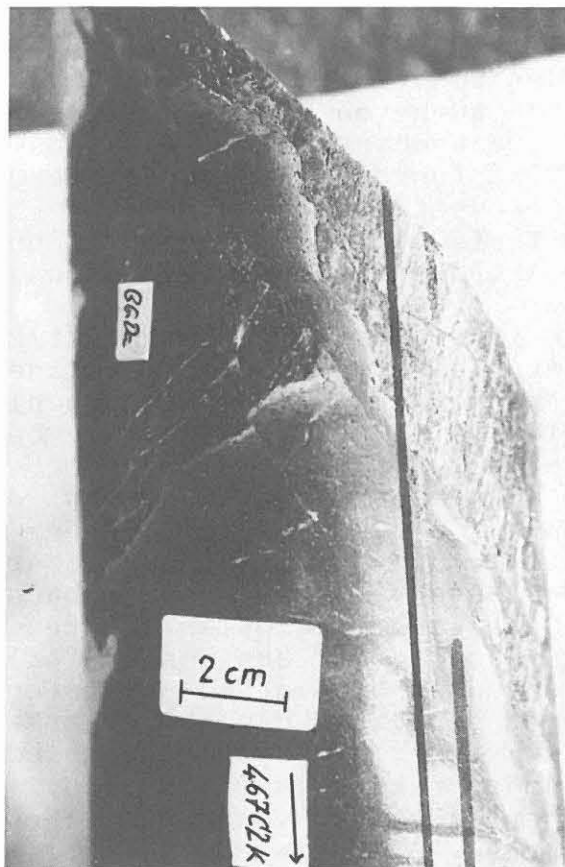


Abb. E.2.17: Der intrusive Kontakt von Paragneis und Lamprophyr ist durch eine wenige mm breite Bleichungszone im Lamprophyr gekennzeichnet. Der Kontakt wird entlang diskreter Aufschiebungen versetzt. Kst.-Nr. 467C2k, ca. 2044 m.

Die mit der "Graphitkataklase" verbundenen Störungspopulationen werden auch im Falkenberger Granit angetroffen (ZULAUF, KLEINSCHMIDT & ONCKEN 1989). Es ist somit anzunehmen, daß sich die subvertikalen Extensionsrisse sowie die erste aufschiebende, mit Graphitanreicherung verbundene Kataklase zwischen der Platznahme des Falkenberger Granits (311 +/- 4 Ma, WENDT et al. 1986) und der Intrusion der spätvariszischen Lamprophyre (? Perm) bildeten. Sie könnten also mit der von SCHRÖDER (1987) beschriebenen spätvariszischen Einengungstektonik (Stefan bis Perm) im Zusammenhang stehen.

E.3. Schlußfolgerung

Obwohl sich die Kataklase aus dem oberen Bohrabschnitt bis 2500 m in etwa gleichem Maße fortsetzt, lassen sich mit zunehmender Teufe und unterschiedlicher Lithologie deutliche

Veränderungen feststellen. Mit zunehmendem Bohrfortschritt

- nehmen die Mächtigkeiten der Kataklasten ab;
- reduziert sich der mittlere Durchmesser der Porphyroklasten;
- scheint sich die Anzahl der Abschiebungen zu verringern.

Eine Reduktion der Scherzonenmächtigkeit und der Porphyroklastengröße wird auch von ANDERSON et al. (1983) aus in tieferem Krustenniveau entstandenen Kataklastiten beschrieben. SAMMIS et al. (1986) führen die Diskretisierung der Kataklasten und die Kornverfeinerung der Porphyroklasten auf den mit zunehmender Teufe steigenden Umschließungsdruck zurück, der sich auf die Art der Mikrorissausbildung auswirken soll.

Die Frage, ob die im Grenzbereich Metabasit/Paragneis (1595 m bis 1630 m) auftretende intensive Kataklastik für den hier vorliegenden lithologischen Wechsel ausschließlich verantwortlich ist, läßt sich nicht eindeutig beantworten (vgl. auch MASSALSKY et al. 1988). Es gibt jedoch einen Hinweis, daß der Kontakt in dieser Position primär, d.h. präkataklastisch vorhanden war und später im Zuge der spröden Deformation kataklastisch überprägt wurde. Die erwähnten, nur im untersten Teil des Metabasitkomplexes beobachteten subvertikalen Gänge aus Quarz und Plagioklas könnten sich am ehesten dadurch erklären lassen, daß aus den unterlagernden quarzreichen Gneisen Lösungen bis in den untersten Teil der Metabasite aufgestiegen sind, aus denen sich sukzessive Quarz und Plagioklas in den Extensionsrissen abgeschieden haben. Da die subvertikalen Gänge präkataklastisch sind, ist ein primärer (präkataklastischer) Kontakt von Metabasiten zu Paragneisen am wahrscheinlichsten. Dieser wurde jedoch im Zuge der polyphasen spröden Deformation kataklastisch überprägt. Strain-Lokalisierung an Grenzflächen verschiedener, sich in ihrem mechanischen Verhalten unterscheidender lithologischer Einheiten ist eine häufig zu beobachtende Erscheinung in spröde deformierten Gesteinen (vgl. SIMPSON 1986, 1987).

