

3. Petrographie

3.1 Überblick und Methodik

Auf den ersten 480 m der Vorbohrung wurde eine steillagernde Metabasit-Metapelit-Wechselfolge durchteuft.

Die Metabasite liegen in Amphibolitfazies (Hornblende + Plagioklas) vor und sind unterschiedlich stark retrograd überprägt (Albit, Chlorit, Klinozoisit/Epidot, Karbonat, Prehnit). Kalksilikatische Lagen (Klinopyroxen + Plagioklas + Titanit) sind stellenweise in geringer Mächtigkeit (mm - cm) im Amphibolit eingeschaltet. Kalifeldspat bildet häufig einen bemerkenswerten Nebengemengteil.

Die klastischen Metasedimente liegen im obersten Teufenbereich als weitgehend chloritisierte Biotit-Gneise, zwischen 150 und 451 m als granat- und/oder hornblendeführende Biotit-Plagioklas-Gneise und von 363 - 378 m sowie ab 460 m als Disthen-Sillimanit-Granat-Biotit-Gneise vor. In den granat- oder hornblendeführenden Gneisen tritt auch Kalifeldspat als Hauptgemengteil auf, während er in den Gneisen mit Al_2SiO_5 -Mineralen nur winzige Körnchen bildet. Allerdings ist er dort mitunter Bestandteil der hellen Mobilisatlinsen. Muskovit kann nur stellenweise und unter Vorbehalt als primär zur Paragenese gehörig angesprochen werden. Hornblendeführende Gneise leiten ohne scharfe Grenze zu Amphiboliten über. Unterschiedlich starke und auf engem Raum rasch wechselnde, retrograde Überprägung führt zur Neubildung von Sericit/Muskovit und Chlorit.

Aplitgranitische und lamprophyrartige Ganggesteine durchschlagen die Metamorphite mehrfach im Bereich zwischen 60 und 115 m.

Die Art des Kontaktes zwischen zwei lithologischen Einheiten ist sehr häufig unbekannt, da die Grenzen in Zonen mit Kernverlust fallen. Ganz vereinzelt konnten jedoch konkordante und diskordante Kontakte im Kern beobachtet werden (Abb. 6).

Im Folgenden wird eine kurze, petrographische Charakterisierung der unterschiedlichen Typen gegeben. Sie beruht auf der makroskopischen Aufnahme und der Untersuchung von ca. 100 Dünnschliffen. Das Schliffmaterial stammt, wie in der Einleitung erläutert, ausschließlich aus dem durch den Bohrvorgang zerbrochenen Bohrkernmaterial. Es ist deshalb nicht in jeder Hinsicht repräsentativ. Zu fast jedem Schliff gibt es eine quantitative Modalanalyse (Röntgen-Diffraktometrie-Analyse, RDA) und eine chemische Analyse der Haupt- und Spurenelemente (Röntgen-Fluoreszenz-Analyse, RFA). Die Probenpunkte sind im geologischen Profil 1 : 200 im Anhang verzeichnet.

Zum besseren Verständnis der angegebenen Kernstückbezeichnungen (z.B. 22A1cT) folgende Erläuterung:



a



b

Abb. 6: Abwicklung (a) und Makroaufnahme (b) der Kernstücke 68B7a,b: diskordanter Kontakt zwischen Granat-Biotit-Gneis (rechts unten im Bild) zu Amphibolit mit Kalksilikat-Bändchen, getrennt durch helles Mobilisatband mit Biotitflasern

22 ist die Kernmarschnummer - ein Kernmarsch (KM) ist ein maximal 9 m langer Bohrkern, der in einem Arbeitsgang abgebohrt und gezogen wird -, A kennzeichnet die Sektion, d.h. die Kiste, in der der Kernmarschteil verpackt ist. 1c kennzeichnet das eigentliche Kernstück und T zeigt an, daß es stark zerbrochen ist ('Trümmer'); eine detailliertere Beschreibung des Kennzeichnungsprinzips ist im Anhang beigelegt.

3.2 Detailbeschreibung der Amphibolite

3.2.1 Heller, feingestreifter Amphibolit (81 - 168 m)

(Schliffe 10A1R, 11A4, 12A2T, 12B2T, 12C3T, 14A5T, 14B4T, 14C2T, 15A3T, 15A5T, 16A3T, 16A6T, 17B3T, 18A7T, 18B2T, 19B2c, 19B3T, 22A1bT, 22A1cT)

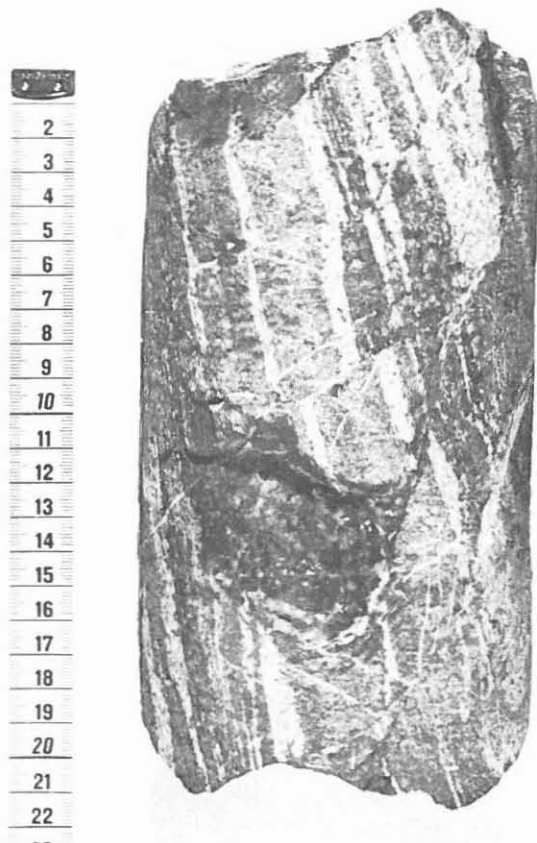
Das makroskopisch dunkelgrüne, meist massige Gestein ist im Dünnschliff straff und fein (1 mm) gestreift, feinkörnig (0.1 - 0.3 mm) und zeigt ein grano-nematoblastisches Gefüge. Die Hornblende ist bis auf einen kurzen Abschnitt bei 115 m (14B4T) völlig zu Chlorit (mit Karbonat- und Titanitkrümeln) alteriert. Der Plagioklas ist meist sericitisiert, teils zu größeren Hellglimmer-Aggregaten umgewandelt, teils aber auch fleckig dunkelbraun bis fast opak getrübt. Der Plagioklas in den völlig chloritisierten Amphiboliten ist Albit, im Abschnitt mit frischer Hornblende Oligoklas (U-Tisch Messungen nach RITTMANN). Epidot und Titanit sind reichlich vertreten. Kalifeldspat ist wie alle Hauptminerale lagenweise angereichert, höchstens schwach getrübt und zeigt teilweise Mikroklingitterung. Gesteine mit zusätzlich völlig chloritisiertem Biotit und höheren Quarzgehalten (KM 10-11) vermitteln zu gneisigen Typen. Apatit bildet als Einzelkörner oder Kornreihen einen konstanten Bestandteil. Quarz, Biotit (völlig chloritisiert) und opake Minerale treten stellenweise in geringen Gehalten auf. Der bei 120 m in die Matrix eingesprengte feinkörnige Magnetit verdient besondere Beachtung. Er tritt in einem epidotreichen Amphibolit auf, der durch rosa-farbene, konkordante, mm-mächtige Calcitbänder markant gekennzeichnet ist (Abb. 7). Da kurz darunter bei 130 m der Marmor folgt, könnte es sich hierbei um primäre Karbonatbändchen handeln.

Der Amphibolit wird generell stark von Calcitgängen durchschlagen und infiltriert. Die modale Zusammensetzung der Hauptminerale dieses Abschnitts ergibt sich durchschnittlich nach quantitativer RDA (Röntgen-Diffraktometer-Analyse) in Gew.-% zu:

Hornblende (bzw. Chlorit)	20
Plagioklas	25
Epidot	15
Titanit	5
Kalifeldspat	15
Karbonat	20



b



a

Abb. 7: Magnetitführender Amphibolit mit rosafarbenen, konkordanten Karbonatlagen und weißen, diskordanten Calcitklüftchen; Abwicklung (a) und Makroaufnahme (b) von Kernstück 14B3

Eliminiert man sekundäres (?) Karbonat und Kalifeldspat, der wahrscheinlich erst später in den Amphibolit eindrang und zählt den Epidot zum Plagioklas, zeigt sich die für Amphibolite charakteristische Paragenese deutlicher:

Hornblende	35
Plagioklas	60
Titanit	5

3.2.2 Amphibolit (171 - 192 m)

(Schliffe 24A2T, 24B3T, 24J2T, 25A4T, 26F3T, 27B2T)

Die deutlich gröber körnigen (0.5 mm) Amphibolite sind nicht so straff und fein (2-3 mm) gestreift wie der unter 3.2.1 beschriebene Amphibolit. Die Hornblende ist hier nur mehr zum Teil chloritisiert. Der Plagioklas ist sericitisiert und zeigt teilweise eine braune, fast opake Trübung (vermutlich sehr feinkörniger Epidot/Klinozoisit). Auffällig sind einige bis 5 mm große Granatblasten, die auch teilweise chloritisiert werden. Titanit wird bis 2 mm groß und zeigt in einem völlig chloritisierten Teil dieser Einheit eine symplektitähnliche Verwachsung mit Opakmineralen (teilweise Leukoxen). Etwas Biotit (chloritisiert) und Apatit vervollständigen den Mineralbestand. Das Gestein ist sekundär auf Rissen von Calcit infiltriert.

