

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Mineralogisch-Petrologisches-Institut

**Rekonstruktion der P-T-Entwicklung granulitfaziell
überprägter Gabbros des Aufschlusses Malinki Khed,
Kolvitsa-Komplex (Kola Halbinsel, Russland)**

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades eines

Diplom Geologen

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

Norbert Arndt

Bonn 2007

1	Einleitung	4
1.1	Geologische Situation des Lappland-Kola Orogens	5
1.2	Geologie des Kolvitsa Gürtels	7
2	Petrographie	9
2.1	Fe-betonte Gabbros (Proben 34-1, 34-3, 34-11, 34-19)	9
2.1.1	Granat	9
2.1.2	Klinopyroxen	10
2.1.3	Orthopyroxen	10
2.2	Amphibolitfazielles Stadium der Ferrogabbros (Probe 34-7)	13
2.2.1	Amphibol	14
2.2.2	Pyroxen	14
2.2.3	Granat	14
2.3	Mg-betonte Kumulatgabbros (Proben 34-18, 34-20, 34-22)	16
2.3.1	Plagioklas	17
2.3.2	Klinopyroxen	17
2.3.3	Orthopyroxen	17
2.3.4	Granat	18
3	Mineralchemie	20
3.1	Granat	20
3.1.1	Fe-betonte Gabbros	20
3.1.2	Amphibolitfazielles Stadium der Fe-betonten Gabbros	33
3.1.3	Mg-betonte Kumulatgabbros	37
3.2	Klinopyroxen	46
3.2.1	Fe-betonte Gabbros	46
3.2.2	Mg-betonte Kumulatgabbros	49
3.3	Orthopyroxen	52
3.3.1	Fe-betonte Gabbros	52
3.3.2	Granulitfazielles Stadium der Kumulatgabbros	52
3.4	Plagioklas	53
3.4.1	Mg-betonte Gabbros	53
3.5	Amphibol	54
3.5.1	Ferrogabbros	54
3.5.2	Kumulatgabbros	55
3.5.3	Amphibolitfazielles Stadium	55
4	Rekonstruktion der Druck-Temperaturgeschichte der Metabasite	58
4.1	Geothermometer	58
4.2	Geobarometer	62
4.3	Druck- und Temperaturbedingungen	63
4.3.1	Plagioklasfreie Fe-betonte Metagabbros	63
4.3.2	Amphibolitfazielles Stadium	67
4.3.3	Kumulatgabbros	68
5	Zusammenfassung	75

6	Literaturverzeichnis.....	77
7	Anhang	81

1 Einleitung

Alte orogene Gürtel geben Einblick in die metamorphen und tektonischen Prozesse, die während der Gebirgsbildung herrschten. Innerhalb des Lappland-Kola-Orogens, das durch Kompressionstektonik vor 1,91 Milliarden Jahren im NO des Baltischen Schildes entstand, bildet der Kolvitsa-Umba-Gürtel Elemente einer wichtigen Suturzone, welche die Krusteneinheiten des Zentral-Kola-Orogens vom spätarchaischen-belomorischen-Terran trennt (Abbildung 1). Die tief erodierten Deckeneinheiten dieser bedeutsamen svekokarelischen Kollisionszone erstrecken sich entlang der NO-Küste des Weißmeeres. Das Kolvitsa-Massiv bildet die tektonisch tiefste Einheit der Kollisionszone (ECKE 2004). Seine Entwicklung begann vor ca. 2,66-2,44 Milliarden Jahren mit dem Eindringen von Gabbro-Anorthosit-Magma in das Muttergestein (FRISCH et al. 1995). Darauf folgte die Platznahme mehrerer Generationen basischer Gänge, von durchdringender Deformation der Einheit begleitet (BALAGANSKY et al. 2001). Geochronologische Daten ergeben, dass eine mehrfache metamorphe Überprägung stattgefunden hat: (1) eine frühe amphibolit-granulitfazielle Metamorphose und Scherung vor 2,43-2,42 Ga und (2) die späte svekokarelische Metamorphose und Scherung der Gesteinseinheit vor 1,91 Ga (FRISCH et al. 1995).

Am Nordostrand des Kolvitsa-Komplexes bilden mylonitische Granulite eine Überschiebungszone, die die strukturell tiefer liegenden Einheiten des Kolvitsa-Massivs von den aufgeschobenen Deckeneinheiten des Por'ya-Guba- und Umba-Komplexes trennt. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist, die Druck-Temperaturgeschichte metabasischer Gesteine des Kolvitsa-Massivs aus dem Bereich der Überschiebungszone zu rekonstruieren. Die Untersuchungen ergänzen die von ECKE (2004) durchgeführten Forschungsarbeiten zur Metamorphose und Fluid-Gestein-Wechselwirkung im Kolvitsa-Massiv. Untersucht wurden Proben basischer Granulite vom Aufschluss Malinki Khed, am Südostrand des Kolvitsa-Komplexes im Nordwesten des Weißmeeres. Dieser Aufschluss liegt in der Nähe des Aufschlusses Bolschoi Khed an der Nordwestküste des Weißmeeres. Hier kommen zwei chemisch und mineralogisch verschiedenartige granulitfazielle Gesteine vor: (1) ein Mg-betonter Metagabbro mit Kumulatgefüge und einem ausgeprägten mylonitischen Gefüge; (2) ein Fe-betonter Metabasit (basischer Granulit), der nahezu frei von Plagioklas ist, was auf hohe Drücke, die das Gestein erfahren hat, hindeutet. Die Verbandsverhältnisse zeigen, dass der basische Granulit ehemalige basische Gänge repräsentiert, die den lagig-differentierten Gabbro netzwerkartig intrudierten. Diese Gesteine sind nach ihrer granulitfaziellen Überprägung durch Fluidinfiltration entlang von Fugen amphibolitfaziell hydratisiert worden. Die untersuchten Gesteinsproben sind aus einem räumlich sehr begrenzten Aufschluss entnommen worden und haben daher die gleichen Druck- und Temperaturbedingungen erfahren.

Die Rekonstruktion der P-T-Geschichte der mafischen Gesteine erwies sich als schwierig, da die Texturen und Mineralparagenesen des prograden Druck-Temperaturpfades durch die Einstellung neuer Gleichgewichte verloren gegangen sind. Beispiele für derartige retrograde Reaktionen und Gleichgewichtsneueinstellung in Mikrodomänen sind chemischer Zonarbau der Mineralkörner infolge fortlaufenden Kationenaustauschs zwischen angrenzenden Mineralphasen, Koronatexturen, Entmischungserscheinungen, Schmelzphänomene, Bildung von Hydratphasen und Karbonaten durch Fluidinfiltration (ECKE 2004). Daher konnten nur die P-T-

Bedingungen der retrograden Überprägung näher eingegrenzt werden. Im Wesentlichen wurden hierzu zwei Methoden verwendet. Zum einen wurden Dünnschliffe der Proben unter dem Mikroskop untersucht, um Informationen über die Paragenesen und Reaktionstexturen zu erhalten. Zum anderen wurden als Grundlage für die Quantifizierung der P-T-Bedingungen mit Methoden der Geothermobarometrie mineralchemische Analysen der Gesteinsproben mit der Elektronenstrahlmikrosonde durchgeführt. Die Temperaturbestimmung an den mafischen Metagabbros erfolgte mit Geothermometern, die auf dem Mg-Fe-Austausch zwischen Granat und Pyroxen basieren. Eine Ermittlung der peaknahen Metamorphosebedingungen ist nicht mehr möglich, weil die Schließtemperatur des Fe-Mg Kationenaustauschs zwischen Granat und Pyroxen signifikant unter der Peaktemperatur der Granulite liegt (PATTISON & BEGIN 1994).

Die für die Diplomarbeit bereitgestellten Gesteinsproben stammen aus dem deutsch-russischen DFG-RFBR-Projekt „Die Kollisionssutur zwischen den archaischen Terranen Kareliens und der Kola-Halbinsel. Rekonstruktion ihrer komplexen Entwicklungsgeschichte im Gebiet des Weißmeeres“, das von Geowissenschaftlern des Mineralogischen Instituts der Universität Bonn und dem Institut für Präkambrische Geologie und Geochronologie der Akademie der Wissenschaften in Sankt Petersburg im Zeitraum 1998-2002 durchgeführt worden ist.

1.1 Geologische Situation des Lappland-Kola-Orogens

Das Lappland-Kola-Orogen liegt im NO-Teil des Fennoskandischen Schildes und erstreckt sich über eine Länge von 700 km zwischen den norwegischen Kaledoniden und dem Weißmeer. Nach Westen korreliert das Lappland-Kola-Orogen mit dem Torngat-Orogen in Labrador, dem Nagssugtok-Orogen in Grönland und mit dem Laxford-Orogen in Schottland (BRIDGWATER et al. 2001, BRIDGWATER et al. 1992). Es wird angenommen, dass diese paläoproterozoischen Orogene Fragmente eines einst zusammenhängenden globalen orogenen Systems sind (ECKE 2004).

Das Lappland-Kola-Orogen besteht hauptsächlich aus neoarchaischer Kruste und beinhaltet verschiedene Terrane, wie das Murmansk-, Zentral-Kola-, belomorische und Inari-Terran (Abb. 1). Die archaischen Terrane werden durch paläoproterozoische „high-strain“-Zonen und Rift-Gürtel begrenzt. Das Lappland-Kola-Orogen wird für ein Kollisionsorogen gehalten.

Die Entwicklung begann mit intrakratonischer Extension der archaischen Kruste vor 2,5-2,4 Ga (BARBEY & RAITH, 1990). Das voranschreitende Rifting führte zur Trennung der Kruste und zur Bildung eines Lappland-Kola-Ozeans, was durch Rift-beeinflusste geschichtete Gabbro-Anorthosit-Intrusionskomplexe belegt wird (Kolvitsa-, Tanaelv-, Imandra-Varzuga-Gürtel und der Hauptgürtel) (ECKE 2004) (Abb. 1).

Das Rifting fand in einem WSW-ONO-gerichteten Stressfeld statt und war verbunden mit einer rechtshändigen Blattverschiebung (BALAGANSKY et al. 2001).

Das tektonische Regime änderte sich zu einem konvergenten Regime. NNE-SSW-gerichtete Kompression führte zur Schließung des Ozeanbeckens vor 2,0-1,9 Ga (BALAGANSKY et al. 2001, ECKE 2004).

Die Lappland-, Umba- und Tersc-Terrane sind aus juvenilem paläoproterozoischem Krustenmaterial aufgebaut und entwickelten sich zu einem durch Subduktion beeinflussten Inselbogen (DALY et al. 2001).

Der juvenile Charakter der meisten metasedimentären und metamagmatischen

Gesteine wird durch Sm-Nd-Daten von BRIGDWATER et al. (2001) mit einem Alter von 1,95-2,5 Ga bestätigt. Die fortschreitende Subduktion führte zu einer Kontinentkollision des belomorischen Vorlandes mit dem Zentral-Kola-Terran (nördliches Hinterland) und der Akkretion der Lapplandgranulit-, Umbagranulit- und Tersc Terrane vor 1,9 Ga. Mit der Kontinentkollision verbunden ist eine südwärts gerichtete Krustenstapelung und eine Versenkung der Inselbögen.

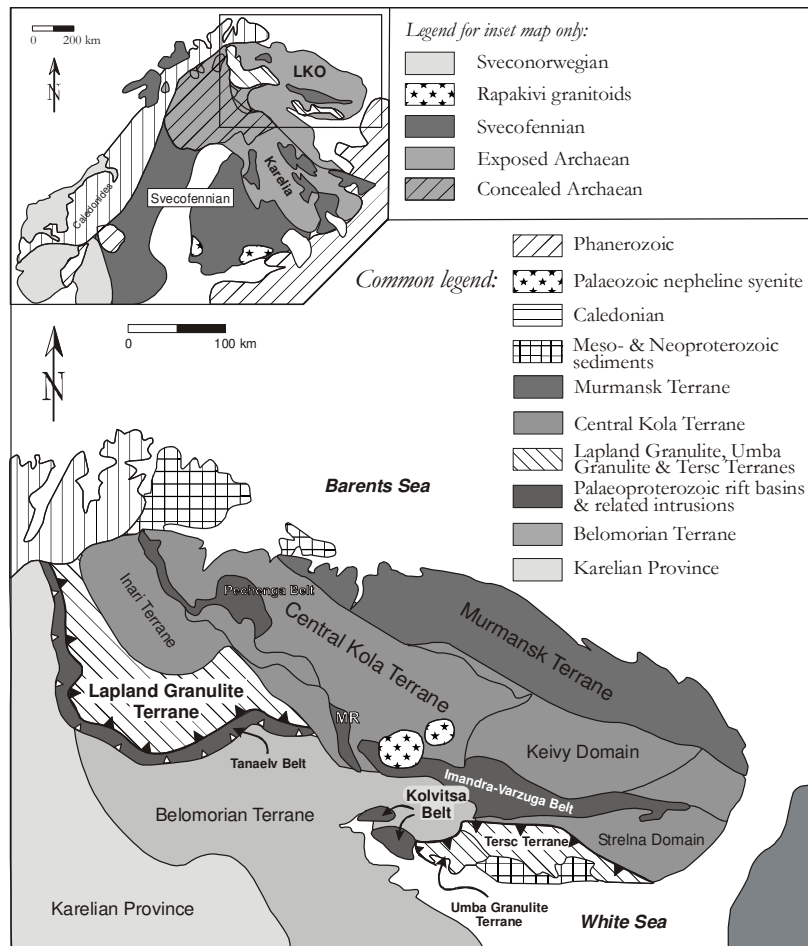


Abbildung 1

Die geologische Übersichtskarte zeigt die innere Architektur des kristallinen Grundgebirges der Kola-Halbinsel. Sie besteht aus verschiedenen miteinander amalgamierten neoarchaischen Terranen (nach DALY et al. 2001; ECKE 2004). Diese sind z. B. das belomorische, das Zentral-Kola-, das Inari-, das Murmansk-Terran und andere kleine angelagerte Terrane. Die akkretierten Terrane bestehen aus paläoproterozoischen Inselbogenkomplexen sowie den suprakrustalen Serien der Lappland-Granulit- und Umba-Granulit-Terrane. Die paläoproterozoischen Rift-Becken und zugehörigen Intrusionen beinhalten die Kolvitsa-, Imandra-, Varzuga-, Tanaelv- und Pechengagürtel (ECKE 2004).

Die Karte am oberen linken Bildrand zeigt die Haupteinheiten des Fennoskandischen-Schildes (nach HJELT et al. 1996).