Die unterschiedliche Raumlage der Aufschiebungen in den Metabasiten und den Paragneisen läßt sich eindeutig auf die meist steile Foliation in den Paragneisen zurückführen.

Die Graphitmineralisation ist zweifelsfrei an die Paragneise (älteste Generation von Aufschiebungen) gebunden. Eine Erklärung für dieses Phänomen steht noch aus. Zu denken wäre an eine katalytische Wirkung in den Paragneisen, welche die Ausscheidung von Graphit aus einer Gasphase begünstigte. Da die Altersstellung der vermutlich spätvariszischen (postgranitischen) Lamprophyre für die chronologische Einstufung der Kataklastitgenerationen von besonderem Interesse ist, wäre eine absolute Altersdatierung wünschenswert.

E.4. Schriftenverzeichnis

- ANDERSON, J.L., OSBORNE, R.H. & PALMER, D.F. (1983): Cataclastic rocks of the San Gabriel fault: An expression of deformation at deeper levels in the San Andreas fault zone. - *Tectonophysics*, **98**: 209-251.
- DONATH, F.A. (1961): Experimental study of shear failure in anisotropic rocks. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **72**: 985-990.
- FORSTER, A. (1965): Erl. geol. Kt. Bayern, Blatt 6340/6341 Vohenstrauß/Frankenreuth. - 174 S.; München.
- KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G. & HACKER, W. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m. - *KTB Report*, **88-6**: B1-B88.
- MANDL, G. (1988): Mechanics of tectonic faulting, models and basic concepts. - 407 S. (Elsevier).
- 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.
- PRICE, N.J. (1981): Fault and joint-development in brittle and semi-brittle rock. - 176 S.; New York (Pergamon Press).
- RÖHR, C., HACKER, W., KEYSSNER, S., KOHL, J. & MÜLLER, H. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m: *B. Geologie*. - *KTB Report* **89-2**: B1-B114.
- SAMMIS, C.G., OSBORNE, R.H., ANDERSON, J.L., MAVONWE, B. & WHITE, P. (1986): Self-similar cataclasis in the formation of fault gouge. - *Pure Applied Geophys.*, **124**: 53-78.
- SCHRÖDER, B. (1987): Inversion tectonics along the western margin of the Bohemian Massif. - *Tectonophysics*, **137**: 93-100.
- SIMPSON, C. (1986): Fabric development in brittle- to ductile shear-zones. - *Pure Applied Geophys.*, **124**: 269-288.
- SIMPSON, C. (1987): Exhumed fault zones: the role of fractures in ductile deformation. - *EOS*, **68/44**: 1472.
- STETTNER, G. (1981): Grundgebirge. Plutonite und Ganggesteine der variskischen Ära, in: Erl. zur geol. Kt. v. Bayern 1:500000, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt; München.
- VOLL, G. (1960): Stoff, Bau und Alter in der Grenzzone Moldanubikum/Saxothuringikum in Bayern unter besonderer Berücksichtigung gabbroider, amphibolitischer und kalksilikatführender Gesteine. - *Beih. Geol. Jb.*, **42**, 382 S.; Hannover.
- WAGNER, G.A. (1988): Apatit-Spaltspur-Datierung des mitteleuropäischen Grundgebirges: postvariscische thermotektonische Entwicklung. - *KTB Report*, **88-10**: 137-140.

- de WALL, H. & ZULAUF, G. (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Die bruchhaften Verformungsgefüge im Teufenbereich 0 bis 992 m. - KTB Report 88-2: E1-E19.
- WENDT, I., KREUZER, H., MÜLLER, P. & SCHMID, H. (1986): Gesamtgesteins- und Mineraldatierungen des Falkenberger Granits. - Geol. Jb., E 34: 5-66; Hannover.
- WIMMENAUER, W. (1967): Die Lamprophyre des Schwarzwaldes. - Fortschr. Mineral., 50 Beih. 2: 34-37.
- WURM, A. (1962): Frankenwald, Fichtelgebirge und Nördlicher Oberpfälzer Wald. - Sammlung Geol. Führer, 41, 184 S. (Borntträger).
- ZULAUF, G., BEHR, H.-J., HACKER, W., KOHL, J., KLEINSCHMIDT, G., ONCKEN, O. & de WALL, H. (1989): Die Kataklyse in den Gesteinen der KTB-Vorbohrung. - KTB Report (im Druck).
- ZULAUF, G., KLEINSCHMIDT, G. & ONCKEN, O. (1989): Faults and cataclasis in the close neighborhood of the KTB-drillhole. - KTB Report (im Druck).
- ZULAUF, G. & KOHL, J. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530 m. - KTB Report 89-2: E1-E14.

E.5. Danksagung

Der Arbeitsgruppe Geochemie im KTB Feldlabor danke ich für die röntgendiffraktometrische Bestimmung der Harnischmineralisation.

Der Arbeitsgruppe Geologie/Petrologie im KTB Feldlabor danke ich für die Überlassung von Messdaten aus dem Teufenabschnitt von 1800 bis 2160 m sowie für kritische Anmerkungen.

Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (A.Z.: Kl 429/7-1) unterstützt, wofür ich mich ebenfalls bedanke.