Der durchschnittliche Mineralbestand in Gew.-% ist:

Hornblende (Chlorit)	45
Plagioklas	30
Calcit	20
Kalifeldspat	5

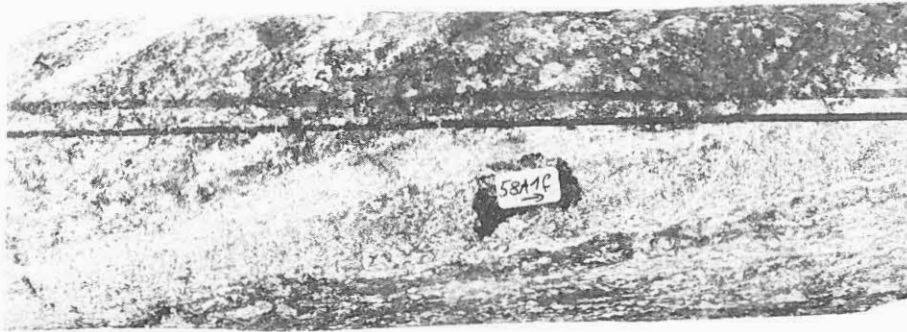
Ohne Calcit und Kalifeldspat:

Hornblende	60
Plagioklas	40

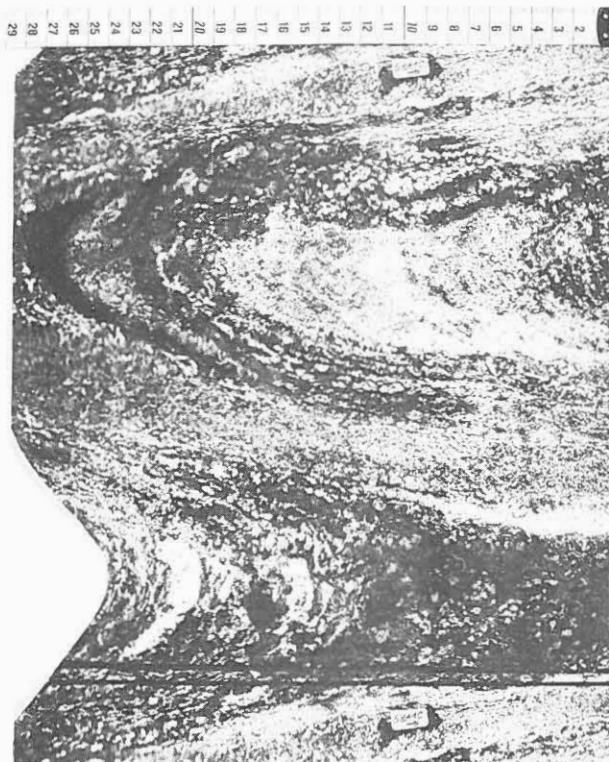
3.2.3 Amphibolit, stellenweise granatreich oder mit Kalksilikatlagen (212 - 424 m)

(Schliffe 38A8T, 39B8T, 41E2T, 42C3T, 44D5T, 48E1d, 49I22bT, 49K26T, 50D14T, 51B4T, 54B6T, 54E10T, 56A3T, 56B12T, 57C4T, 58C1qT, 59B6d, 60C1T, 61A2cT, 62A2T)

Das Gestein ist makroskopisch oft hell-dunkel streifig, stellenweise auch massig. Die meist cm-mächtigen, hellgrünen Kalksilikatbereiche liegen sowohl als konkordante Lagen (Abb. 8) (teilweise boudiniert, vgl. Abb. 11) als auch als unregelmäßig begrenzte Linsen vor. Öfters sind die Kalksilikatlagen reich an Magnetkies, manchmal fällt in der Mitte einer Lage ein Granatband auf.



a



b

Abb. 8: helle Kalksilikat-Lage (a), schräg von links unten nach rechts oben verlaufend) in feinlagigem granatführendem Amphibolit; Makroaufnahme (a) und Abwicklung (b) von Kernstück 58A1f

Unter dem Mikroskop sind in den vorwiegenden amphibolitischen Partien olivgrüne, selten braune Hornblende und Plagioklas die Hauptgemengteile. Die Hornblende (0.5 - 1 mm) ist stellenweise chloritisiert. Plagioklas tritt in den im ganzen Profil verbreiteten Frischegraden auf (frisch - sericitisiert - schwarzbraun getrübt) und ist oft deutlich invers zoniert: Der Kern hat einen An-Gehalt von 10 Gew.-%, der sich zum Rand hin kontinuierlich auf 20 Gew.-% erhöht (U-Tisch-Messungen). Granat fehlt selten, stellenweise ist er stark angereichert (max. 15 Gew.-%, dann Granatamphibolit). Er bildet fast nie gemeinsame Korngrenzen mit Hornblende, da er von einem Saum aus Plagioklas (oft sericitisiert), teilweise zusammen mit Biotit und kleinen, idiomorphen Hornblendes, ummantelt wird (Abb. 9). Einzelne Granate fallen einerseits durch Titanit-, andererseits durch Rutileinschlüsse auf. Titanit ist oft in beträchtlicher Menge (2 - 10 Gew.-%) in Form länglicher, hypidiomorpher Körner vorhanden oder symplektitisch mit Opakmineralen verwachsen. Biotit tritt öfters in geringen Gehalten (um 1 Gew.-%), stellenweise aber auch häufiger auf. Solche Gesteine leiten bei erhöhtem Quarzgehalt zu Gneisen über. Biotit zeigt oft noch seine braune Farbe. Eine retrograde Umwandlung in Chlorit, spindelförmigen Muskovit und Titanminerale ist in Ansätzen immer zu erkennen, teilweise aber vollständig abgelaufen. Der Gehalt an Opakmineralen wechselt zwischen 0 - 5 Gew.-%. Klinozoisit ist örtlich in Lagen angereichert. Prehnit bildet gern Säume um Opakminerale. Kalifeldspat wird stets durch die RDA nachgewiesen, läßt sich im Schliff aber manchmal nur schwer von unverzwilligtem Plagioklas unterscheiden. Quarz und Apatit treten immer wieder als Einzelkörner oder kleinere Aggregate in geringen Konzentrationen (bis 5 Gew.-%) auf. Als geringmächtige Lagen, Schlieren oder Linsen sind kalksilikatische Partien im Amphibolit zu beobachten (Abb. 10). Farbloser Klinopyroxen, der öfters polysynthetisch verzwilligt ist, kennzeichnet zusammen mit Plagioklas und Titanit diese helleren Bereiche. Opakminerale, Karbonatpoikiloblasten mit Klinozoisit/Epidot (bis zu 5 mm) treten örtlich hinzu. Calcit und Prehnit bilden einzeln und zusammen mm-mächtige Gängchen, die das Gestein durchschlagen und entlang dieser Gängchen das Nebengestein infiltrieren.

3.2.4 Amphibolit mit hellen Mobilisaten und Kalksilikat-Lagen (424 - 460 m)

(Schliffe 63A2T, 64B8T, 64E17dT, 68D7c, 68I13T)

Makroskopisch macht dieser Amphibolit durch oft reichlich vorhandene, helle Mobilisatfasern einen migmatitischen Eindruck. Die hellgrünen Kalksilikatlagen führen häufig Granat im zentralen Bereich der Lage (Abb. 11).

Unter dem Mikroskop ist das Auftreten von hellgrüner und olivfarbener Hornblende, weißen Mobilisatlinsen aus getrübttem Plagioklas und Kalksilikatlagen (Klinopyroxen + Plagioklas + Titanit) kennzeichnend. Granat, Titanit und Opakminerale sind immer vorhanden. Bereiche mit klarem, unverzwilligtem Plagioklas sowie großen,

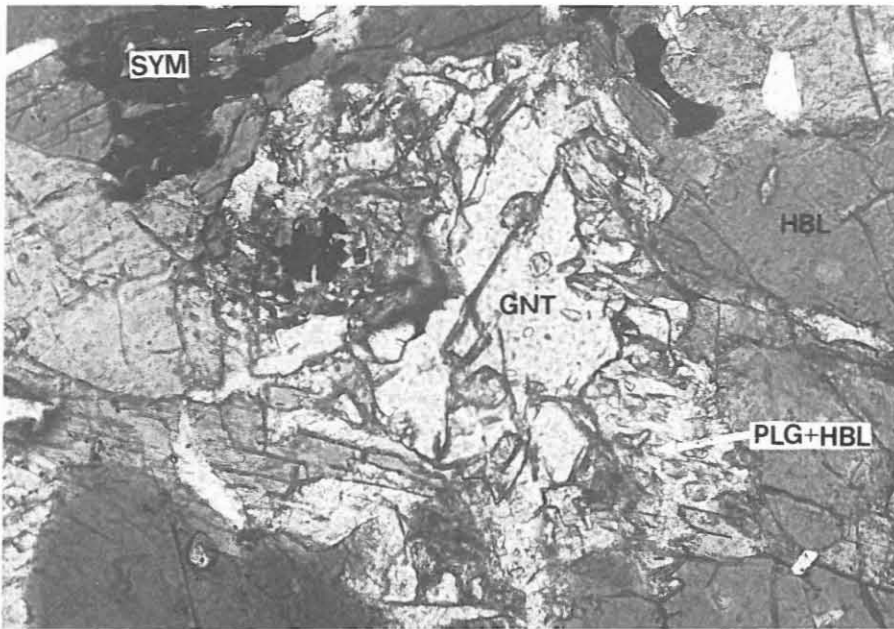


Abb. 9: Instabiler Granat mit Plagioklas-Hornblende-Saum im Amphibolit; GNT = Granat, HBL = Hornblende, PLG = Plagioklas, SYM = Titanit-Opakmineral-Symplektit. (Schliff 54E10T, ohne Analysator, 100-fach)