1.2 Geologie des Kolvitsa-Gürtels

Die mafischen Gesteine des Kolvitsa-Gürtels sind an der Nordostküste des Weißmeeres aufgeschlossen (Abb. 2) (ECKE 2004).

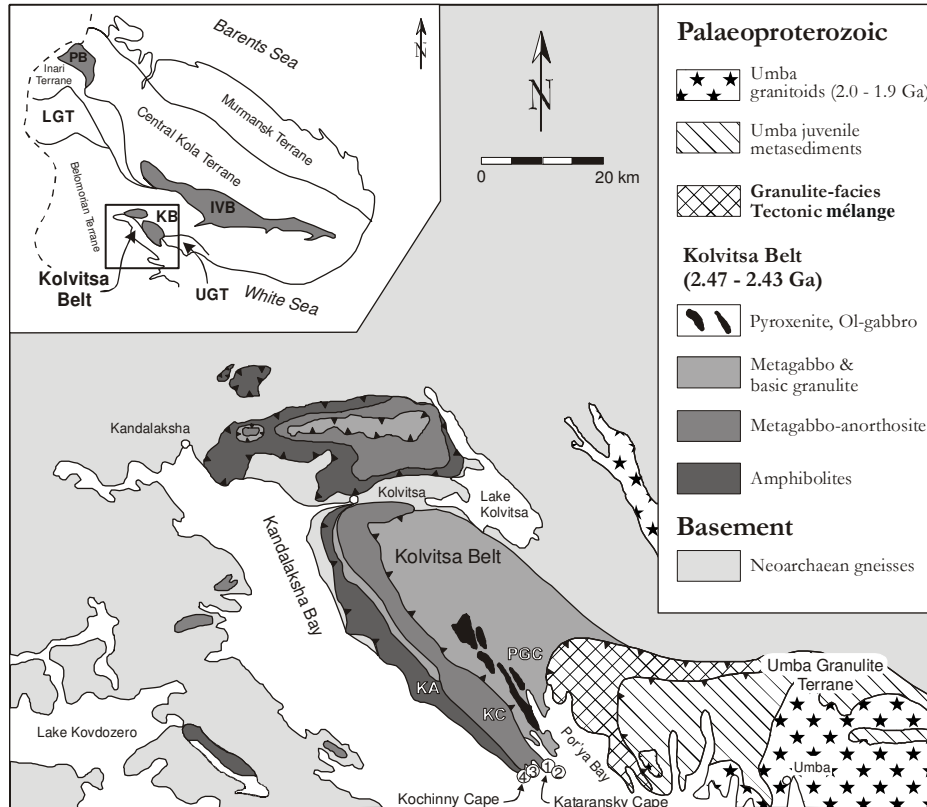


Abbildung 2

Vereinfachte geologische Karte des paläoproterozoischen Kolvitsa-Gürtels (ECKE 2004). PGC: Por'ya- Guba-Komplex, KC Kolvitsa-Komplex, KA: Kandalaksha-Amphibolite. 1: Kataransky Cape, 2: Bolschoi Khed Insel, 3: Nikolkina Insel, 4: Leonard Cape. Der Aufschluss Malinki Khed liegt ganz in der Nähe von Bolschoi Khed.

Der NW des Kolvitsa-Gürtels korreliert mit dem Tanaev-Gürtel in Finnland und Norwegen. Die unterschiedlichen lithotektonischen Einheiten des Kolvitsa-Gürtels streichen NW und fallen leicht nach NO ein (Abb. 2). Sechs lithotektonische Einheiten können von Osten nach Westen unterschieden werden (GLEBOVITSKY et al. 2001, BALAGANSKY et al. 2001). Die unterste Einheit wird von neoarchaischen tonalitischen bis dioritischen Orthogneisen der belomorischen Supergruppe gebildet. Die magmatischen Ausgangsgesteine der Gneise werden auf ein Alter von 2,7 Ga datiert (ECKE 2004).

Die Gneise werden im NO von den amphibolitfaziellen basisch-mafischen metavulkanischen Gesteinen der **Kandalaksha**-Einheit überlagert (ECKE 2004). Untergeordnet enthält die Einheit auch Einschaltungen von Metapeliten, Grauwacken und Konglomeraten. BALAGANSKY et al. (1998) datierten die Bildung der vulkanischen Einheit mittels U-Pb-Datierung von Zirkonen aus Metaandesiten auf ein Alter von 2,47 Ga.

Der **Kolvitsa-Komplex** stellt einen ausgedehnten, 2 km mächtigen, lagig-differenzierten Gabbro-Anorthosit-Komplex dar, in dem trotz starker duktiler Deformation und granulitfazieller Überprägung die magmatischen Strukturen erhalten geblieben sind (Kumulat-Texturen, magmatische Schichtung) (ECKE 2004). Der Komplex wurde vor 2,46-2,45 Ga (U-Pb Alter von magmatischen Zirkonen: FRISCH et al. 1995) gebildet und wird von mafischen-intermediären Gangschwärmen durchschlagen, die ein Alter von 2,43-2,44 Ga haben (U-Pb Alter von Zirkonen: BALAGANSKY 1998). Die Ganggesteine wurden mit den Wirtsgesteinen durchgreifend deformiert und stark geschert, was während oder unmittelbar nach ihrer Platznahme geschah (BALAGANSKY et al. 2001). Die Gänge in den Gabbro-Anorthositen dokumentieren ein Dehnungsregime während des mehrfachen Eindringens von mafischer Schmelze in einer großmaßstäbigen NW-verlaufenden Scherzone (BALAGANSKY et al. 2001). Es zeigen sich rechtshändige Blattverschiebungen entlang NW-gerichteter Scherzonen im Gestein (ECKE 2004).

Der **Por'ya-Guba-Komplex** wird aus mafischen bis intermediären Granuliten aufgebaut und ist von Scherzonen durchzogen. Die Paragenese Granat-Klinopyroxen-Plagioklas in mafischen Lithologien zeigt, dass die granulitfazielle Metamorphose unter Hochdruckbedingungen stattgefunden hat (ECKE 2004). Viele Domänen wurden von retrograder (amphibolitfazieller) Hydratation betroffen, die zur Bildung von Granat-Amphiboliten führte. Untergeordnet kommen auch ultrabasische Linsen, enderbitische Gneise und Karbonateinschaltungen vor. An der NO-Küste der Por'ya Bucht trennt eine große Scherzone den Kolvitsa-Gürtel von dem überschobenen Umba-Granulit-Terran (BALAGANSKY et al. 2001). Die granulitfazielle Scherzone stellt eine so genannte tektonische Melange-Zone dar, in der intermediäre Granulite des Por'ya-Guba-Komplexes mit Linsen von juvenilen Metasedimenten des **Umba-Granulit-Terranes** gestapelt sind. Die Orthopyroxen-Sillimanit-Quarz-Paragenese extrem gescherter granulitfazieller Granulite bezeugt eine hohe Verformungsrate der tektonischen Linsen bei ultrahoch-temperierten Bedingungen (GASTREICH 2000). Zirkone aus den Granat-Sillimanit-Gneisen und quer durchschlagenden hochgradigen Leukosomen in der Scherzone, ergeben ein U-Pb-Zirkonalter von ca. 1,9 Ga für die hochgradige Metamorphose und Scherung (BIBIKOVA et al. 1973). Im Osten des Por'ya-Guba-Komplexes schließen sich die migmatischen Paragneise des aufgeschobenen Umba-Granulit-Terranes an, dessen nordwestliche Fortsetzung der Lappland-Granulitgürtel in Nordfinnland und Norwegen bildet. Der juvenile Charakter der Metasedimente wird durch Sm-Nd Modellalter zwischen 2,1 und 2,5 Ga bestätigt (TIMMERMAN 1996). Spät- bis postorogene Enderbite, Charnockite und porphyrische Granite intrudierten den Ostteil des Umba-Granulit-Terranes vor ca. 1,91 Ga (GLEBOVITSKY et al. 2001).

2 Petrographie

Die untersuchten Gesteine stammen vom Aufschluss Malinki Khed, der in der Nähe des Aufschusses Bolschoi-Khed auf der Kolahalbinsel liegt (Abb. 2). Es sind Gabbros und Basalte. Die beprobten Gesteine stammen aus einem relativ begrenzten Aufschluss. Daher haben sie alle dieselbe tektonometamorphe Entwicklung durchgemacht. Die Gesteine unterscheiden sich im Wesentlichen durch ihre Mineralparagenesen und ihren Chemismus. Hier lassen sich zwei verschiedene Gesteine unterscheiden. Die erste Gesteinsgruppe sind Fe-betonte, granulitfaziell überprägte Basite, die die Mineralparagenese Granat-Klinopyroxen-Orthopyroxen enthalten. In diesen Gesteinen kommt kein Plagioklas vor, was sie wie „eklogitfaziell“ erscheinen lässt. Sie enthalten aber kaum Jadeit. Daher sind diese Gesteine hochdruckgranulitfaziell und nicht eklogitfaziell überprägt. Häufig sind auch Fluide durch Fugen in das Gestein eingedrungen, sodass das Gestein amphibolitfaziell überprägt wurde, bis fast nur noch Grt und Amph vorhanden sind. Die zweite Gesteinsgruppe sind Mg-betonte basische Kumulatgabbros.

2.1 Fe-betonte Gabbros (Proben 34-1, 34-3, 34-11, 34-19)

Die untersuchten Fe-betonten Gabbros sind dunkle, grünlich-grünliche Gesteine mit hohem Granatanteil (Abb. 3 a-c), wie in den Proben 34-1, 34-3, 34-11 und 34-19.

Die Ferrogabbros enthalten die Paragenese Granat, Klinopyroxen, Orthopyroxen und wenig Quarz. Diese Gesteine sind frei von Plagioklas, was sie „eklogitfaziell“ erscheinen lässt. Diese Ferrogabbros enthalten jedoch keinen Jadeit, wie später noch zu sehen sein wird. Es sind hochdruckgranulitfazielle Gesteine, die wie „Eklogite“ aussehen (s. U.) (Abb. 3). In einigen Proben tritt untergeordnet rekristallisierter sekundärer Amphibol auf.

Das Korngefüge ist in allen Proben porphyroblastisch, gekennzeichnet durch große Granatblasten, die sich in einer Matrix aus Klinopyroxen, Orthopyroxen und untergeordnet Quarz und Amphibol befinden. Einige der Ferrogabbros enthalten retrograd hydratisierte amphibolitfazielle Fugen (Abb. 4a, 4b). In einer Probe (34-7) ist das Gestein vollständig amphibolitisiert, sodass nur noch Granat und Amphibol vorkommen.

Beschreibung der Mineralphasen im Einzelnen:

2.1.1 Granat

Granat bildet große, hypidiomorphe bis xenomorphe Porphyroblasten mit Korngrößen zwischen 0,25 und 1,5 mm, teilweise auch einzelne Korncluster von bis zu 1,3 cm Größe. Insgesamt unterscheiden sich die Korngrößen des Granats innerhalb der einzelnen Dünnschliffproben sehr stark. Während die Granatblasten in Schliff 34-11 (Abb. 4c, 4d) mit Korngrößen zwischen 1 und 1,3 mm fast äquigranular sind, schwanken die Korngrößen in Schliff 34-19 zwischen 0,25 mm und 1,5 cm. Auch in den Proben 34-1, 34-3 sind die Korngrößen mit 0,3 bis 0,8 mm relativ gleichkörnig (Abb. 4a, 4b).

In einigen Proben enthalten die Granatblasten ein sogenanntes „Sagenitgitter“ aus Rutilnadeln, welches auf ehemals höhere Bildungstemperaturen hindeutet (Abb. 5). Die Korngrenzen sind meist bogig, seltener auch gerade ausgebildet.

2.1.2 Klinopyroxen

Klinopyroxen tritt in Form xenomorpher Blasten und Klasten von 0,07-0,45 mm Durchmesser auf, die teilweise dynamisch rekristallisiert sind (Abb. 5) und dann auch noch kleinere Korngrößen aufweisen. Die Pyroxenkörner sind meist diopsidischer Zusammensetzung. In fast allen Proben ist der Gehalt an Na mit 0,1-0,9 Formeleinheiten eher gering, selten kommt auch Pyroxen mit bis zu 2,5 Formeleinheiten Na vor. Die Klinopyroxenkristalle weisen häufig Entmischungslamellen von Opx auf. Klinopyroxen kommt auch als Einschluss im Granat vor, was eventuell Rückschlüsse auf Peak-Metamorphosebedingungen zulässt.

2.1.3 Orthopyroxen

Orthopyroxen bildet xenomorphe Kristalle mit 0,5-1 mm Durchmesser, die häufig von einem Kranz aus Granat umgeben sind (Abb. 6). Die in den Ferrogabbros enthaltenen Opx-Körner sind meist Klasten, die von dem magmatischen Stadium des Protolith erhalten geblieben sind. Der Opx-Gehalt innerhalb des Ferrogabbros wird durch die Reaktion



$4 (\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6 + \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \leftrightarrow (\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + \text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6 + 5 \text{ SiO}_2$ gesteuert. Wobei das Gleichgewicht dieser druckabhängigen Reaktion vollständig auf der rechten Seite des höheren Druckes liegt, was das Fehlen von Plagioklas im Gestein erklärt.