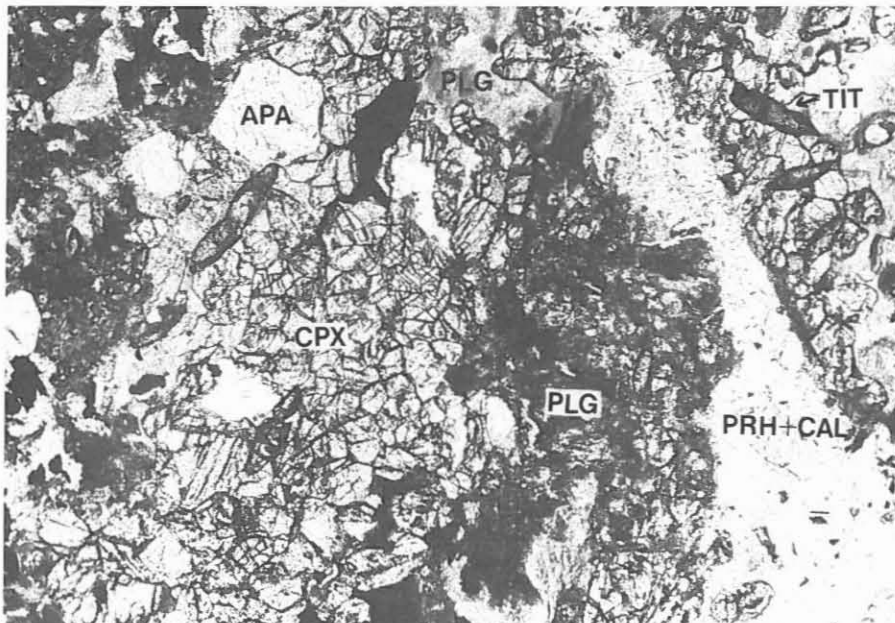


Abb. 10: Kalksilikatische Partie aus Amphibolit mit verschieden alteriertem Plagioklas (oben sericitisiert, in der Mitte mit viel Klinozoisit), körnigem Klinopyroxen und Prehnit-Calcit-Gängchen; APA = Apatit, TIT = Titanit, PLG = Plagioklas, PRH = Prehnit, CAL = Calcit (Schliff 48E1d, ohne Analysator, 45-fach)

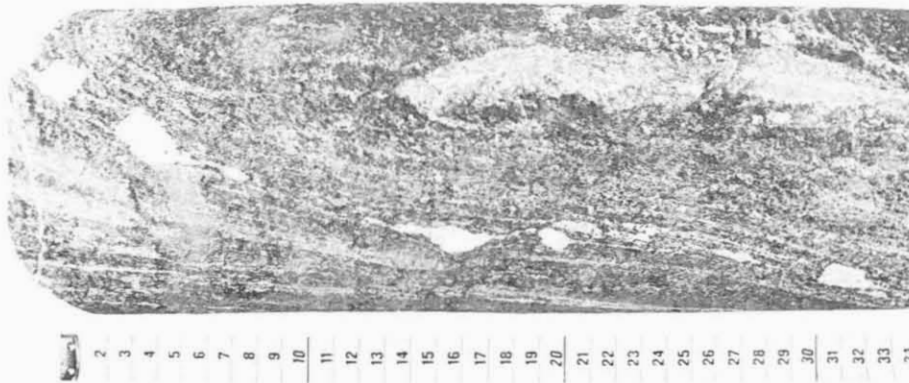


Abb. 11: Feinlagiger Amphibolit mit boudinierter Mobilisatlage (untere Bildhälfte) und Kalksilikat-Linse (rechts oben); Makroaufnahme von Kernstück 68F8n.

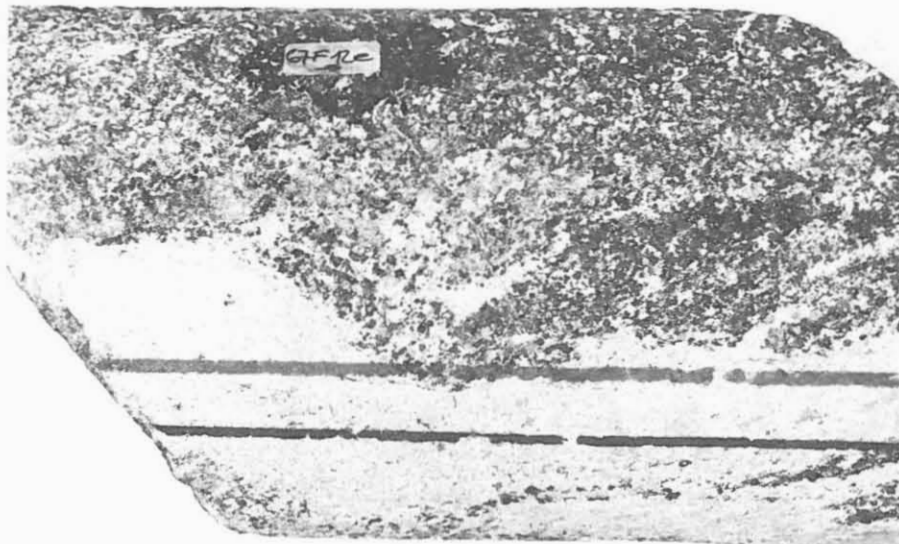


Abb. 12: Amphibolit mit idiomorpher Hornblende und hellem Mobilisatband; Makroaufnahme von Kernstück 67F12e; Etikettlänge = 16 mm.

klaren, idiomorphen Klinozoisit- und Hornblende-Kristallen sind einzig im bisherigen Lithoprofil (Abb. 12 und 13). Bei der feinnadeligen, hellgrünen Hornblende handelt es sich vermutlich um retrograd gebildete aktinolithische Hornblende. Entlang mm-dünner Quarzmobilisat-Lagen dringt Quarz ins Nebengestein vor. Prehnit tritt mit etwas Karbonat als Kluftfüllung auf, bildet aber auch wieder gerne Säume um Opakminerale. Aufgrund unterschiedlich großer Anteile der Mobilisate und der Kalksilikatlagen zeigen die Modalanalysen dieser Amphibolite stark schwankende Gehalte.

Schwankungsbereich des Mineralbestandes:

Quarz	0 - 9
Kalifeldspat	0 - 7
Plagioklas	15 - 20
Hornblende	7 - 60
Granat	0 - 10
Klinopyroxen	0 - 33
Klinozoisit/Epidot	0 - 25

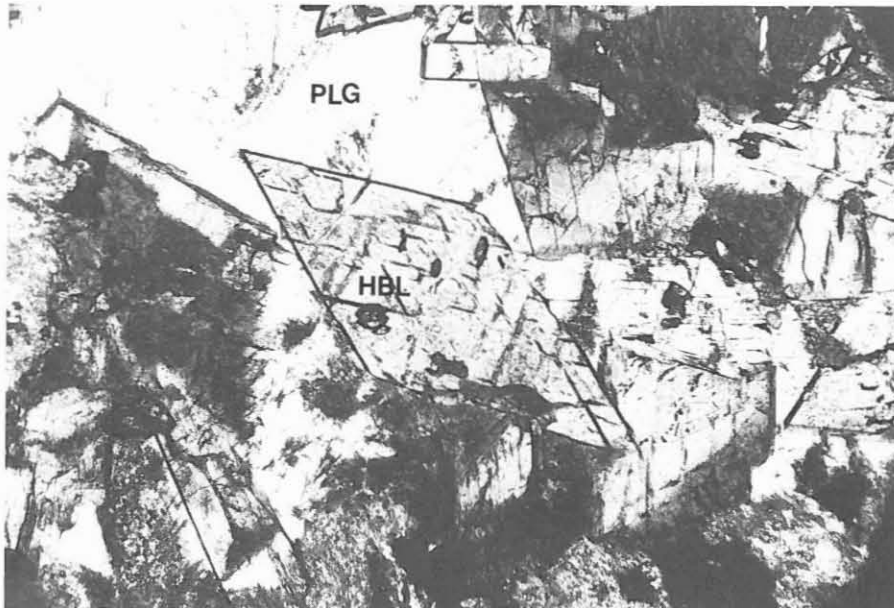


Abb. 13: Idiomorphe Hornblende mit Titanit-Einschlüssen und fast frischem Plagioklas. Aus einem Amphibolit mit hellen Mobilisaten; HBL = Hornblende, PLG = Plagioklas (Schliff 64E17dT, ohne Analysator, 30-fach)

3.3 Detailbeschreibung der Biotit-Gneise (0 bis 451 m)

Diese Gneise unterscheiden sich von den nachfolgenden metapelitischen Gneisen durch das nahezu vollständige Fehlen von Al_2SiO_5 -Mineralen, die intensive Wechsellagerung mit Amphiboliten und bereichsweise Hornblendeführung.

3.3.1 (Muskovit)-Biotit-Plagioklas-Gneis (0 - 40 m)

(Schliffe 2I, 2II, 2III)

Von diesem Gneistyp (0 - 39.5 m) liegt kein Kernmaterial vor. In den Cuttings ist von 0 bis 14 m frischer Biotit neben Muskovit zu erkennen. Darunter ist der Biotit chloritisiert. Bei 36 m wurden einige nußgroße Gesteinsbruchstücke ausgespült, die aus dem Bereich von 27.5 bis 36 m stammen.

In diesen ist mikroskopisch ein feinkörniges, ehemals straffes Gneisgefüge mit quarzreichen Lagen oder Adern zu erkennen, das intensiv kataklastisch überprägt und von Karbonatadern durchtränkt ist. Biotit ist völlig chloritisiert unter Ausscheidung von Leukoxen und teilweise von Hellglimmer verdrängt, dessen niedrige Interferenzfarben und kleiner Achsenwinkel Hydromuskovit vermuten lassen. Vereinzelt findet man in ihm noch pleochroitische Höfe um Zirkon. Foliationsparallel ist eine Muskovitblastese zu beobachten, wobei nicht ohne weiteres entschieden werden kann, ob es sich um eine primäre Phase handelt. Untergeordnet tritt Mikroklin auf. Die Kataklastose ist lokal von einer Pyritbildung begleitet; in der Matrix finden sich faserig-nadelige Opakminerale.

3.3.2 Granat-führender Biotit-Kalifeldspat-Gneis (162 - 250 m)

(Schliffe 23A6T, 23A7T, 33A3T, 34A1T, 37B3T, 38A1T)

Die makroskopisch meist feinkörnig-feinlagigen Gesteine sind lokal von einer grobblastischen, lagigen bis schlierigen Sprossung von rosafarbenen Kalifeldspäten betroffen (Abb. 14). Die Granatführung ist unterschiedlich; örtlich treten die auffällig dunkelrosten Minerale gehäuft auf.

Mikroskopisch ist das meist feinkörnige, z.T. ungleichkörnige Gefüge, das von granoblastischen Quarz-Feldspat-Verwachsungen geprägt wird, durch auffällige Kalifeldspat- und Plagioklas-Großkristalle aufgelockert. Quarz tritt in ausgelängten, buchtigen Körnern auf. In kataklastisch überprägten Partien tritt im Quarz Subkornzerfall und beginnende Rekristallisation auf. Die Zwillingslamellen des meist stark sericitisierten Albits (Angehalt: 0 - 10) sind häufig geknickt. Kalifeldspat ist nach RDA-Befund mit 8 - 25 Gew.-% beteiligt und tritt in xenomorphen Körnern, meist mit Mikroklingitterung, aber auch als Ader- oder Fischschwamperthit auf. Biotit erscheint in der Regel in isolierten Paketen, ist an einer Stelle mit wenig Fibrolith verwachsen und zeigt reichlich pleochroitische Höfe um Zirkon und Mona-

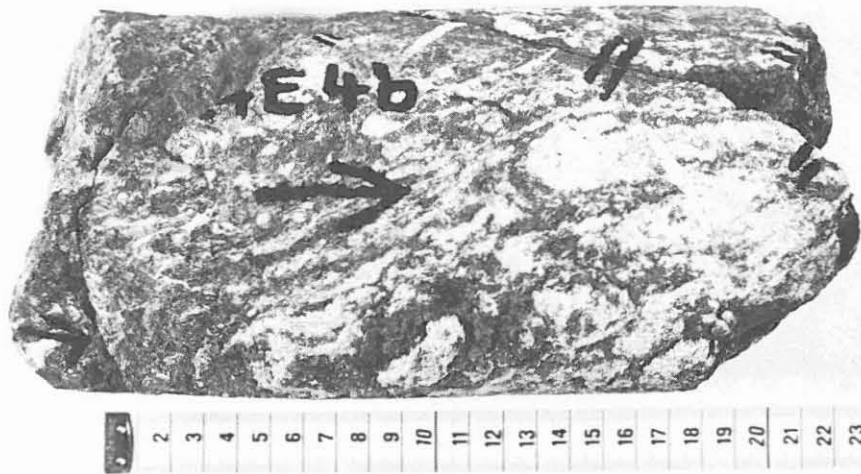


Abb. 14: Migmatischer granatführender Biotit-Kalifeldspat-Gneis;
Makroaufnahme von Kernstück 24E4b

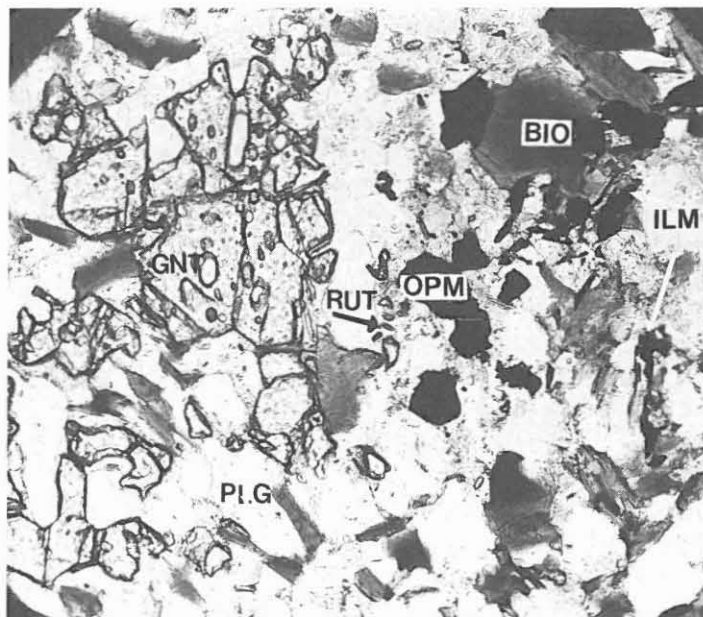


Abb. 15: In Auflösung befindlicher Granat mit orientierten, farb-
losen Einschlüssen. Aus einem granatführenden Biotit-
Kalifeldspat-Gneis; ILM = Ilmenit, OPM = Opakmineral,
BIO = Biotit, RUT = Rutil, GNT = Granat, PLG = Plagio-
klas;
(Schliff 34A1T, ohne Analysator, 80-fach)

zit. Meist ist er unter Leukoxenbildung chloritisiert. Granat kommt in bis 1 mm großen, von Rissen aus chloritisierten, runden oder lappig-xenomorphen oder auch länglichen Körnern vor. Er wird durch häufige Quarz- und vereinzelte Rutileinschlüsse charakterisiert (Abb. 15). Nach BLÜMEL (mündl. Mitt.) ist die Paragenese Granat + Rutil kennzeichnend für Mitteldruck-Metamorphose. Orthit ist ein auffälliger Bestandteil der kalifeldspatreichsten Partien. Er ist intensiv rotbraun gefärbt, zoniert und wird gern von kleinsten Zirkonkörnchen umlagert. Von den Opakmineralen konnten idiomorpher Pyrit und Graphitstengel identifiziert werden. Karbonat und lokal auch faserig-nadeliger Gips (KM 33) und (?)Zeolith (24F1T) als Kluftfüllung auf. Ein strukturell sehr ähnliches Gestein, aber mit nur sehr wenig Quarz, findet sich in Kernmarsch 28 (Schliffe 28A5T, 28C6T, Teufe 202 - 204 m). Es handelt sich praktisch um ein reines Feldspat-Biotit-Gestein mit 60 Gew.-% Plagioklas. Auffällig sind häufige, bis 0.2 mm große, idiomorphe Zirkon- und Monazitkörner, die den von der RFA nachgewiesenen Thorium-Peak von ca. 10 ppm hervorrufen.

Durchschnittlicher Mineralbestand:

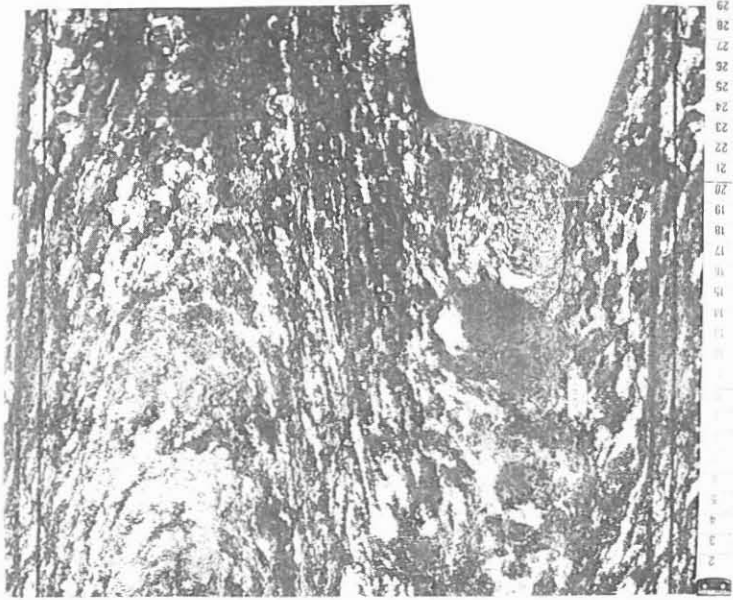
Quarz	10 - 28
Kalifeldspat	8 - 25
Plagioklas	30 - 50
Biotit (+Chlorit)	13 - 30

3.3.3 Hornblende-Granat-Biotit-Gneis (209 - 223, 291 - 294, 311 - 333 und 434 - 451 m)

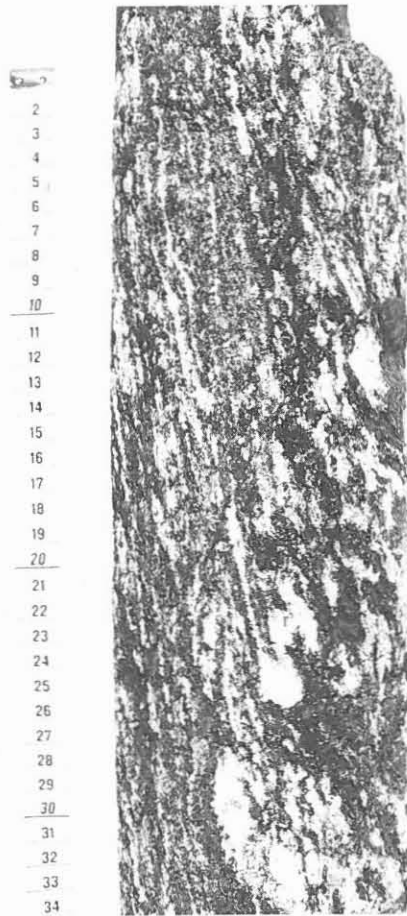
(Schliffe 29D1T, 43B1T, 46D9T, 47B5T, 65C16T, 65F22T, 67D10c)

Dieses dunkelgrüne, mittelkörnige Gestein zeigt ein flaseriges bis unregelmäßig-schlieriges bis massiges, selten auch feinelagiges Gneisgefüge mit cm-mächtigen Mobilisatlagen (Abb. 16). Feldspat tritt in bis 1 cm großen, idiomorphen, leicht ausgeschwänzten Blasten oder auch kleineren, blaßrosafarbenen Augen und Flecken auf.