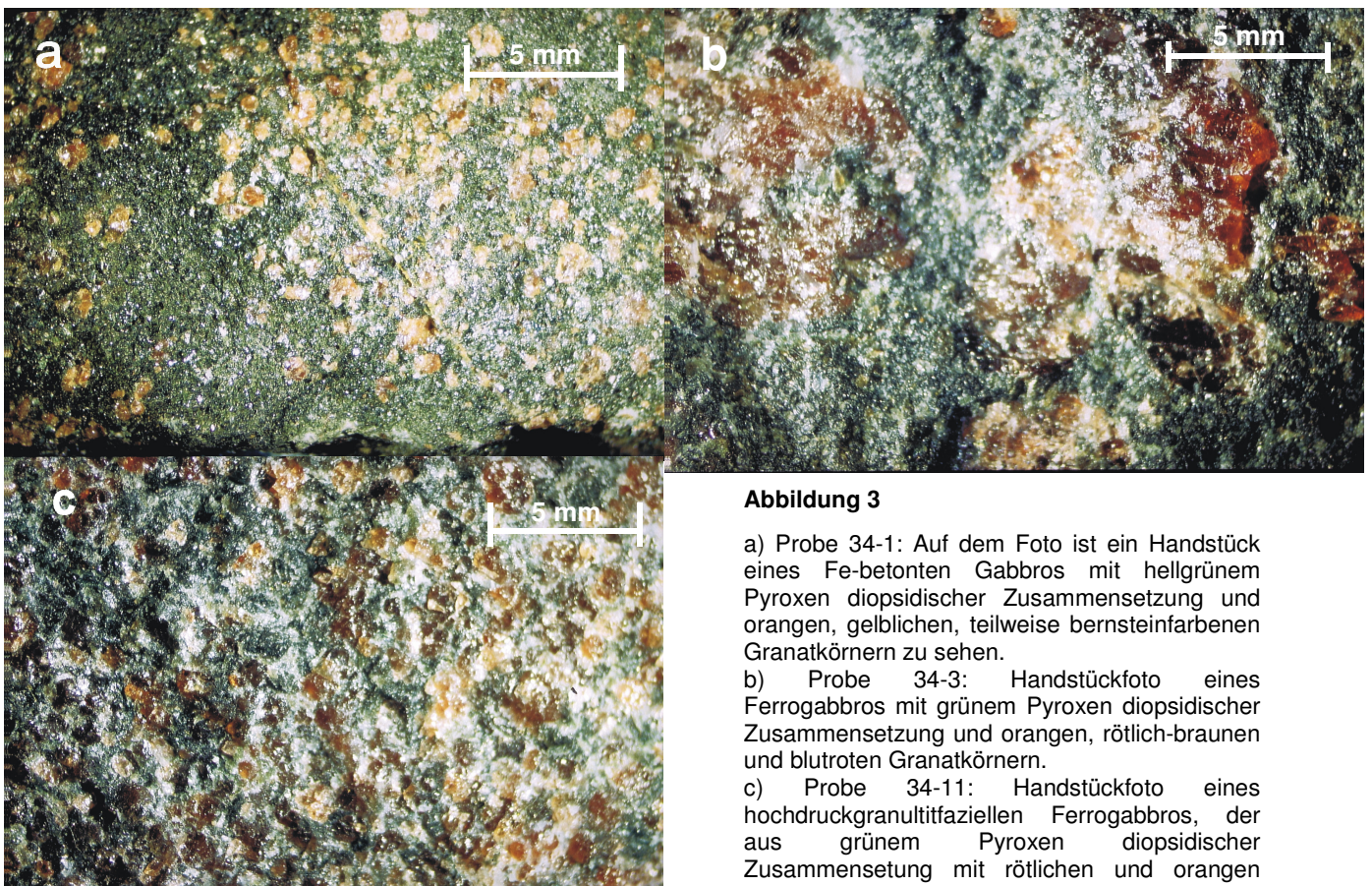


Abbildung 3

- a) Probe 34-1: Auf dem Foto ist ein Handstück eines Fe-betonten Gabbros mit hellgrünem Pyroxen diopsidischer Zusammensetzung und orangen, gelblichen, teilweise bernsteinfarbenen Granatkörnern zu sehen.
- b) Probe 34-3: Handstückfoto eines Ferrogabbros mit grünem Pyroxen diopsidischer Zusammensetzung und orangen, rötlich-braunen und blutroten Granatkörnern.
- c) Probe 34-11: Handstückfoto eines hochdruckgranulitfaziellen Ferrogabbros, der aus grünem Pyroxen diopsidischer Zusammensetzung mit rötlichen und orangen Granatblasten besteht.

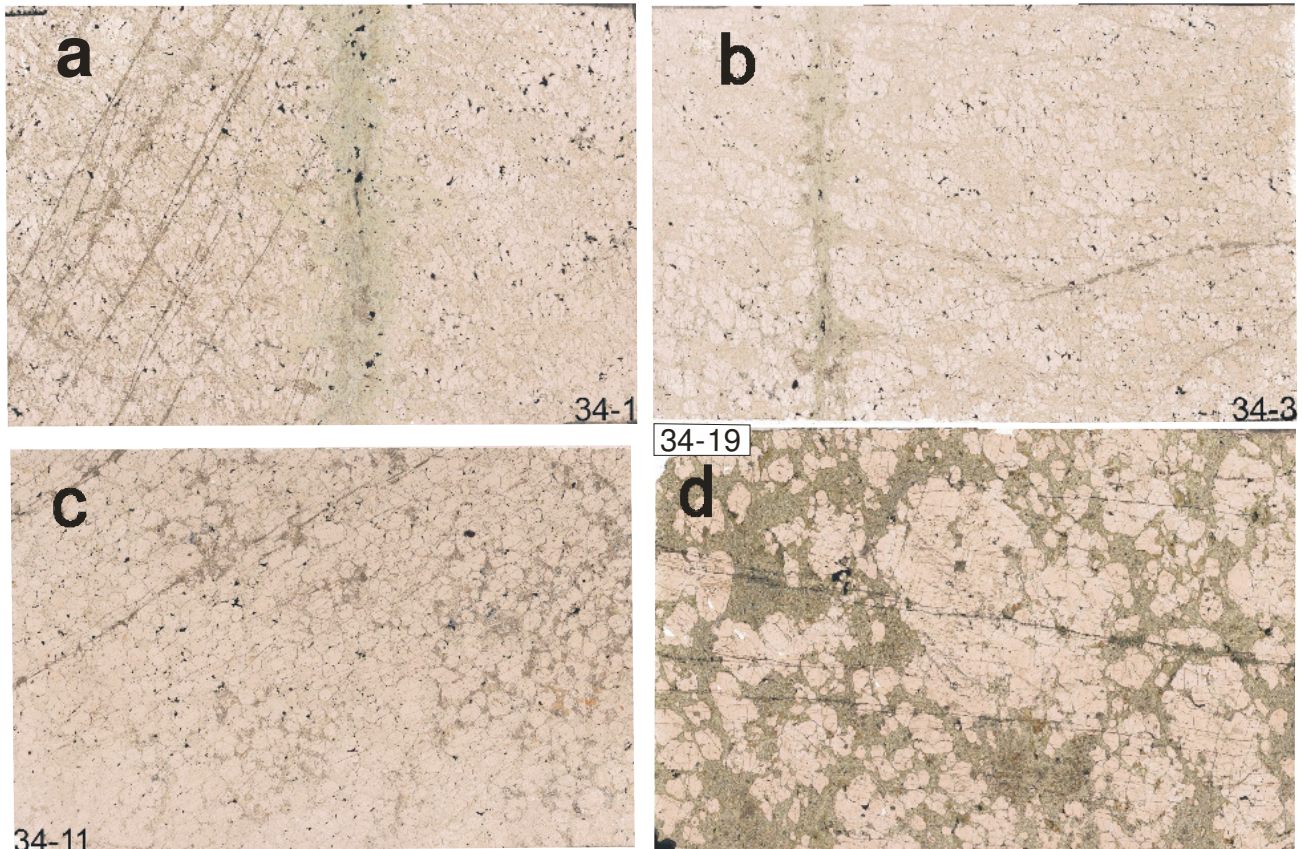


Abbildung 4

a-d) Dünnschliffscans der Fe-betonen Grabbro Proben 34-1, 34-3, 34-11 und 34-19. Die Breite des Bildausschnitts beträgt ca. 2,23 cm und die Länge ca. 3,33 cm für alle Proben.

a) Die Probe 34-1 zeigt ein porphyroblastisches Gefüge mit großen Granatblästen in einer Matrix, welche aus Grt, Opx und untergeordnet Amph besteht. Es kommen sowohl klastische Klino- und Orthopyroxenkörner als auch dynamisch rekristallisierte Kornpflaster vor.

b) Probe 34-3 zeigt ein ähnliches Gefüge und ähnliche Mineralparagenesen wie Probe 34-1, mit etwas größeren Granatblästen.

c) Die Probe 34-11 zeigt eine Hochdruck-granulitfazielle Zone in einem granulitfaziellen Gestein. Die häufigsten Minerale sind Granat, rekristallisiertem Klinopyroxen und untergeordnet Orthopyroxen.

d) Probe 34-19 zeigt einen Granatmegakristall in einer Matrix aus dynamisch rekristallisiertem Klinopyroxen, untergeordnet Orthopyroxen und Amphibol.

Die Proben 34-1 und 34-3 zeigen in der Mitte der Bilder einen grünen Streifen, welcher aus Amphibol besteht. Dieser grüne Bereich ist durch Fluidinfiltration retrograd amphibolitfaziell überprägt worden. Hier fand eine Umwandlung der Hochdruckgranulit Paragenese in eine Amphibolitparagenese statt.

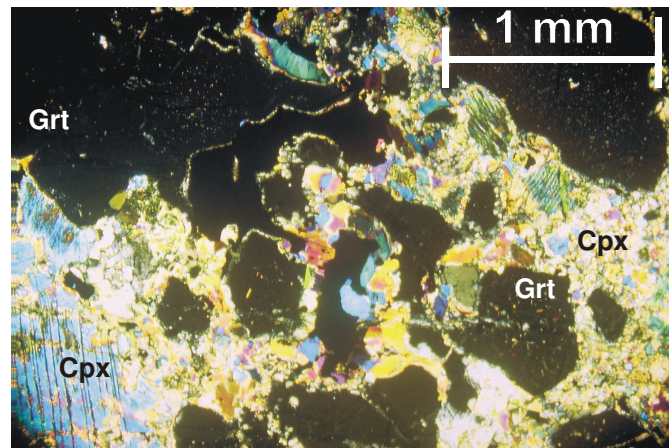


Abbildung 5

Schliff 34-19: Mikroskopische Aufnahme eines Dünnschliffes (mit gekreuzten Polarisatoren): Eklogitfazielles Gestein bestehend aus Grt, Cpx, Opx +/- Amph. Die Granatkörner enthalten Rutilnadeln, die teilweise auch als sogenanntes Sagenitgitter angeordnet sind, was auf UHT Bedingungen hindeutet. Im Bild sind nur andeutungsweise Rutilnadeln zu sehen. Die Klinopyroxene zeigen Entmischungslamellen. Die Klinopyroxenkörner im rechten Bildteil sind dynamisch zu kleinen Kornplustern rekristallisiert

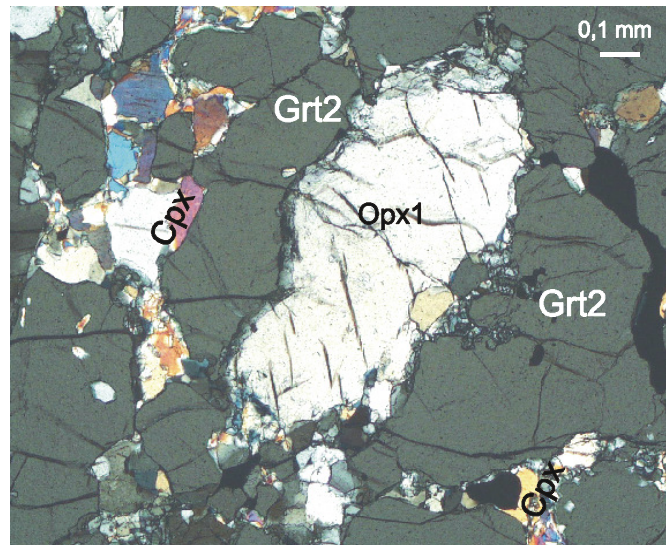


Abbildung 6

Schliff 34-1: Mikroskopaufnahme mit gekreuzten Polarisatoren (nicht 90°). In der Bildmitte ist ein Orthopyroxenklast (Opx1) zu sehen, welcher von einem Kranz aus rekrystallisiertem Granat (Grt2) und Klinopyroxen umgeben ist.

2.2 Amphibolitfazielles Stadium der Ferrogabbros (Probe 34-7)

Die untersuchte Probe 34-7 besteht aus Gestein im amphibolitfaziellen Stadium. Dieses Gestein ist durch retrograde Fluidinfiltration in Säumen der Ferrogabbros entstanden. Es ist grünlich mit bernsteinfarbenen und rötlichen Granatblasten (Abb. 7).

Die häufigsten Minerale sind Hbl, Grt, untergeordnet Cpx und sehr wenig Pl (Abb. 7, Abb. 8). Da Plagioklas nur untergeordnet als polygonales Kornpflaster auftaucht, wird dieser hier nicht weiter behandelt.

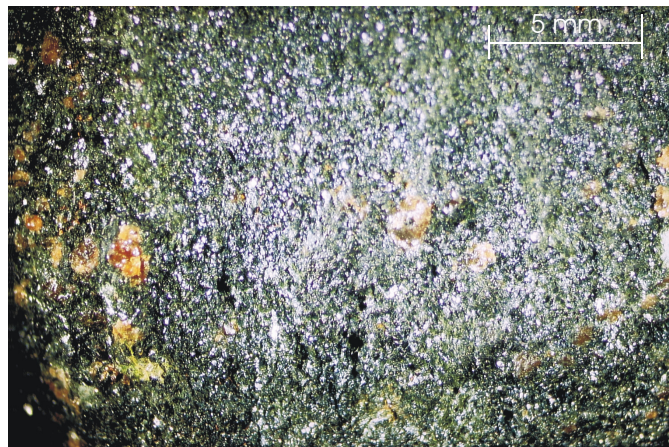


Abbildung 7

Probe 34-7: Foto eines amphibolitfaziellen Gesteins im Anschnitt. Das Gestein besteht aus einer grünlichen Matrix aus Hbl, Cpx und untergeordnet Plg mit Blasten aus bernsteinfarbenen und rötlichen Granatkörnern.



Abbildung 8

Dünnschliffscan Probe 34-7: Die Ausschnittbreite des Scans beträgt ca. 2,23 cm, und die Länge beträgt ca. 3,33 cm. Auf dem Bild zu sehen ist ein amphibolitfazielles Gestein mit Amph und Grt als Hauptbestandteilen, vereinzelt tritt auch Plagioklas auf. Auffällig sind Pseudomorphosen von Amphibol und Klinopyroxen nach Granat. Es beginnt die retrograde Umwandlung des Granat in Säumen bis zur völligen Pseudomorphose der Granatkörner in einigen Schlibfbereichen. Untergeordnet tauchen auch Erze auf.

Beschreibung der Mineralphasen im Einzelnen :

2.2.1 Amphibol

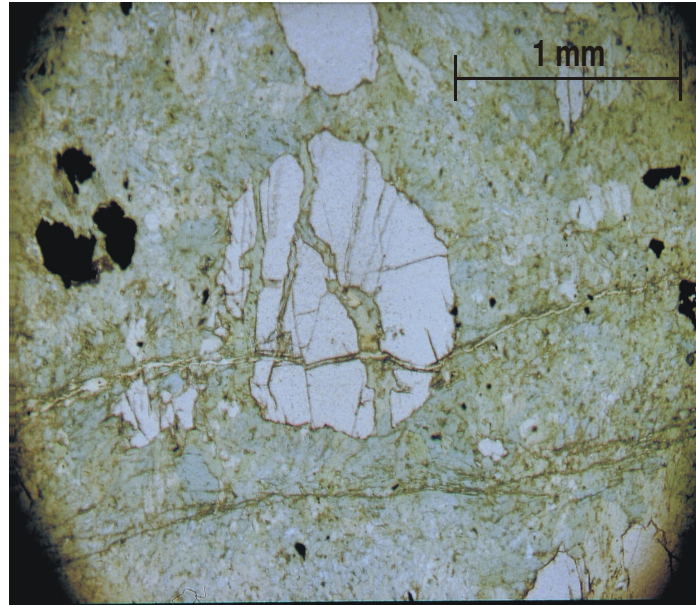
Der Amphibol ist der Zusammensetzung nach Hornblende, die sich durch einen sehr hohen Anteil Al(IV) und Al(VI) auszeichnet. Die Hornblende ist vor allem pargasitischer und tschermakitischer Zusammensetzung. Die Korngrößen sind unterschiedlich und liegen zwischen 0,13 und 0,15 mm. Teilweise ist der Amphibol auch dynamisch rekristallisiert und hat dann sehr geringe Korngrößen zwischen ca. 0,01 und 0,05 mm. Die beprobten Gesteine bestehen fast ausschließlich aus Granat und Hornblende. Der Hbl Anteil in der amphibolitfaziellen Probe ist von der Reaktion $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{V}$ oder $\text{L} \leftrightarrow \text{Hbl} + \text{Grt} + \text{Qz}$ gesteuert. Wobei L für flüssige und V für volatile Fluide steht. Granat, Klinopyroxen und untergeordnet Orthopyroxen sind unter Fluideinfluß in Hornblende umgewandelt worden.

2.2.2 Pyroxen

Klinopyroxen kommt innerhalb der untersuchten Probe nur untergeordnet vor. Die Korngrößen betragen zwischen ca. 0,06 und 0,08 mm.

2.2.3 Granat

Granat bildet in der intensiv amphibolitfaziell überprägten Probe durchgreifend xenomorphe, randlich stark korrodierte Blasten in einer Matrix aus Amphibol, untergeordnet Klinopyroxen und Plagioklas (Abb. 8, 9). Häufig sind die Körner auch zerbrochen. Die Korngrößen betragen zwischen 1,5 und 3 mm.

**Abbildung 9**

Mikroskopische Aufnahme von Schliff 34-7: Ein stark korrodiertes Granatkorn befindet sich in einer Matrix aus Amph, untergeordnet Cpx und Pl. In der untersuchten Probe tauchen auch einige Erzkörner aus Pyrit auf. Auch hier ist der durch Fluidinfiltration bewirkte „Zerfall“ des Granatkorns zu Amphibol und Klinopyroxen zu beobachten.

2.3 Mg-betonte Kumulatgabbros (Proben 34-18, 34-20, 34-22)

Die Mg-betonten Gabbros zeigen ein feinlagiges foliertes z.T. extrem mylonitisches Kumulatgefüge, aus hellen felsischen und dunklen mafischen Lagen. Die mafischen Lagen bestehen aus Klinopyroxen, untergeordnet Orthoproxen, Granat und Amphibol, während die felsischen Lagen aus Plagioklas und untergeordnet Quarz bestehen (Abb. 10 a-c, Abb. 11).

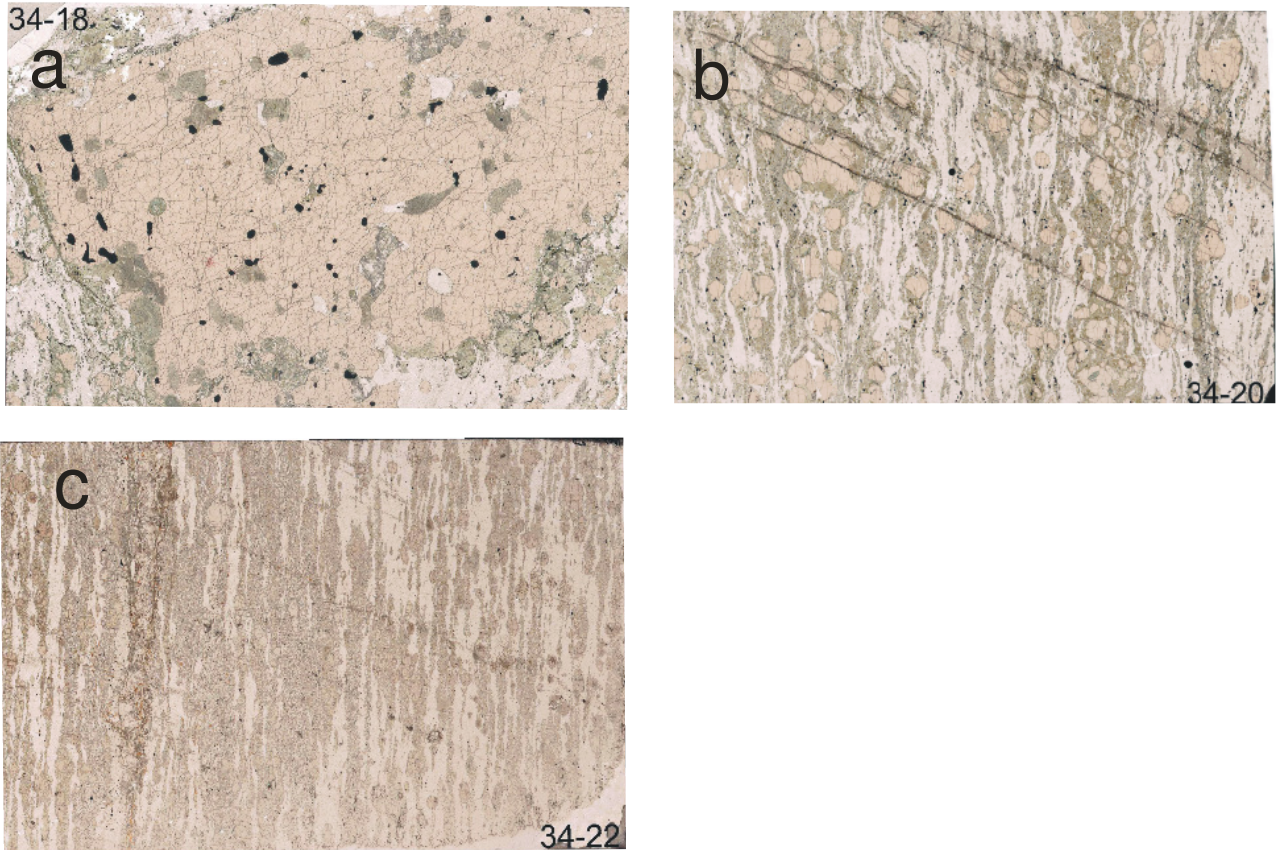


Abbildung 10

Dünnschliffscans der Proben 34-18, 34-20 und 34-22:

Die Ausschnittbreite der Scans beträgt ca. 2,23 cm und die Länge ca. 3,33 cm. Die hier dargestellten Gesteine sind Gabbro-norite.

- a) Probe 34-18: Übergang vom Fe-betonten Gabbro zum Mg betonten Kumulatgabbro: In der Mitte des Bildes ist ein Granatmegakristall mit Orthopyroxen- und Klinopyroxeneinschlüssen zu sehen, selten tauchen auch Plagioklas- und Quarzeinschlüsse auf. Der Granatkristall befindet sich in einer folierten mylonitischen Matrix, deren dunkle Lagen aus Klinopyroxen, Granat und untergeordnet Amphibol bestehen. Die hellen, felsischen Lagen bestehen aus Plagioklas und Quarz.
- b) Probe 34-18: Foliertes mylonitisches Gefüge mit noch relativ großen Granatblasten. Die hellen Lagen bestehen aus rekristallisiertem Plagioklas und untergeordnet Quarz. Die dunklen Lagen bestehen aus Cpx, Grt und untergeordnet Opx. Die Granatkristalle sind mit 1-2 mm relativ groß.
- c) Probe 34-22: Foliertes, teilweise extrem mylonitisches Gefüge eines Gabbro-norite.

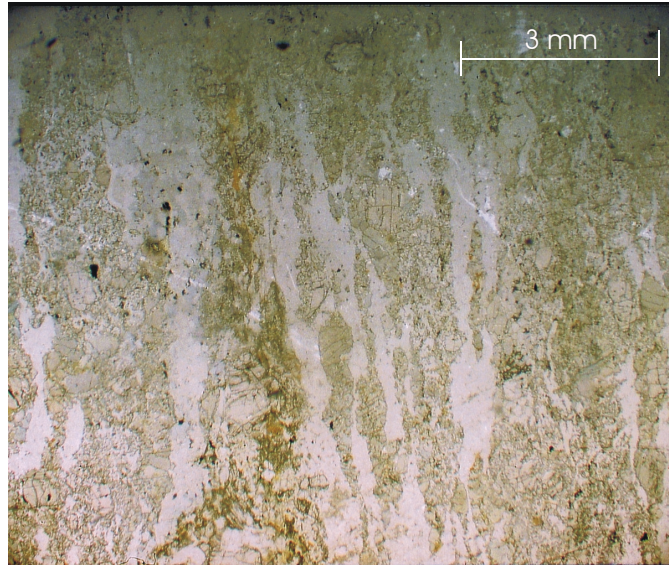


Abbildung 11

Schliff 34-22: Mikroskopische Aufnahme in linear polarisiertem Licht. Überblick über granulitfazielles Mg-betontes Gabbrogestein bestehend aus Pl, Grt, Cpx, Opx und Qz. Das Gestein besitzt ein foliertes, teilweise extrem mylonitisches Gefüge.

Beschreibung der Mineralphasen im Einzelnen:

2.3.1 Plagioklas

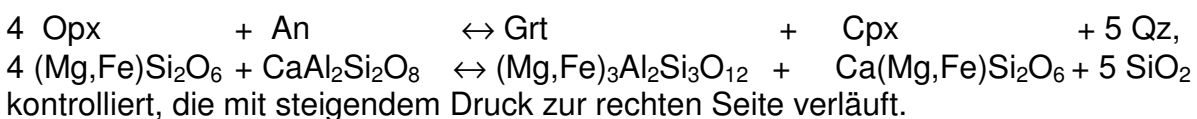
Plagioklas bildet nahezu äquigranulare polygonale Kornpflaster mit Korngrößen zwischen 0,6-0,9 mm, was auf ein durch Temperatur equilibriertes Korngefüge hindeutet. Größere Blasten und Klasten tauchen nur sehr selten und meist als Einschluß im Granat auf, mit Korngrößen von bis zu 1,2 mm Durchmesser (Abb. 24 und 25).

2.3.2 Klinopyroxen

Klinopyroxen bildet xenomorphe Körner mit unterschiedlichen Korngrößen. In dynamisch rekristallisierten Bereichen betragen die Korngrößen nur wenige μm . Es kommen jedoch noch größere Klinopyroxenkörner mit 0,06-0,09 mm vor und seltener auch sehr große Körner von 0,16 mm oder sogar bis zu 1 mm. Es treten teilweise auch Rutilnadeln innerhalb des Klinopyroxens auf.

2.3.3 Orthopyroxen

Die Orthopyroxenkörner sind teilweise nur reliktsch erhalten, im Größenbereich von 0,04-0,06 mm Durchmesser. Es gibt aber auch große Körner mit 0,14-0,16 mm Durchmesser. Der Orthopyroxengehalt der Kumulatgabbros wird von der Reaktion



Der Opx-Anteil in allen Proben ist eher gering, was auf hohe Drücke hinweist. Es kommt aber auch zur retrograden Neubildung von symplektitischem Opx durch Dekompression beim Abbau von Grt (Abb.12).

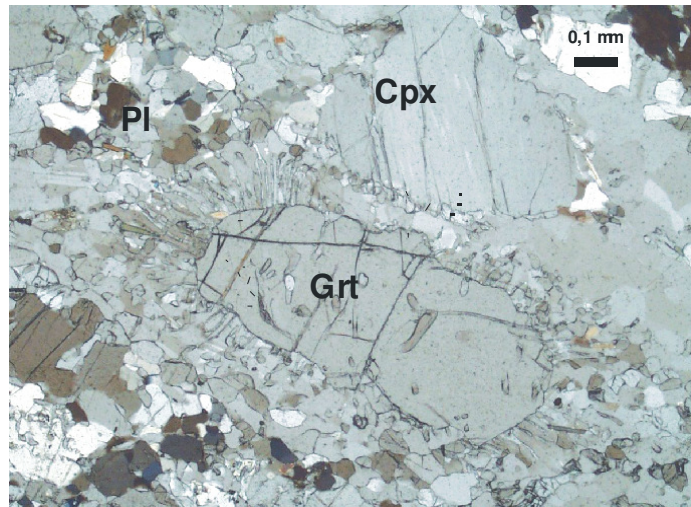


Abbildung 12

Schliff 34-22: In der Mitte des Bildes ist ein Granatkorn zu sehen, welches von einer Korona aus symplektitischem Plagioklas und Orthopyroxen umgeben ist. Der Orthopyroxen und der symplektitische Plagioklas wurden retrograd durch Dekompression neu gebildet, während sich Klinopyroxen- und Granatalkörner aus früheren Metamorphoseereignissen bilden.

2.3.4 Granat

Die Korngrößen der Granatblasten liegen zwischen 0,47 und 0,7 mm in den Mg-betonten Basiten, während die Korngrößen in den Bereichen noch erhaltener Hochdruckgranulit-Paragenese mit 4 mm bis über 1 cm wesentlich höher liegen. In einigen Domänen sind die Granatkörner von Koronen umgeben, die folgende granatabbauende Reaktion anzeigen:

$\text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Qz} \rightarrow \text{Opx} + \text{Pl}$ fluidabwesend (Abb. 12)

$\text{Grt} + \text{Cpx} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Hbl} + \text{Pl} + \text{Qz}$ fluidanwesend (Abb. 13)

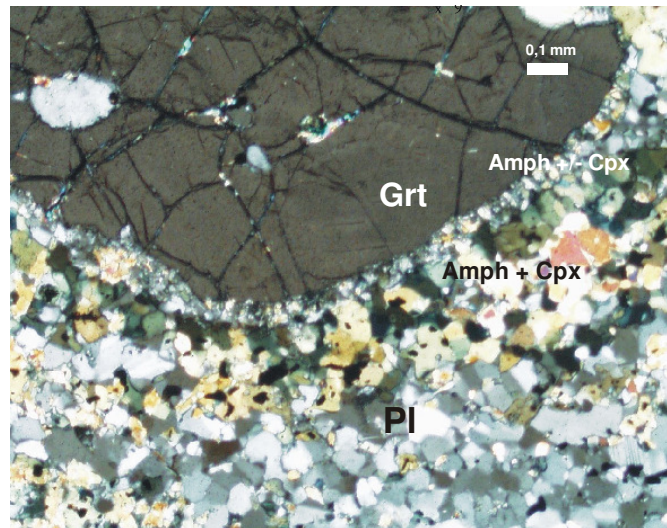


Abbildung 13

Schliff 34-18: Mikroskopische Aufnahme mit gekreuzten Polarisatoren (nicht 90°). Hier ist ein Granatkorn zu sehen, welches von einer Korona aus Amphibol und untergeordnet Klinopyroxen umgeben ist. Weiter unten im Bild ist noch Plagioklas zu sehen. Hier erfolgt der retrograde Abbau von Granat und Klinopyroxen zu Amphibol (Hornblende) und Plagioklas unter Fluideinfluss.