Mikroskopisch bildet Quarz größere, linsenförmig ausgelängte Körner. Die großen, linsenförmigen Plagioklase sind zum Teil porphyroklastisch ausgewalzt und häufig sericitisiert oder auch durch vermutliche Epidotausscheidung sehr dunkel, fleckig getrübt. Granat bildet bis 1 mm große, oft stark zerbrochene, aber nur wenig chloritisierte Körner. Hornblende kommt in bis 1 mm großen, eingeregelteten Körnern vor, die meist hypidiomorph bis xenomorph entwickelt sind. Der Pleochroismus geht von blaugrün über gelbgrün zu blaßgelb. Biotit bildet bis 1 mm große, flaserige Pakete mit rotbraunem bis strohgelbem Pleochroismus. Pleochroitische Höfe, meist um Zirkone, sind in Biotit und Hornblende häufig. Titanit und Apatit erscheinen als idiomorphe, bis 0.3 mm große Körnchen.



a



b

Abb. 16: Migmatitischer Hornblende-Granat-Biotit-Gneis; Abwicklung (a) und Makroaufnahme (b) von Kernstück 65B11a

39B2T, 43B1T und 47B5T sind feinkörnige Varianten mit intensiv blaugrünen bis flaschengrünen Hornblenden und grünlich-bräunlichen Biotiten, die bislang einzig im Profil auftreten. Daneben fallen viele Kalifeldspäte (Ader- und Fleckenperthite) und relativ große Granatblasten ins Auge.

Mineralbestand in Gew.-% (2 Analysen):

Quarz	19 - 30
Plagioklas	39 - 43
Biotit (+ Chlorit)	10 - 18
Hornblende	1 - 8

3.4 Detailbeschreibung metapelitischer Gneise (meist mit Disthen und Sillimanit) ab 360 m

Hier lassen sich anhand unterschiedlicher Korngrößen, Straffheit des Lagenbaues und mengenmäßigen Anteils der Al_2SiO_5 -Minerale folgende Varianten unterscheiden:

3.4.1 Sillimanit-Disthen-Granat-Biotit-Gneis (359 - 375, und lokal bei 472 m)

(Schliffe 51C15T, 52A4T, 53B7T, 72A3c)

Diese mittelkörnigen, meist feinlagigen Gneise werden lokal von schlierigen, gefältelten und später zerscherten Mobilisaten durchzogen, die neben Quarz und Plagioklas auch Muskovit und Kalifeldspat führen können. Muskovit ist möglicherweise nicht primär, da in einem Fall die Ausbleichung von Biotit zu Muskovit beobachtet wurde.

Mikroskopisch zeigen diese Gneise ein schlecht geregeltes, xenoblastisches Gefüge. Insel- und lagenförmige Quarz-Feldspat-Aggregate liegen in einem Grundgewebe aus wolkenförmigen, feinkörnigen Disthen-Haufen, Biotit-Scheitern und großen Granatblasten (Abb. 17). Die stark ungleichkörnigen, xenomorphen Quarze zeigen z.T. gut equilibrierte Korngrenzen. In 51C15T treten größere Quarze mit Deformationslamellen auf. Plagioklas ist xenomorphkörnig und durch eine sehr feine polysynthetische Verzwilligung gekennzeichnet. Biotit bildet kaum eingeregelte, bis 0.7 mm große Pakete mit häufigen, pleochroitischen Höfen. Sein Pleochroismus ist intensiv rotbraun nach blaß strohgelb. In 51C15T ist Biotit mit feinen Hellglimmerlamellen verwachsen. Disthen kommt überwiegend in großen, lockeren Haufen aus feinkörnigen Einzelkristallen vor. Lokal sind aber noch größere, langstengelige Kristalle und deren Zerfall zu kleinen Körnchen zu beobachten. Außerdem treten Disthensillimanite, die die Kornform der Disthene nachbilden, aber auch langnadeliger Sillimanit bis faseriger Fibrolith auf (Abb. 18). Granat besteht aus großen, rundlichen bis xenomorphen Körnern, die stark zerbrochen und von Rissen aus chloritisiert sind. Muskovit ist äußerst selten und kommt meist mit Biotit verwachsen in kleinen Blättchen, vermut-

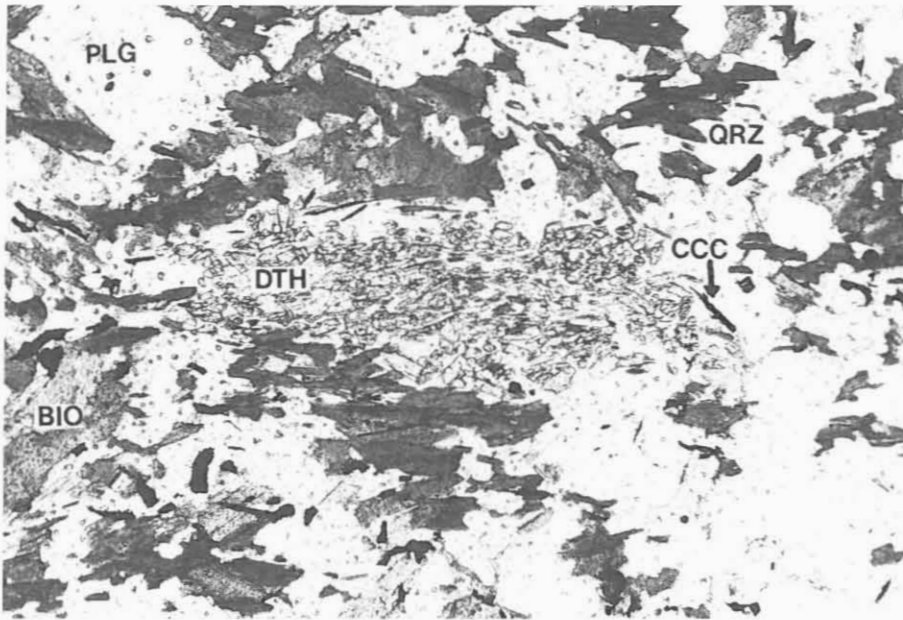


Abb. 17: Zu Kornhaufen zerfallener Disthen, von kleinen Biotiten und retrograden Muskoviten durchwachsen (Plagioklas ist durch Anfärben auf Kalifeldspat trüb fleckig). Graphit-reicher Disthen-Sillimanit-GranatBiotit-Gneis;
QRZ = Quarz, CCC = Graphit, BIO = Biotit, PLG = Plagioklas
DTH = Disthen;
(Schliff 53B7T II, ohne Analysator, 30-fach)

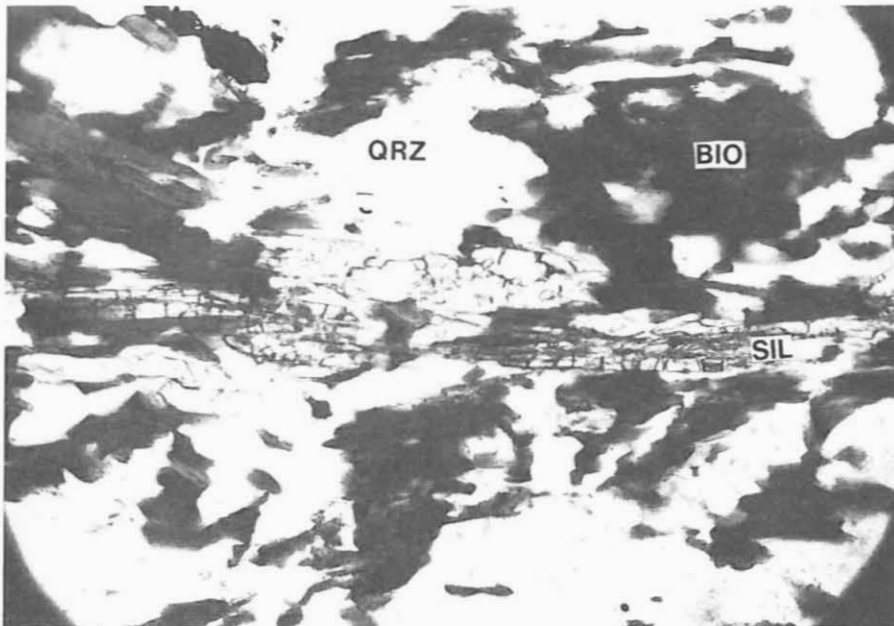


Abb. 18: Langprismatischer Sillimanit; in der Mitte wahrscheinlich als Pseudomorphose nach Disthen (Disthsillimanit);
Disthen-Sillimanit-führender Granat-Biotit-Gneis;
SIL = Sillimanit, BIO = Biotit, QRZ = Quarz;
(Schliff 72C10T, ohne Analysator, 80-fach)

lich sekundär, vor. Opakminerale sind recht häufig und treten tröpfchenförmig, rundlich oder auch unregelmäßig xenomorph auf. Zirkon kommt akzessorisch vor.