Bei diesen beiden granatabbauenden Reaktionen ist der entstehende Plagioklas relativ anortitreich und der Klinopyroxen ist relativ wollastonitartig.

3 Mineralchemie

3.1 Granat

3.1.1 Fe betonte-Gabbros

Die Granatkristalle in den Fe-betonten Hochdruckgabbros unterscheiden sich recht stark in der Endgliedzusammensetzung in mol-%. Während Probe 34-1, mit Werten von Prp₄₆₋₅₇, Alm₂₇₋₃₇, Sps_{0,7-1,4}, And_{1,3-11} und Grs_{3,2-15}, sich wenig von Probe 34-3, mit Werten von Prp₄₆₋₅₈, Alm₂₆₋₃₈, Sps_{0,9-1,7}, Adr_{1,3-2,3} und Grs₁₂₋₁₄, unterscheidet, unterscheiden sich die Probe 34-11, mit Werten von Prp_{50,-56}, Alm₃₀₋₃₅, Sps_{1,3-1,9}, And_{0,9-1,3} und Grs_{11,9-12,4}, und Probe 34-19, mit Werten von Prp₃₇₋₄₆, Alm₃₉₋₄₇, Sps_{0,7-1,2}, And₃₋₁₅ und Grs₀₋₁₁ doch erheblich von diesen Werten (Siehe Anhang Tabelle 23-30). Besonders Pyrop- und Almandingehalt sind in Probe 34-19 höher als in den anderen Proben.

Stellt man Grossular- + Andraditgehalt, Almandin- + Spessartingehalt und Pyropgehalt in einem ternären Diagramm dar (Abb.14), so zeigt sich eine positive Korrelation von Almandin- + Spessartingehalt (und damit Fe- + Mn-Gehalt) zum Pyropgehalt (Mg), während der Grossular- + Spessartingehalt fast konstant bleibt. Hieraus ergibt sich, dass der Ca-Gehalt in den Granatkörnern der Ferrogabbros auch nahezu konstant bleibt. Das bedeutet, dass kaum ein Ca-Austausch zwischen dem umgebenden Klinopyroxen und dem Granat stattfindet, wie in der Betrachtung der einzelnen Zonierungen der Granatkörner noch zu sehen sein wird (Abb. 15-23). Die hohen Pyropwerte, besonders in Probe 34-19, deuten auf einen basischen bis ultrabasischen Ursprung hin. Ausgangsgestein ist vermutlich ein Gabbro oder Gabbronorit. Die Granatkörner des hochdruckgranulitfaziellen Stadiums sind häufig zoniert. Sie zeigen mehrheitlich einen sinkenden Gehalt des Endgliedes Pyrop und damit des Mg-Gehaltes zum Rand der Granatkörner und steigenden Almandingehalt (Fe²⁺-Gehalt) zum Rand der Granatkristalle. Dieses Verhalten tritt besonders an der Korngrenze zu rekristallisiertem Klinopyroxen und Klinopyroxenklasten auf. Der Spessartingehalt und somit der Mn-Gehalt der Granatkörner nimmt in vielen Fällen vom Kern zum Rand des Granatkorns zu, was auf retrograde Zonierung, durch Diffusion bewirkt, hindeutet (Abb. 15-24). In einem Fall (Abb. 16) zeigt sich im Spessartinprofil eine oszillierende Zonierung (oscillatory zoning) (CHAKRABORTY & GANGULY 1991). Nur in einem Fall (Abb. 17) deutet die Spessartingehaltverteilung eines Granatkorns annähernd auf eine in der Literatur als „bell shape“-Form bezeichnete Kurve hin, was für eine prograde Zonierung während des Kristallwachstums spricht (SPEAR 1993; TRACY 1982). Einige Granatkörner zeigen dagegen ein anderes Verhalten (Abb. 15, 20). Bei diesen Körnern, die meistens an rekristallisierten Klinopyroxen grenzen, nimmt der Mg-Gehalt und damit der Pyropgehalt zum Rand zu, während der Fe²⁺-Gehalt und somit der Almandinanteil in Richtung Rand des Korns abnimmt.

Dieses Zonierungsverhalten ist in nahezu allen hochdruckgranulitfaziellen Domänen zu beobachten. Der Pyropgehalt in mol-% ist in fast allen untersuchten Proben höher als der Almandingehalt, was ungewöhnlich für eine retrograde Zonierung ist.

Die Verteilung von Grossular (Al^{VI}) und Andradit (Fe³⁺) in den Granatkörnern ist relativ uneinheitlich. Grossular und Andradit zeigen in nahezu allen untersuchten Granatkörnern eine schwache Zonierung. Bei einigen Körnern nimmt der Grossulargehalt (damit der Al^{VI}-Gehalt) randlich leicht ab (z.B. Abb.15). Der Andraditgehalt nimmt bei diesen Körnern zum Rand leicht zu. Bei anderen Körnern

bleibt der Grossulargehalt über das gesamte Korn konstant, während der Andraditgehalt zum Rand leicht zunimmt (Abb. 19-21).

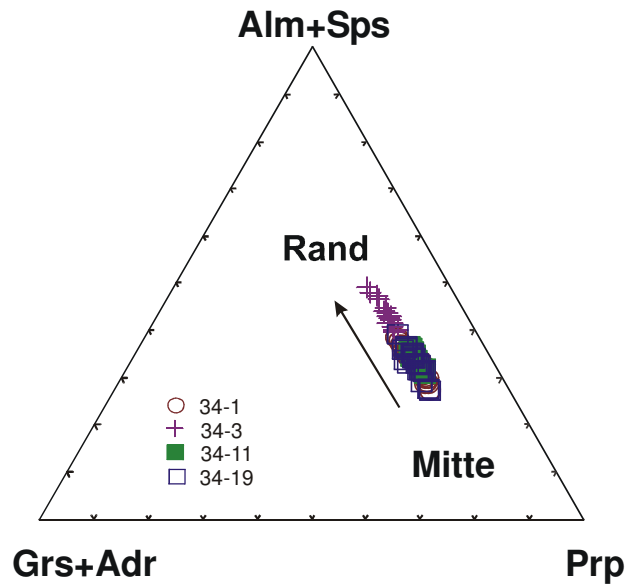


Abbildung 14

Ein ternäres Diagramm des Almandin- + Spessartingehaltes (entspricht $\text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$), des Grossular- + Andraditgehaltes (entspricht $\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+}$) und des Pyropgehaltes (entspricht Mg). Der Pyropgehalt nimmt bis auf Probe 34-1-1 in allen Proben von der Mitte zum Rand ab. Es zeigt sich sehr häufig eine Almandingehaltzunahme (Fe^{2+}) von der Mitte zum Rand der Granatkristalle.

Vielfach besteht eine quadratische Korrelation zwischen der Profillänge und dem Endgliedgehalt des Granatkorns, besonders bei Pyrop und Almandin mit einem Bestimmtheitsmaß (r^2) von über 90% (Abb. 15). Dieses quadratische Verhalten des Pyrop- und Almandingehaltes zur Länge des Kristalls deutet auf eine langsame Abkühlungsrate hin, denn für die Diffusionsstrecke, im eindimensionalen Fall, gilt für eine Komponente folgende Gleichung:

$$h = \sqrt{Dt}$$

h = Strecke im Kristall

D = Diffusionskoeffizient

Der Diffusionskoeffizient ist nach der Arrheniusgleichung folgendermaßen definiert:

$$D = D^0 e^{\frac{-\Delta E - \Delta VP}{RT}}$$

D^0 = Diffusionskonstante

ΔE = Änderung der Aktivierungsenergie.

ΔV = Volumenänderung

P = Druck

T = Temperatur

R = Allgemeine Gaskonstante

(SPEAR 1993).

Die Größe des Flusses oder englisch Flux (J) stellt eine Beziehung zwischen der Diffusionskonstanten (D), der Konzentration des Stoffes (c) und dem Weg x her.

Diese Beziehung wird durch folgende Gleichung ausgedrückt, die auch als erstes Ficksches Gesetz bezeichnet wird:

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

Durch die Diffusionsgleichung, auch zweites Ficksches Gesetz genannt, läßt sich eine Beziehung zwischen Konzentration, der Zeit (t) und dem Weg x herstellen

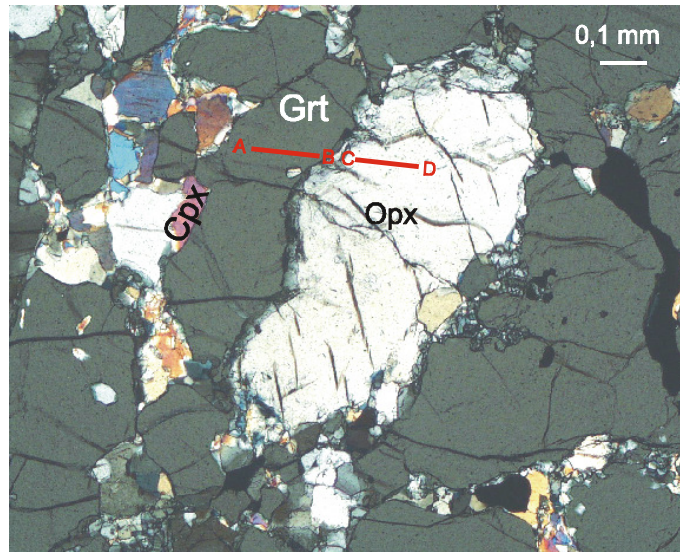
$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$. Diese partielle Differentialgleichung 2. Ordnung ist nur für bestimmte

Anfangs- und Randbedingungen lösbar.

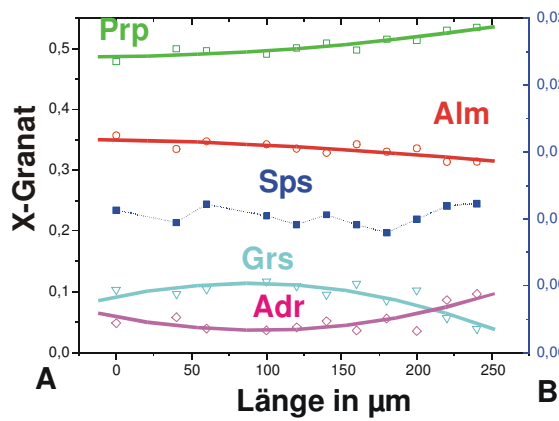
Die Lösungen dieser Gleichung sind mathematisch recht kompliziert und hängen meistens mit der sogenannten Error-function zusammen, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll. Unter bestimmten Randbedingungen gilt für einen

Granatkristall, dass der Radius (a) proportional zu \sqrt{Dt} ist, was auch der oben gezeigten Gleichung entspricht (CHAKRABORTY & GANGULY 1991). Bei einigermaßen konstantem D lassen sich so auch die häufig gemessenen quadratischen positiven Korrelationen zwischen der Streckenlänge des Granatkristalles und den Pyrop- und Almandingehalten im Kristall erklären (Abb. 15, 16, 17, 20-24).

Der Spessartingehalt in den Ferrogabbro-Proben ist insgesamt sehr gering. In einigen Proben bleibt auch der Gehalt an Pyrop und Almandin fast völlig konstant (Abbildung 18-21). Diese Domänen eignen sich prinzipiell gut für die Anwendung von Mg-Fe-Austauschthermometrie, da hier kaum eine Zonierung zum Rand stattfindet und die Orthopyroxene weitestgehend unzoniert sind. Weil Kinetik in diesen Domänen kaum eine Rolle gespielt hat, läßt sich bei solchen Domänen die Peak-Temperatur durch Mikrosondenmessung gut ermitteln (LASAGA 1983).



Schliff 34-1-1, Granat



Schliff 34-1-1, Orthopyroxen

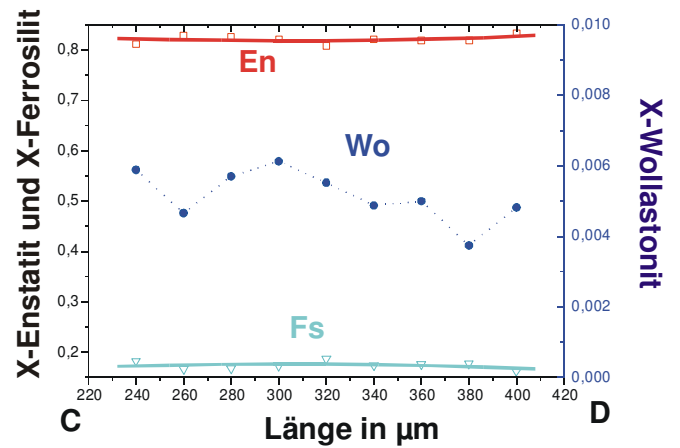


Abbildung 15

Schliff 34-1-1: Mikrosondenprofil über ein Granatkorn und ein Orthopyroxenkorn. Das Orthopyroxenkorn ist, wie oben beschrieben, ein klastisches Altkorn. Dieses wird von einem Kranz aus relativ großen Granatkörnern umgeben, während der umgebene Cpx meist neu gebildet ist. Gemessen wurde fast über das gesamte Granatkorn und im Orthopyroxenkorn vom Rand zur Mitte. Der Uwarowitgehalt von Granat wurde verrechnet, aufgrund des zu vernachlässigenden Anteils im Profil aber nicht berücksichtigt. Aufgrund des sehr geringen Spessartingehaltes im Granat und des Wollastonitgehaltes im Orthopyroxen wurden diese Gehalte auf der rechten Skala aufgetragen, um überhaupt einen Trend erkennen zu können. Die Werte der gestrichelten Linien sind in dieser und in allen folgenden Abbildungen auf der rechten Achse dargestellt. Die repräsentativen Meßwerte sind im Anhang in Tabelle 23 dargestellt.