Der durchschnittliche Mineralbestand (Disthen und Sillimanit liegen fast stets unterhalb der Nachweisgrenze der RDA) in Gew.-% lautet:

Quarz	20 - 48
Plagioklas (+Sericit)	26 - 55
Biotit (+Chlorit)	12 - 39
Granat	0 - 19

3.4.2 Disthen-Sillimanit-führender Granat-Biotit-Gneis (381 - 383, 452 - 455, 470 - 478 m)

(Schliffe 54F14T, 67H20T, 71A4T, 72C10T, 73B6T)

Diese Gneise sind im Gegensatz zu dem unter 3.4.1 aufgeführten Typ feinkörnig und feinlagig mit teilweise sehr straffem Lagenbau. Makroskopisch erkennt man winzige, körnelige Feldspäte. Quarz-Feldspat-Mobilisate treten in Lagen, Schlieren und Linsen auf (Abb. 19).



Abb. 19: Feinlagiger Disthen-Sillimanit-führender Granat-Biotit-Gneis mit hellen Mobilisaten; Makroaufnahme von Kernstück 71B5b, Länge des Etiketts: 16 mm

Mikroskopisch sind die Gneise durch ein grano-lepidoblastisches Gefüge mit Anklängen an einen mylonitischen Lagenbau gekennzeichnet (Abb. 20). Von den unter 3.4.1 beschriebenen Typen unterscheiden sie sich durch geringere Gehalte an Disthen und Sillimanit. Quarz bildet meist ein fein- bis feinkörniges Mosaikgefüge, tritt aber auch zu größeren Linsen oder ausgelängten Körnern ähnlich Zeilenquarz zusammen. Die undulösen Körner zeigen feine Einschlußreihen und vereinzelt Subkornzerfall. Apatit bildet nadelige Einschlüsse im Quarz. Xenomorpher, feinkörniger Plagioklas ist invers zoniert (Kern: An₁₅, Rand: An₂₅, U-Tisch) und leicht sericitisiert. In dem besonders strafflagigen Typ 67H20T sind auch die Plagioklase gut eingeregelt. Kalifeldspat tritt in 71A4T und 73B6T in wenigen, winzigen Körnchen als Zwickelfüllung auf. Entgegen dem RDA-Befund von 5 Gew.-% konnte im Dünnschliff 72C10T kein Kalifeldspat nachgewiesen werden (angefärbt). Biotit hat die gleiche Farbe wie unter 3.4.1 beschrieben und bildet kurze, isolierte, teilweise schwach gebogene Scheiter, in den straff geregelten Typen auch länger aushaltende Flasern, die dann gut foliationsparallel eingeregelt sind. Pleochroitische Höfe um Zirkon sind unterschiedlich häufig. Die klein- bis feinkörnigen Granate sind rundlich bis hypidiomorph und führen im Kern winzige Quarzeinschlüsse, während der Rand einschlußfrei ist. In 72C10T treten auch größere, zentrale Biotit- und Quarzeinschlüsse auf. Neben diesen stabil erscheinenden Granaten konnten auch solche beobachtet werden, die durch ihre buchtigen Kornformen, teilweisen bis weitgehenden Zerfall in Einzelkörnern und Verdrängung durch Plagioklas und Biotit auffallen und offensichtlich nicht mehr stabil sind (Abb. 21 und 22). Ein entsprechender Zerfall von Granat wurde auch in den unter 3.3.2 beschriebenen Granat-Biotit-Gneisen festgestellt. Disthen bildet lockere Haufwerke aus stengeligen Körnern, die vereinzelt poikiloblastisch Quarze umschließen. Größere Disthenleisten sind vereinzelt geknickt. In 72C10T ist der Disthen in biotitreichen Lagen angereichert und mit langstengeligem bis nadeligem Sillimanit verwachsen, der lang aushaltende Lagen bildet. Daneben tritt Fibrolith eng mit Biotit verwachsen auf. Hier kommen feinfilzige, gelbliche Aggregate im Bereich von Biotit-Granat-Disthen-Aggregaten vor, die entfernt an Pinit erinnern, aber vermutlich eher aus sericitisiertem, ehemaligem Sillimanit bestehen (Abb. 23). In 67H20T liegen nur vereinzelte Disthenkörner isoliert in Quarz-Feldspat-Lagen. Zirkon bildet sehr feinkörnige, rundliche Körner, die meist von Biotit eingeschlossen werden. Apatit erscheint in Form feinkörniger, langsäuliger Kristalle, meist als Einschluß in Quarz. Opakminerale treten als feinkörnige, nadelig-leistenförmige, teilweise gebogene Aggregate auf. Feinste Häkchen entlang der Korngrenzen machen Graphit wahrscheinlich. Entlang einer feinen Kluft ist Plagioklas verstärkt sericitisiert, Biotit chloritisiert sowie Muskovit neu gesprosst.

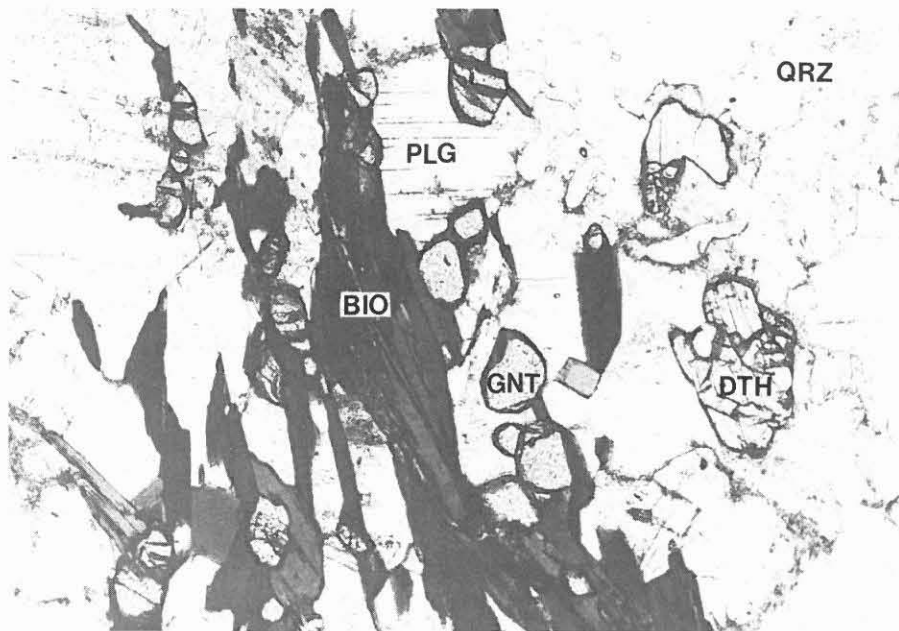


Abb. 20: Disthen-Granat-Biotit-Gneis; DTH = Disthen, PLG = Plagioklas, GNT = Granat, BIO = Biotit;
(Schliff 67H20T, ohne Analysator, 50-fach)

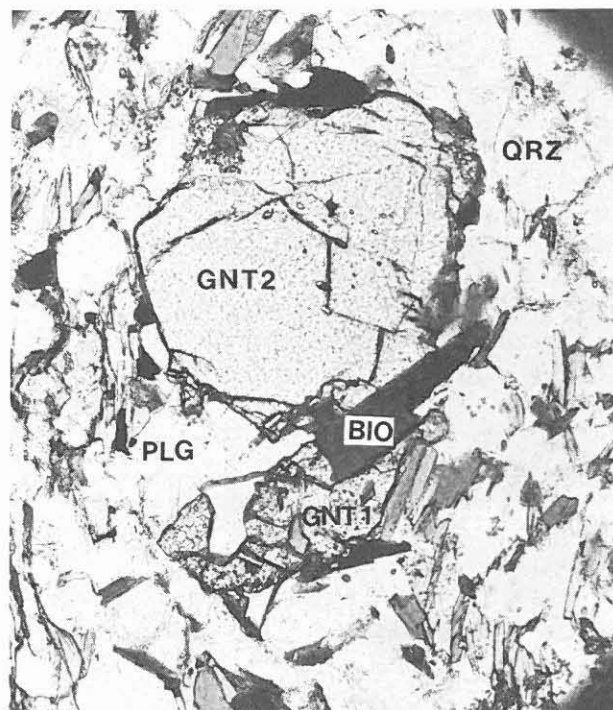


Abb. 21: Zwei unterschiedliche Granate:
GNT 1: klein, buchtig, korrodiert, einschlußreich
GNT 2: groß, rundlich-hypidiomorph, einschlußreicher Kern, einschlußfreier Rand;
aus einem Granat-Disthen-Gneis; PLG = Plagioklas, Bio = Biotit, QRZ = Quarz, GNT = Granat;
(Schliff 71A4T, ohne Analysator, 80-fach)

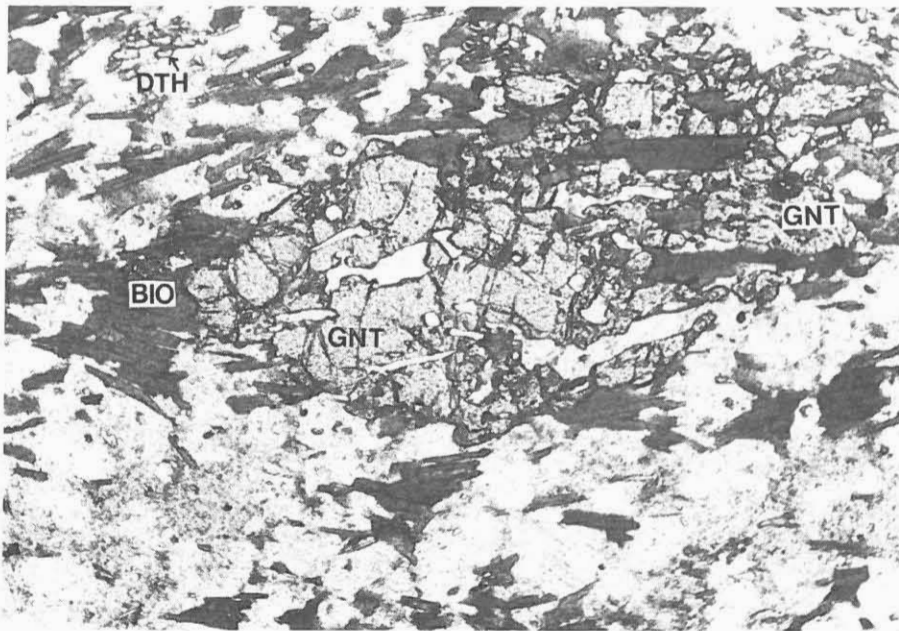


Abb. 22: Ausgelängter Granat wird von Biotit und Plagioklas aufgezehrt. Disthen-Sillimanit-führender Granat-Biotit-Gneis; DTH = Disthen, GNT = Granat, BIO = Biotit. (Schliff 72C10T, ohne Analysator, 30-fach)