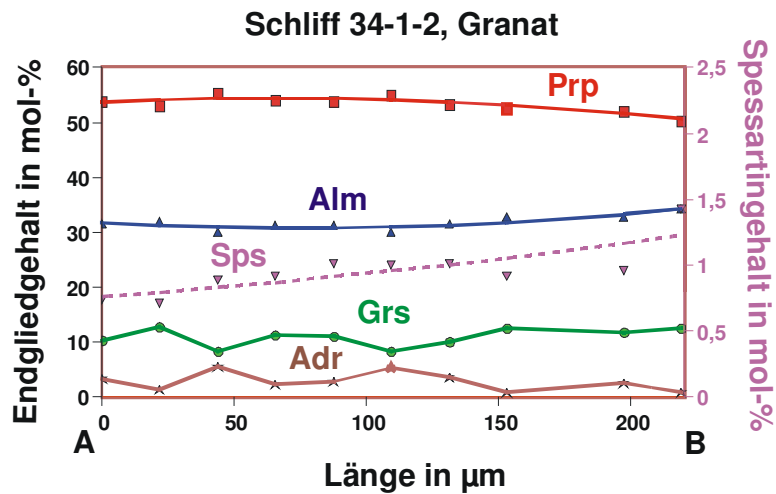
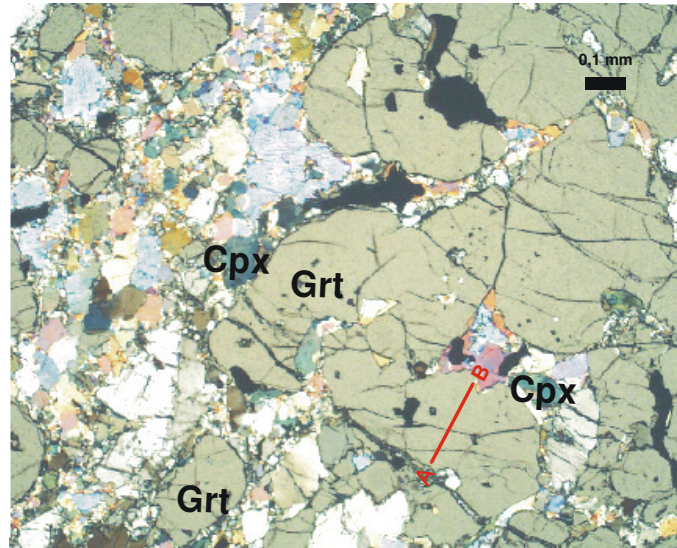
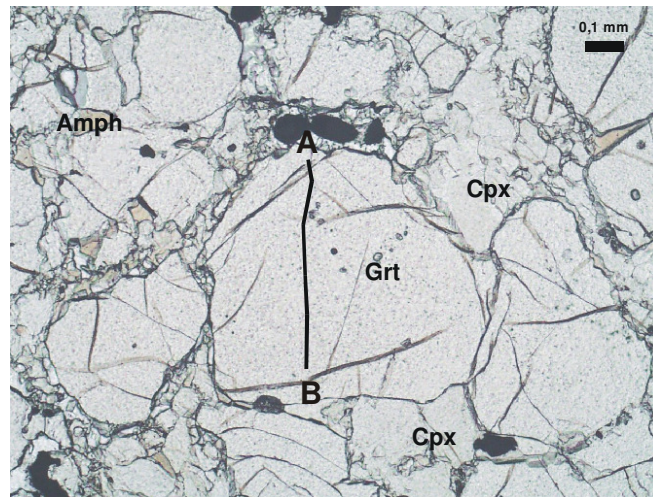


Abbildung 16

Schliff 34-1, Domäne 2: Mikrosondenprofil über ein Granatkorn gemessen. Das Korn grenzt an ein Kornpflaster aus dynamisch rekristallisiertem Klinopyroxen. Das Endglied Uwarowit wurde wie in Abb. 15 beschrieben behandelt. Es ist ein leichter Anstieg des Almandingehaltes zum Rand des Granatkorns zu beobachten. Der Pyropgehalt ist höher als der Almandingehalt, nimmt aber zum Rand des Kornes leicht ab. Pyrop- und Almandingehalt korrelieren recht gut quadratisch mit der Länge der Strecke, während der Andradit- und Grossulargehalt nahezu ein fast oszillierendes Verhalten zeigen. Die hierzu gehörigen Messdaten sind in Tabelle 24 nachzulesen.



Schliff 34-1-3, Granat

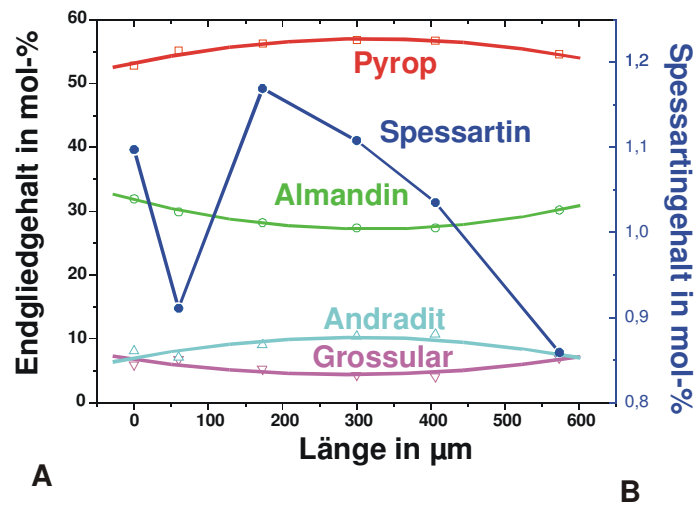


Abbildung 17

Schliff 34-1 Domäne 3: Ein Profil über ein Granatkorn, welches von Klinopyroxen (sowohl rekristallisiert als auch Klasten) und rekristallisierter Hornblende umgeben ist. Dieses Profil fällt dadurch auf, dass der Spessartingehalt hier bis auf einen Ausreißerwert vom Rand zum Kern zunimmt, was auf eine Zonierung beim Wachstum des Kristalls hindeutet. Die ursprüngliche Zonierung scheint hier nicht oder kaum durch spätere Diffusionsprozesse vom Rand des Kristalls aus zerstört worden zu sein. Die hierzu gehörigen Meßdaten sind in Tabelle 24 nachzulesen.

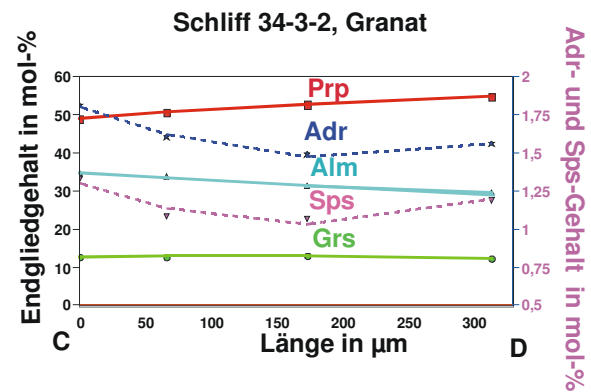
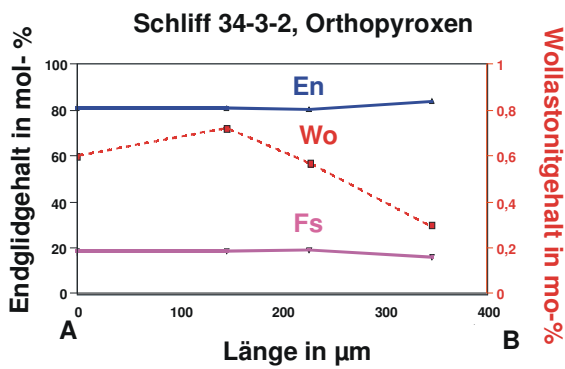
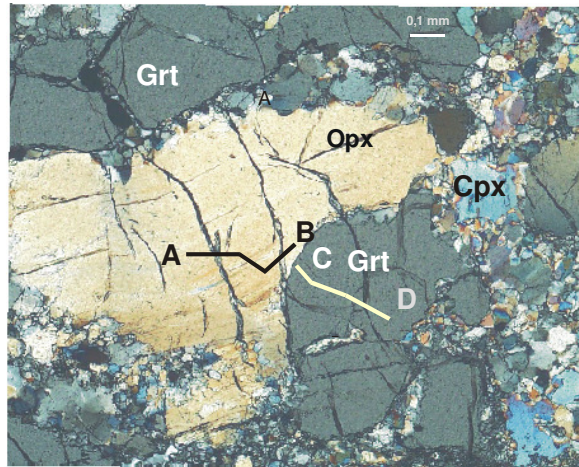


Abbildung 18

Schliff 34-3, Domäne 2:

Profile über ein Orthopyroxen- und ein angrenzendes Granatkorn. Enstatitgehalt (Mg) und Ferrosilitgehalt (Fe^{2+}) bleiben über die Länge des Pyroxenkristalls relativ konstant. Der Wollastonitgehalt (Ca) ist auf der rechten y-Achse aufgetragen. Er nimmt vom Kern zum Rand ab. Im angrenzenden Granatkristall nimmt der Pyropgehalt (Mg) vom Rand zum Kern leicht zu, während der Almandingehalt dazu korrespondierend vom Rand zum Kern abnimmt. Der Andradit- und der Spessartingehalt sind auf der rechten y-Achse aufgetragen. Der Spessartingehalt (Mn) nimmt im Granat vom Rand zum Kern ab. Der Grossulargehalt ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) bleibt vom Rand zur Mitte konstant, während der Andraditgehalt (Fe^{3+}) vom Rand zum Kern des Kristalls abnimmt. Das Verhältnis von Mg zu Fe^{2+} bleibt bei dieser Probe im Grt und Opx zwischen Rand und Mitte relativ konstant innerhalb dieser Domäne (Siehe Tabelle 26).

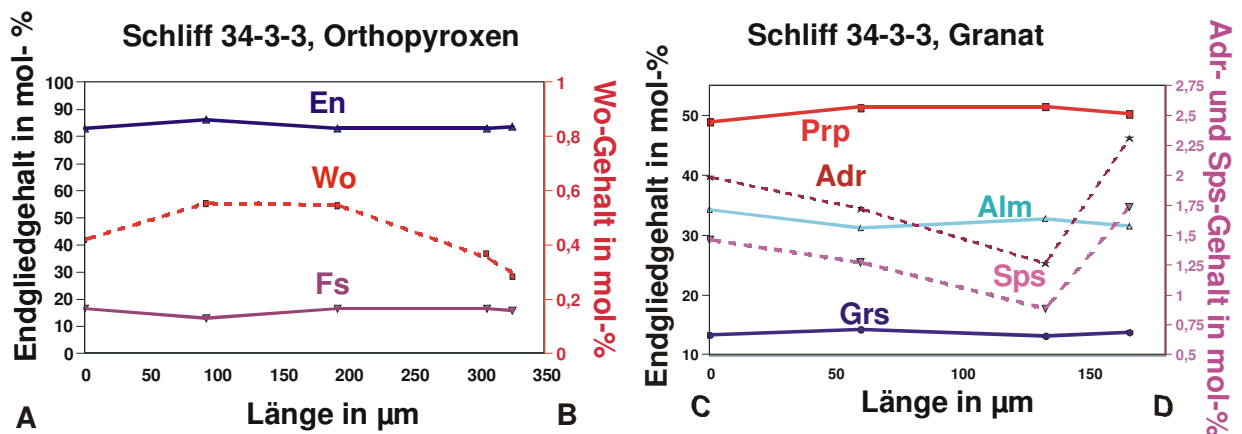
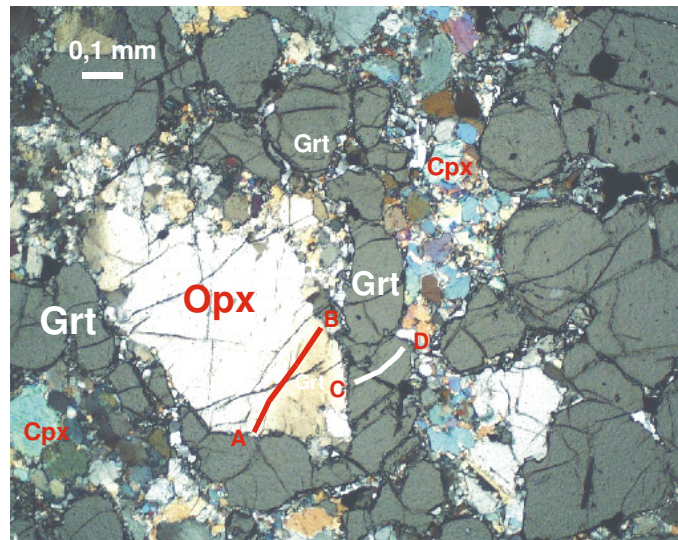
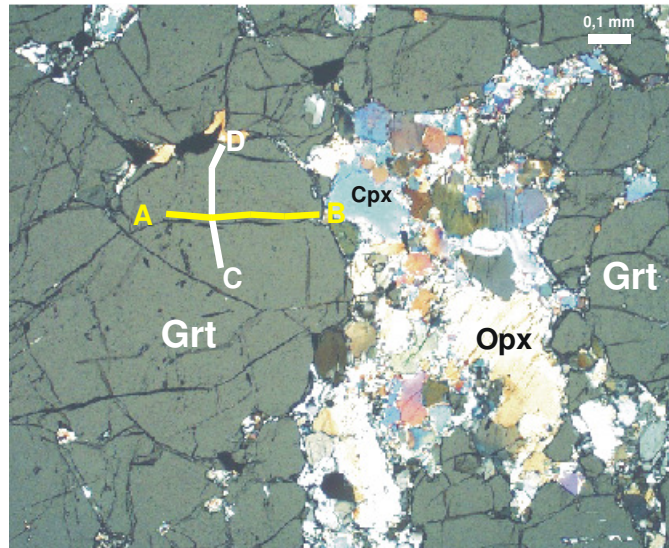
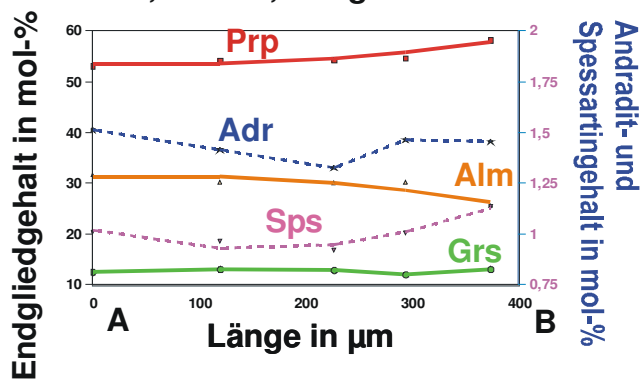


Abbildung 19

Schliff 34-3, Domäne 3: Profil über ein Orthopyroxenkorn und ein angrenzendes Granatkorn, welches zu einem Kranz aus Granat um das Orthopyroxenkorn gehört. Andradit- und Spessartingehalt sind an der rechten y-Achse aufgetragen. Sowohl der Enstatitgehalt (Mg) als auch der Ferrosilitgehalt (Fe^{2+}) sind auch in diesem Profil über den Orthopyroxen vom Rand zum Kern relativ konstant. Der Wollastonitgehalt (Ca) des Orthopyroxenes steigt vom Rand zum Kern des Kristalls leicht an, während der Grossulargehalt ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$) im Granatkristall konstant bleibt. Auch der Pyrop- und der Almandingehalt bleiben innerhalb des Granatkorns relativ konstant. Der Spessartingehalt (Mn) und auch der Andraditgehalt (Fe^{3+}) sinken in ähnlicher Weise zum Kern des Granatkorns ab.



Schliff 34-3-4, Granat, waagrechtes Profil



Schliff 34-3-4, senkrechtes Profil

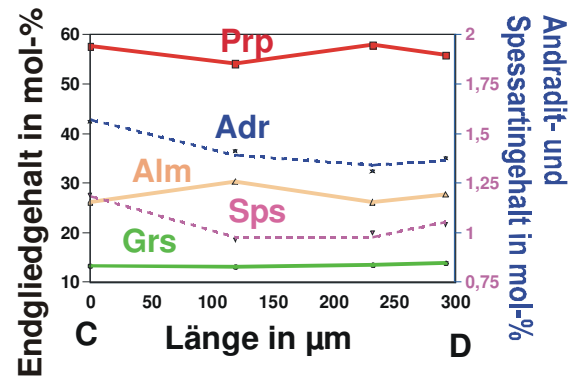


Abbildung 20

Schliff 34-3 Domäne 4:

Zwei Profile über ein Granatkorn, welches an eine aus Klinopyroxenen und Orthopyroxenen bestehende Matrix grenzt. Im waagerechten Profil nimmt, wie zu sehen ist, der Pyropgehalt (Mg) in mol-% von der Mitte zum Rand zu, während der Almandingehalt (Fe^{2+}) zum Rand hin abnimmt. Der Pyrop- und Almandingehalt korreliert hier recht gut quadratisch mit der Profilstrecke mit Bestimmtheitsmaßwerten (r^2) von ca. 80%. Der Andraditgehalt ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) steigt von der Mitte zum Rand an. Auch der Spessartingehalt (Mn) steigt von der Mitte zum Rand an, was auf Diffusion von der randlichen Matrix hindeutet. Der Grossulargehalt ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) bleibt über den gesamten Granatkristall weitestgehend konstant.

Das senkrechte Profil zeigt ein leicht anderes Bild, weil hier nicht vom Kontakt zu der Cpx-Opx Matrix gemessen wurde, sondern vom Kontakt zu einem von Amphibol umgebenen Erzkorn bis zur Mitte des Granats. Andraditgehalt ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) und Spessartingehalt (Mn) sinken wie bei der waagerechten Messung auch vom Rand zur Mitte ab. Pyrop-(Mg) und Almandingehalt zeigen geringe Schwankungen über die Strecke gesehen, aber keinen einheitlichen Trend.

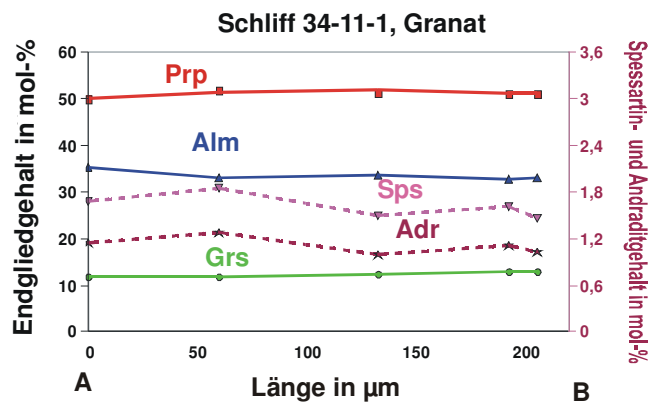
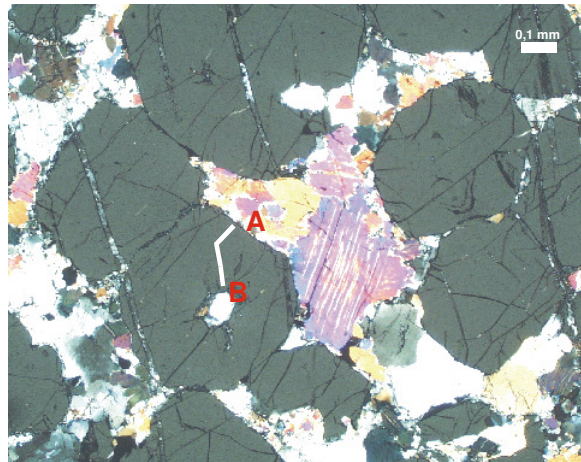
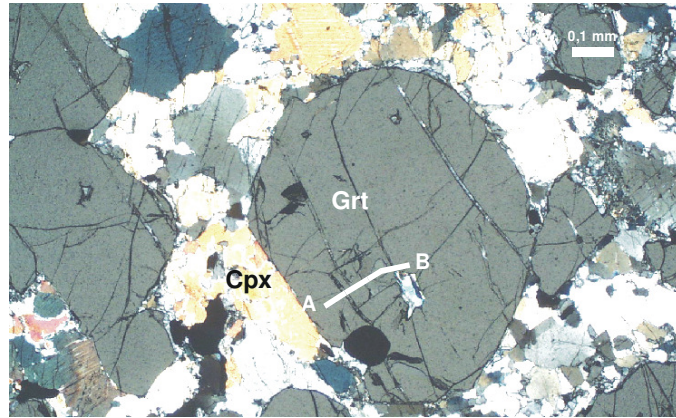


Abbildung 21

Schliff 34-11, Domäne 1: Dargestellt ist ein Profil über ein Granatkorn, welches vom Rand des Kornes bis zu einer Matrix aus rekristallisierten Klinopyroxenen reicht. Pyrop- und Almandingehalt sind über die Strecke relativ konstant. Der Spessartingehalt (Mn) und der Andraditgehalt ($\text{Ca}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$) schwanken leicht unregelmäßig über die Strecke. Der Grossulargehalt ($\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$) bleibt relativ konstant mit der Strecke.



Schliff 34-11-2, Granat

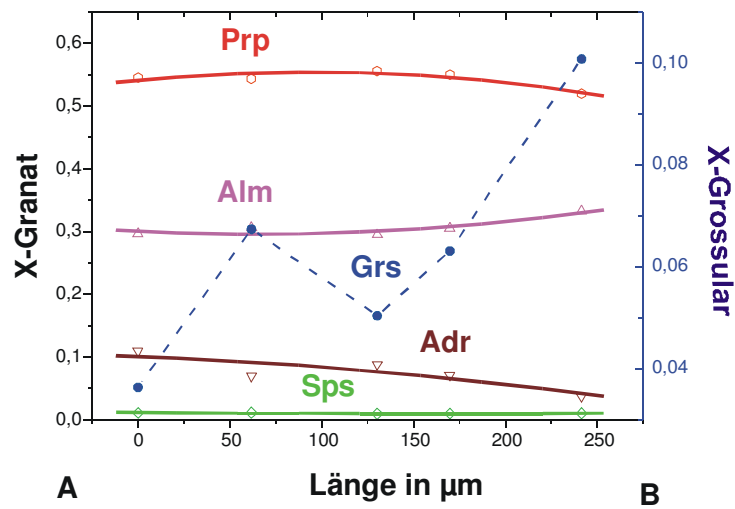
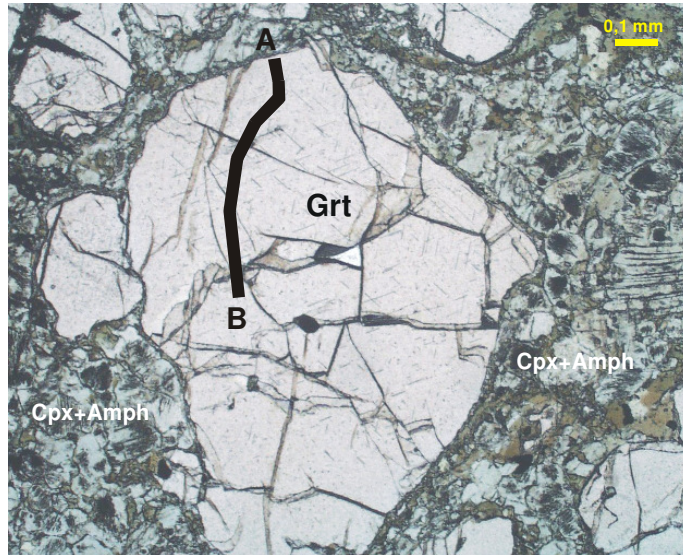


Abbildung 22

Schliff 34-11, Domäne 2: Profil über ein Granatkorn, welches an einen rekristallisierten Klinopyroxen grenzt. Die berechneten Kurven des Pyrop- und Almandingehaltes über die Strecke verlaufen relativ flach. Der Grossulargehalt schwankt stark. Der Andraditgehalt sinkt mit der Länge leicht ab von 10% auf unter 5%.



Schliff 34-19-1, Granat

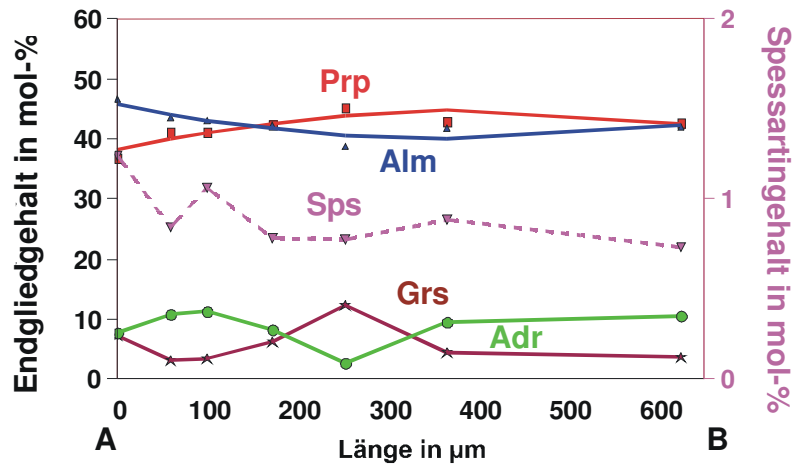


Abbildung 23

Schliff 34-19, Domäne 2: Dünnschliffphoto im einfach polarisierten Licht.. Profil über ein Granatkorn mit randlich angrenzenden Amphibol und Klinopyroxen. Die Kurven des Pyrop- und Almandingehaltes über die Strecke korrelieren quadratisch. Der Almandingehalt sinkt vom Rand zum Kern leicht ab, während der Pyropgehalt vom Rand zum Kern ansteigt. Der Gehalt der anderen Granatendglieder schwankt relativ stark über die Strecke.

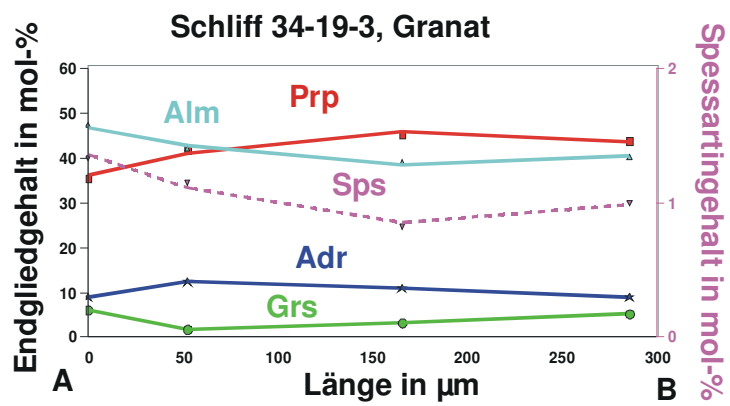
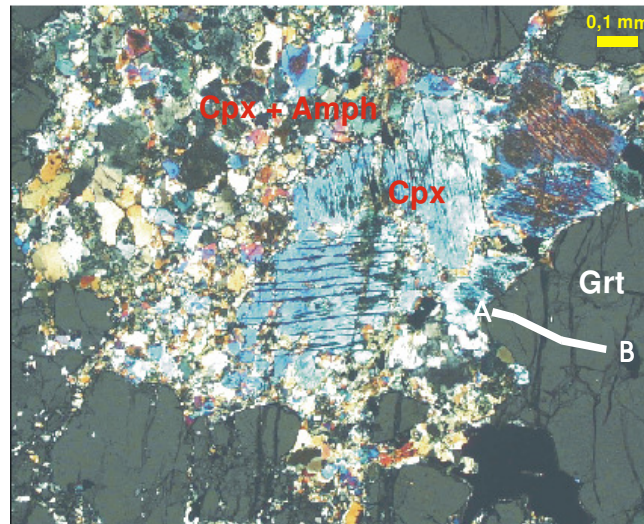


Abbildung 24

Schliff 34-19, Domäne 3: Ein Profil über Granatkorn gemessen, welches an eine Matrix aus rekristallisierten Cpx und Amph grenzt. Die Endgliedgehalte von Pyrop und Almandin zeigen im Profil vom Rand zum Kern einen antagonistischen Verlauf. Der Pyropgehalt sinkt zum Rand des Granatkorns, während der Almandingehalt zum Rand des Korn ansteigt. Andradit- und Grossulargehalt bleiben relativ konstant, während der Spessartingehalt vom Rand zum Kern auf niedrigem Niveau leicht absinkt.

3.1.2 Amphibolitfazielles Stadium der Fe-betonten Gabbros

Die untersuchten Granatkörner des amphibolitfaziellen Stadiums der basischen Granulite zeigen ein anderes Verhalten als die Fe-betonten-Gabbros, aus denen sie durch Hydratation entstanden sind. Dieses Gestein bildete sich durch Fluidinfiltration in Fugen der Ferrogabbros. Die gemessenen Proben zeigen mit 0,9-4,8 mol-% einen erhöhten Spessartingehalt. Der Pyropanteil (Mg) reicht von 32,3-56,1 mol-%, was in etwa dem Pyropgehalt der Ferrogabbro-Proben entspricht. Der Almandingehalt der gemessenen Granatkörner liegt bei 27,8 mol-% - 49 mol-%. Werden Almandin- + Spessartingehalt und Grossular- + Andraditgehalt und der Pyropgehalt in einem Dreiecksdiagramm aufgetragen, so zeigt sich ein Trend von ansteigenden Almandingehalten von der Mitte zum Rand der Granatkristalle (Abb. 25). Der Kalziumgehalt der Proben bleibt von der Mitte zum Rand der Granatkristalle relativ konstant.