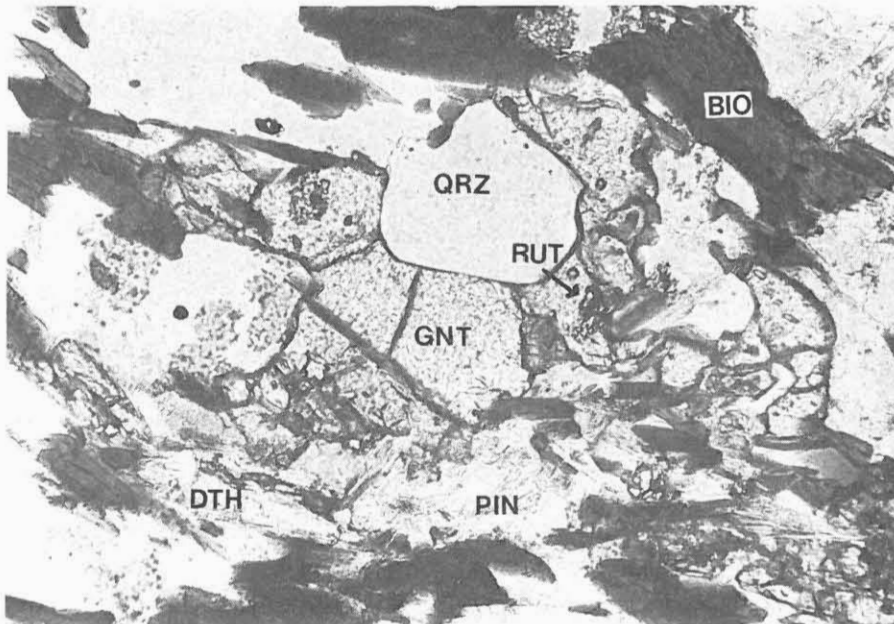


Abb. 23: Buchtiger Granat mit pinitähnlicher Substanz. Disthen-Sillimanit-führender Granat-Biotit-Gneis; DTH = Disthen, PIN = ?Pinit, GNT = Granat, QRZ = Quarz, RUT = Rutil, BIO = Biotit; (Schliff 72C10T, ohne Analysator, 100-fach)

3.4.3 Granat-Biotit-Gneis (383 - 385 m)

(Schliff 55A6T)

Dieses Gestein entspricht weitgehend dem unter 3.4.2 geschilderten Typ. Es unterscheidet sich durch das Fehlen von Disthen und Sillimanit und das Auftreten von normal zoniertem Oligoklas (Kern: An₂₀, Rand: An₁₅). Biotit zeigt geringe Leukoxenbildung.

3.4.4 Granat-Muskovit-führender Biotit-Gneis (438 - 448 m)

(Schliff 66F14T)

Das mittelkörnige Gestein ist stark von schlierig-migmatischen Mobilisaten durchzogen und läßt lokal einen im dm-Bereich gefalteten metamorphen Lagenbau erkennen (Abb. 24). Von den vorher beschriebenen Typen unterscheidet es sich durch den deutlichen Muskovitgehalt und das Fehlen von Al₂SiO₅-Mineralen.

Mikroskopisch erkennt man ein nur schwach lagiges, hetero-granular-verzahntes Gefüge. Quarz ist mittel- bis feinkörnig und zeigt verzahnte bis rundlich gebogene Korngrenzen. Es können Einschlußbahnen, schwach ausgeprägte Deformationslamellen und bei größeren Körnern auch Subkornzerfall beobachtet werden. Plagioklas ist stark ungleichkörnig entwickelt (0.02 - 8 mm), zeigt die gleichen Korngrenzentypen wie Quarz und eine leichte bis starke Sericitisierung. Biotit ist zum Teil lagig angereichert, bildet aber noch ein offenes Gefüge, in dem die bis 0.2 mm langen Pakete gut eingeregelt sind. Daneben tritt er aber auch in eher xenomorphen, isolierten Fetzen und Zwickeln auf. Sein Pleochroismus ist intensiv von blaß strohgelb bis rotbraun. Entlang von Rissen ist er chloritisiert und zeigt Erzausscheidung. Granat ist in biotitreichen Lagen konzentriert und bildet bis 0.3 mm große, rundliche bis ovale Körnchen. Vereinzelt treten aber auch deutlich größere, xenomorphe, zerbrochene Körner auf. Der Muskovit scheint hier primärer Bestandteil der Paragenese zu sein, denn er bildet etwa gleichgroße Scheiter wie Biotit und ist auch mit diesem verwachsen (nach der RDA-Analyse 10 Gew.-%, worin aber noch unbekannte Mengen Sericit aus alterierten Feldspäten enthalten sind). Zirkon erscheint als maximal 0.1 mm lange, hypidiomorphe kleine Säulen, die häufig pleochroitische Höfe in Biotit erzeugen. Apatit tritt in einem auffälligen, 2 mm großen, lappigen Aggregat mit anomaler Felderteilung auf, ist sonst aber selten. Opakminerale sind xenomorphe Körner und Aggregate und zeigen stellenweise einen Quarzsaum.

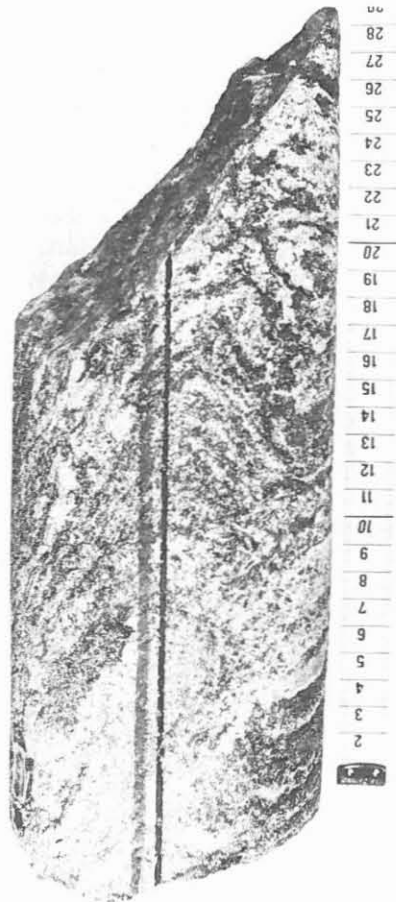
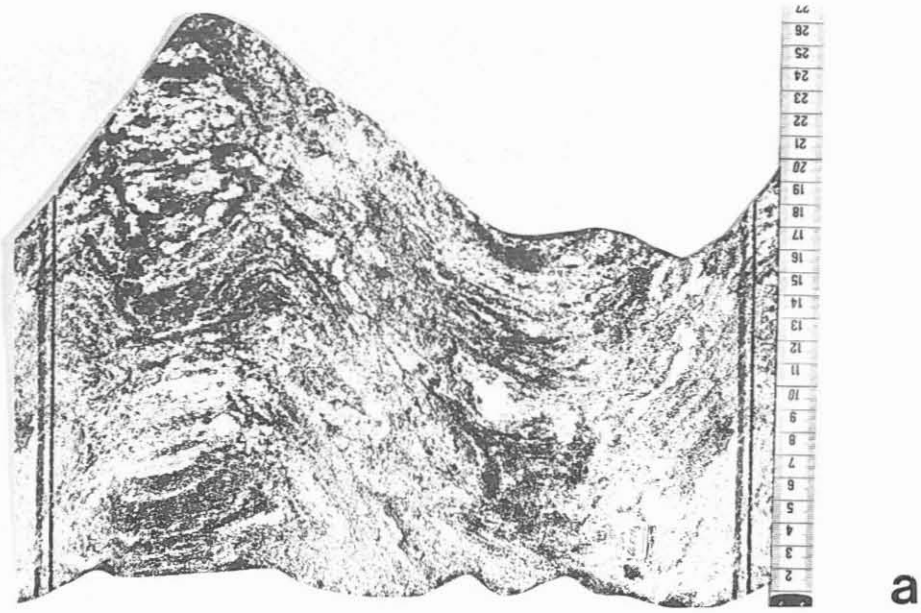


Abb. 24: Mobilisatreicher granat-muskovitführender Biotit-Gneis mit verfälteltem Lagenbau; Abwicklung (a) und Makroaufnahme (b) von Kernstück 66E1g.

3.5 Detailbeschreibung von Ganggesteinen, Marmor und graphitreichem Kataklasit

3.5.1 Marmor (128 - 131 m)

(Schliff 15E5T)

Der grauweiße Marmor zeigt nahe dem Kontakt zum Nebengestein eine graue Streifung parallel zur Foliation des Nebengesteins, ist sonst aber massig. Im Dünnschliff besteht er nahezu völlig aus ca. 1 mm großen, stark polysynthetisch verzwilligten, isometrischen Calcitkörnern. Regellos verteilt finden sich noch wenige 0.2 mm große, rundliche Quarz- und Plagioklaskörner (sericitisiert), mit denen noch hin und wieder einzelne, kleine Chlorit- und Hellglimmerkristalle verwachsen sind. Weiterhin treten rundliche Apatitkörner (0.1 mm), 0.1 mm lange Titanitstengel und Aggregate aus Rutilkörnern, die Titanitstengel pseudomorphosieren, auf.

3.5.2 Lamprophyr (bei 95.5 und 113 m)

(Schliffe 11A1T, 13A1b)

Die dunkelgrünen, makroskopisch dichten Gesteine lassen nur tiefdunkelgrüne Einsprenglinge (unter 0.5 mm) und Karbonatnester erkennen. Sie sind stark karbonatdurchädert und werden von bis 4 cm mächtigen Karbonatgängen durchschlagen. Unter dem Mikroskop erkennt man, daß es sich um völlig alterierte, porphyrische Ganggesteine handelt. Sie zeigen ein regelloses, seriales Gefüge aus fast gänzlich sericitisierten Feldspatleisten. Als weitere Einsprenglingsphase war Biotit, jetzt in Chlorit, Leukoxen und andere Opakminerale umgewandelt, vorhanden. Vereinzelt treten rechtwinklig oder unregelmäßig eckig begrenzte Pseudomorphosen nach einem weiteren Mafit (Pyroxen?, Olivin?; die RDA weist Spuren von Klinopyroxen nach) auf, die von Karbonat und Chlorit erfüllt sind. In diesen Pseudomorphosen, aber auch in der Grundmasse finden sich winzige, idiomorphe, opake Spinelle. Quarz tritt in Zwickeln in sehr geringer Menge, daneben aber in Klüftchen und Linsen zusammen mit Karbonat auf.

Der mikroskopische Mineralbestand läßt auf einen Glimmerlamprophyr schließen. Der Mineralbestand nach RDA deutet auf ein Zwischenglied zwischen Minette und Kersantit (etwa gleich viel Kalifeldspat und Plagioklas) hin. Der mittels RFA bestimmte Hauptelementchemismus (mit hohen K-, Mg- und Fe-Gehalten) entspricht dem einer Minette:

Haupt- und Nebenelemente		Mineralbestand	
	(Gew.-%)		(Gew.-%)
SiO ₂	51.7	Quarz	5
TiO ₂	1.50	Kalifeldspat	10
Al ₂ O ₃	15.3	Plagioklas	15
Fe ₂ O ₃ (ges.)	7.75	(+ Sericit)	10
MnO	0.11	Biotit	10
MgO	6.47	(+ Chlorit)	30
CaO	4.07	(+ Titanit)	10
Na ₂ O	1.02	Calcit	10
K ₂ O	5.60	Spuren v. Klinopyroxen	
P ₂ O ₅	0.36		

3.5.3 Aplitgranit (61 - 99 m)

(Schliffe 6, 9A1T, 9A2b, 13A4bI,II)

Das leicht vergrünte Gestein besitzt xenomorph-mittelkörniges, massiges Gefüge, das stark kataklastisch überprägt und von Karbonat und Pyrit infiltriert ist. Der Albit (An 0) ist mäßig stark sericitisiert. Kalifeldspat tritt in Dünnschliff 6 und 9A2b als Mikroklin und als Aderperthit auf. In den beiden anderen Schliffen, von denen keine RDA-Analyse vorliegt, fehlt Kalifeldspat. Quarz ist durch starke Undulösität und Subkornzerfall gekennzeichnet. In Zwickeln finden sich noch geringe Gehalte von völlig chloritisiertem Biotit.

Mineralbestand (ohne Calcit) in Gew.-%:

Quarz	45
Kalifeldspat	0 - 10
Plagioklas	45
Biotit (Chlorit)	Spuren

3.6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Auf den ersten 480 m wurde eine bunte, metamorphe, vulkanosedimentäre Wechselfolge mit mannigfaltigem, tektonischem Inventar durchteuft. Wie verhält sich nun dieser Profilabschnitt in Bezug auf die Modellvorstellungen, die der Wahl dieser Lokation zu Grunde lagen?

Die mitteldruckmetamorphe Hauptmetamorphose der ZEV ist durch die reiche Granat- und Disthenführung der Metapelite gut belegt. Entgegen der an der Oberfläche auskartierten Disthen-Muskovit-Zone (BLÜMEL & WAGNER-LOHSE in WEBER & VOLLBRECHT 1986) befinden sich die Gesteine der Bohrung im Übergangsbereich zum nächsthöheren Metamorphosegrad, der Sillimanit-Kalifeldspat-Zone. Primärer Muskovit fehlt den Metapeliten weitgehend. Das bei seinem Zerfall freiwerdende Wasser führt, wie zu erwarten, zur Schmelzbildung: Die oft starke Beteiligung von linsigen, knotigen

und flaserigen hellen Mobilisaten (im wesentlichen Quarz + Plagioklas) verleiht manchen Gneistypen ein migmatitisches Gepräge. Der entstehende Sillimanit ist oft eng mit Biotit verwachsen, beginnt aber auch schon Disthen, der wohl nur noch metastabil ist, zu verdrängen. Die Kalifeldspatarmut vieler Metapelite ist durch die Kaliumarmut der Gesamtzusammensetzung bedingt, stört die Einstufung in die metamorphen Zonen aber nicht. Diese Metamorphoseentwicklung kann erst ab ca. 350 m belegt werden, da oberhalb kaum zur Diagnose geeignete Metapelite durchteuft wurden und die spätere, retrograde Überprägung eine sichere Interpretation verhindert.

Die Flaseramphibolite aus dem Bereich westlich der Bohrlokation zeigen nach von WEBER & VOLLBRECHT (1986) zusammengefaßten geochemischen Voruntersuchungen des Zielgebietes Oberpfalz das Spurenelementmuster von Tholeiiten. Entsprechende Auswertungen der hier analysierten Amphibolite liegen noch nicht vor. Die erbohrten Amphibolite sind stellenweise sehr granatreich. Granat bildet aber keine stabile Phase in den mitteldruckmetamorphen Amphiboliten, da er in den meisten Fällen von einem Plagioklassaum umgeben wird. In den Ergebnissen der KTB-Voruntersuchungen wird die Granatbildung deshalb als ältere (Hochdruck?-) Metamorphose der nördlichen ZEV interpretiert. Der Kalifeldspatreichtum der Amphibolite kann noch nicht befriedigend erklärt werden. Neben seltenen kaliumreichen Spiliten als Edukt kann die sekundäre Zuführung von Kalifeldspat durch Mobilisierung aus den zwischenlagernden Metapeliten während der partiellen Aufschmelzung (Migmatisierung) oder die kontaktmetamorphe Beeinflussung durch den nahen Falkenberger Granit als mögliche Erklärung gelten. Die Bildung von drei verschiedenen Hornblenden und zwei verschiedenen Plagioklasen wird in dem von WEBER & VOLLBRECHT (1986) zusammengestellten Ergebnisband der KTB-Voruntersuchungen als Beleg für eine kontaktmetamorphe Überprägung durch den Falkenberger Granit gesehen. In Amphiboliten der Vorbohrung konnten verschiedenfarbige (braun-oliv-grün-blaugrün-hellgrün-fast farblos) und verschieden ausgebildete (gedrungen bis nadelig) Hornblenden beobachtet werden. Die übersichtsmäßige Vermessung der Plagioklase auf dem U-Tisch bestätigt unterschiedliche Anorthit-Gehalte und Zonierungen in einem Schliff.

Als ungeklärt muß bislang die Frage gelten, ob die ZEV bzw. ihr basaler Teil noch von einer jüngeren Niederdruck-Metamorphose betroffen wurde. Bestimmte junge Hornblendealter um 320 Ma aus dem Ostteil der ZEV (SCHÜSSLER et al. 1986) lassen eine solche Überprägung als möglich erscheinen. Unter diesem Aspekt muß dann auch in Erwägung gezogen werden, ob nicht auch schon die Sillimanit-Bildung und die Migmatisierung Folge einer niederdruckmetamorphen Überprägung sind, anstatt einer prograden Mitteldruckentwicklung. Granat sollte bei dieser Gesteinszusammensetzung unter niedrigdruckmetamorphen Bedingungen nicht mehr stabil sein und zu Biotit und Sillimanit zerfallen. Bisher wurde aber nur einmal ein Sillimanitsaum um Granat beobachtet. Häufiger ist dagegen der Zerfall von Granat zu buchtig korrodierten Körnern oder gar zu Relikten aus wenigen kleinsten Körnchen, die zusammen mit viel Biotit und Plagioklas den Umfang des ehema-

ligen großen Granats nachzeichnen. Detaillierte phasenpetrologische Untersuchungen werden diese Probleme klären können.

Das erbohrte Profil ist in wechselnder Intensität von retrograden Umwandlungen betroffen. Chloritisierung von Biotit und Granat, Sericitisierung von Sillimanit, Disthen und Plagioklas und die Sprossung sekundärer Muskovite sind typische Alterationsphänomene in den Metapeliten. In den Amphiboliten äußern sie sich im Auftreten verschiedener Hornblenden und deren Chloritisierung, der Sericitisierung von Plagioklas und der Neubildung von Albit, Epidot/Klinozoisit, Prehnit und Karbonat. Auf Klüften und Störungen kam es zur Bildung von Calcit, Prehnit, Sulfiden, Graphit, Quarz, Feldspat, Chlorit und Tonmineralen (Störungsletten), sehr selten auch von Gips und (?)Zeolith. Unterhalb der Berichtsteufe von 480 m wurden vermehrt Gips sowie Zeolith (hier durch RDA bestätigt) als Kluftminerale gefunden. Die zukünftigen Untersuchungen werden zeigen, inwieweit diese Erscheinungen mit verschiedenen paläozoischen Diaphthorese-Vorgängen des Umfelds, der Granitintrusion und weiteren meso- und känozoischen Ereignissen in Verbindung stehen.