Die gemessenen Profile des Spessartingehalts (Mn) in mol-% zeigen vom Rand über die Mitte zum Rand des Granatkorns eine Form, die dem Buchstaben W- ähnelt, was darauf beruht, dass Mn aus der Amphibolmatrix bei der retrograden Abkühlung des Gesteins in den Granat diffundiert (Abb. 26,27), wobei Schliff 34-7-3 diese W-Form des Spessartingehalts nicht zeigt (Abb. 28). Dabei wird die ursprüngliche Glockenform des Spessartins zur W-Form verändert. Die Diffusionsgeschwindigkeit von Mn im Granat ist sehr viel langsamer als in der Amphibolmatrix (MARKL 2004).

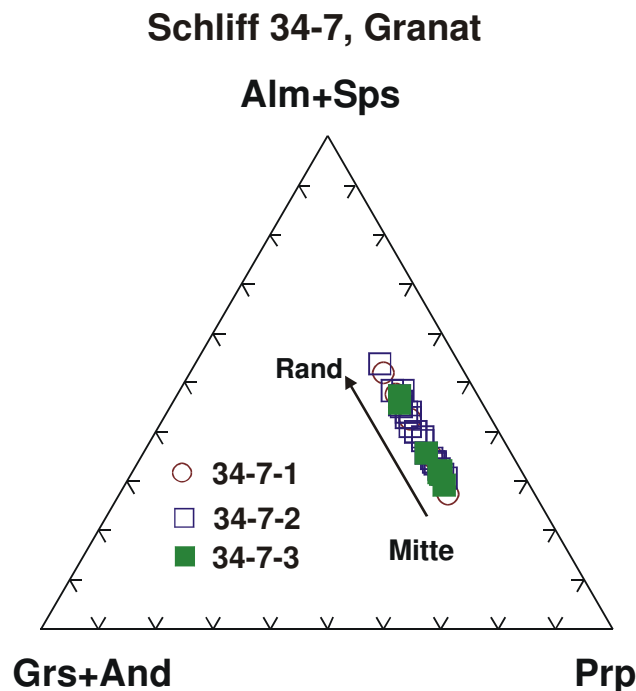
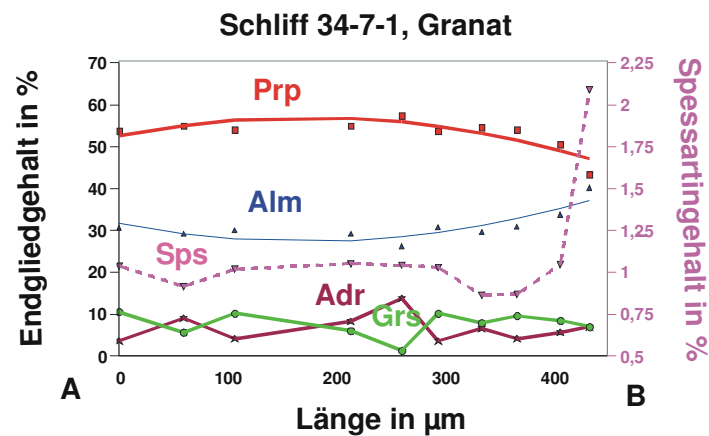
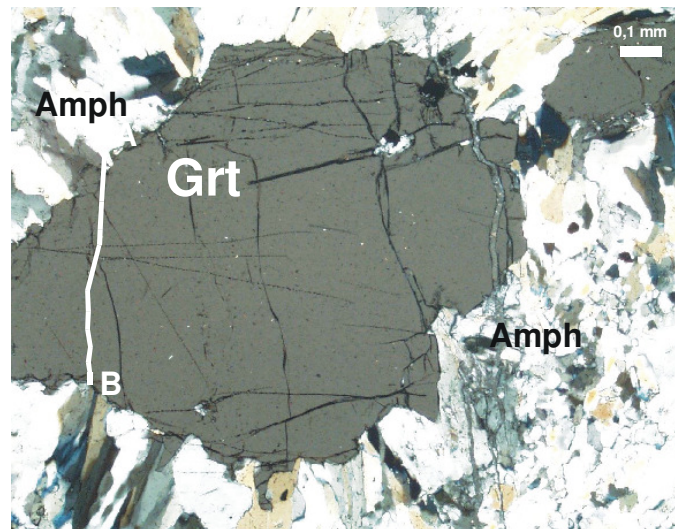


Abbildung 25

Schliff 34-7:

Ein Dreiecksdiagramm von Almandin- + Spessartingehalt in mol-% und Grossular-+Andraditgehalt in mol-% und Pyropgehalt in mol-%. An den Ecken des Dreiecks sind jeweils 100% der angegebenen Komponente enthalten. Es zeigt sich in diesem Diagramm ein deutlicher Trend von erhöhtem Almandin- und Spessartingehalt vom Kern zum Rand der Granatkristalle.

**Abbildung 26**

Schliff 34-7, Domäne 1: Profil über einen Granatkristall in einer Matrix aus Amphibol. Der Pyropgehalt (Mg) in mol-% nimmt von der Mitte zum Rand des Granatkristalls leicht ab, während der Almandingehalt in mol-% zum Rand des Granatkristalls zunimmt. Der Spessartingehalt (Mn) zeigt eine W-Form, was darauf hindeutet, dass in der Mitte des Granatkristalls die prograde Wachstumszonierung erhalten geblieben ist und zum Rand des Granatkristalls eine retrograde Diffusion von Mn aus der Amphibolmatrix stattgefunden hat. Die Messwerte sind in Tabelle 38 aufgetragen.

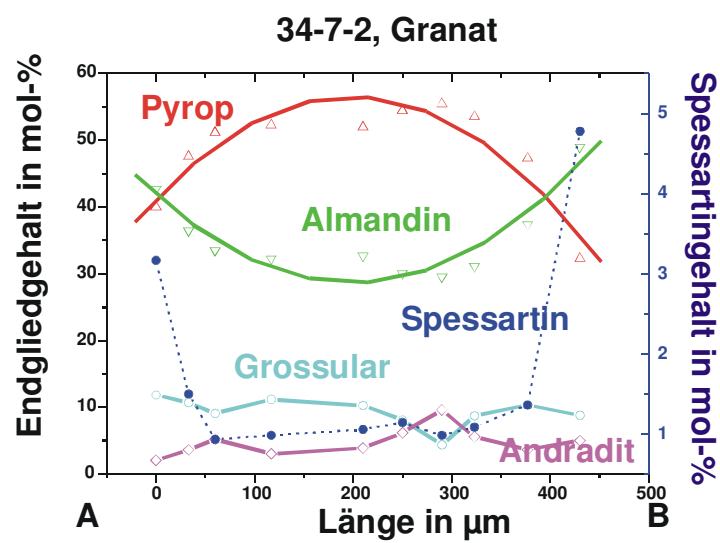
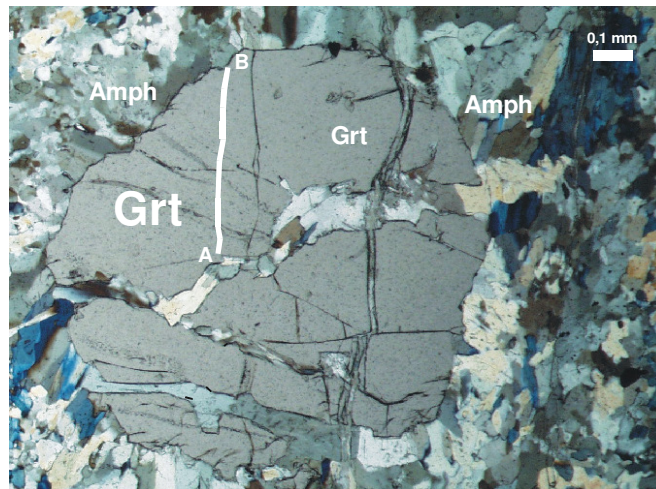


Abbildung 27

Schliff 34-7, Domäne 2: Profil über ein zerbrochenes, stark korrodiertes Granatkorn in einer Matrix aus Amphibol und untergeordnet Klinopyroxen. Der Pyropgehalt (Mg) sinkt von der Mitte zum Rand des Granatkristalls relativ stark ab, während der Almandingehalt (Fe^{2+}) zum Rand des Kristalls ansteigt. Der Spessartingehalt steigt zum Rand des Granatkristalls relativ stark an, was auf retrograde Diffusion von Mn aus der Amphibolmatrix in den Granatkristall hindeutet. Diese Zonierung findet bei Temperaturen von über 600 °C statt (SPEAR 1993). Hierbei spielen auch Fluide eine Rolle.

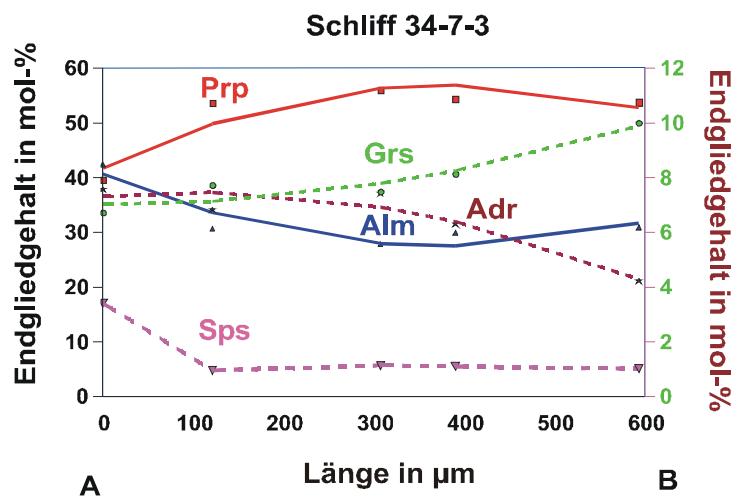
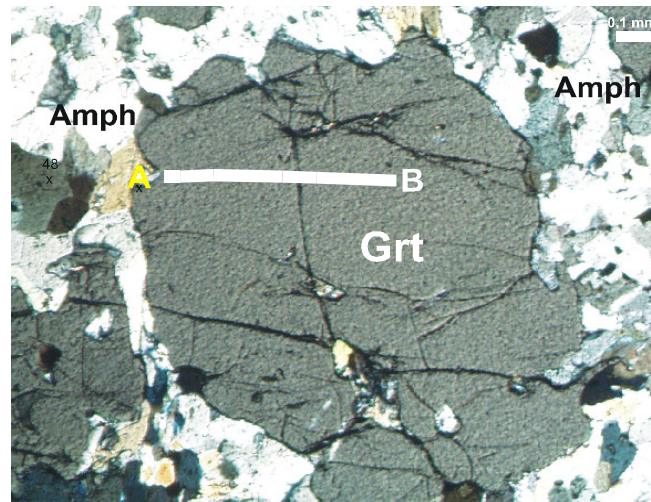


Abbildung 28

Schliff 34-7, Domäne 3: Profil über einen Granat in einer Matrix aus Amphibol und untergeordnet Klinopyroxen. Auch bei diesem Profil fällt der Pyropgehalt (Mg) von der Mitte zum Rand des Granatkorns ab, während der Almandingehalt (Fe^{2+}) von der Mitte zum Rand des Granatkorns zunimmt. Der Spessartingehalt bleibt relativ konstant und steigt zum Rand des Granatkristalls leicht an. Hier ist die ursprüngliche Mn-Zonierung retrograd verändert worden. Der Grossulargehalt ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) fällt von der Mitte zum Rand ab, während der Andraditgehalt ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) von der Mitte zum Rand zunimmt. Auch hier sind die Endgliedgehalte der gestrichelten Kurven auf der rechten Y-Achse dargestellt. Die Messwerte sind im Anhang in den Tabellen 38-40 aufgetragen.

3.1.3 Mg-betonte Kumulatgabbros

Die Granatkörner der Kumulatgabbro Proben fallen durch einen deutlich höheren Almandinanteil (Fe^{2+}) in mol-% als bei den plagioklasfreien Fe-betonten-Gabbros auf. Mit Ausnahme von Probe 34-22-1 (Abb.37), zeigen alle Granatkörner im Profil einen deutlich höheren Almandinanteil (Fe^{2+}) als Pyropanteil (Mg). Im Allgemeinen steigt der Almandinanteil zum Rand des Granatkorns an, während der Pyropanteil randlich abnimmt (Abb. 30-37). Ausnahmen bilden die Profile, bei denen das Granatkorn an ein Plagioklaskorn angrenzt. Hier zeigt sich kein randlicher Pyropabfall und kein Almandinanstieg. Diese Profile zeigen keine Fe- und Mg-Zonierung (Abb. 32-33). Werden die Mikrosondenmessungen der Granatkristalle in einem ternären Diagramm aufgetragen, wie bei den Ferrogabbros, ergibt sich ein Trend mit deutlich höheren Almandingehalten und niedrigeren Pyropgehalten als in den Ferrogabbros (Abb.25). Auch hier ergibt sich eine positive Korrelation von Alm+Sps und Prp. Die Granatkörner zeigen in den Kumulatgabbros ein anderes Verhalten als im hochdruckgranulitfaziellen Stadium. Hier tauchen randlich Reaktionsfronten auf, wie z.B. in Abbildung (26). Der Almandingehalt und damit auch der Fe-Gehalt in mol-% steigt randlich an. Der Spessartingehalt (Mn) dieses Granatkorns steigt vom Kern zum Rand auf dem Niveau von 1,5 bis 4,5 mol-% relativ stark an. Dieses Verhalten liegt an der randlich etwas schnelleren Diffusion aus dem umliegenden Amphibol in den Granat als in der Mitte des Granates. Mn ist sehr mobil und daher fällt der Anstieg auf niedrigem Niveau relativ hoch aus (MARKL 2004). Die granulitfaziellen Granatkristalle zeigen fast alle im Profil einen randlich ansteigenden Spessartingehalt (Mn) in mol-% und einen randlich abfallenden Pyropgehalt (Mg) und einen höheren Almandingehalt als Pyropgehalt, was typisch ist für eine retrograde Zonierung bei Temperaturen von über 600 °C (SPEAR 1993).

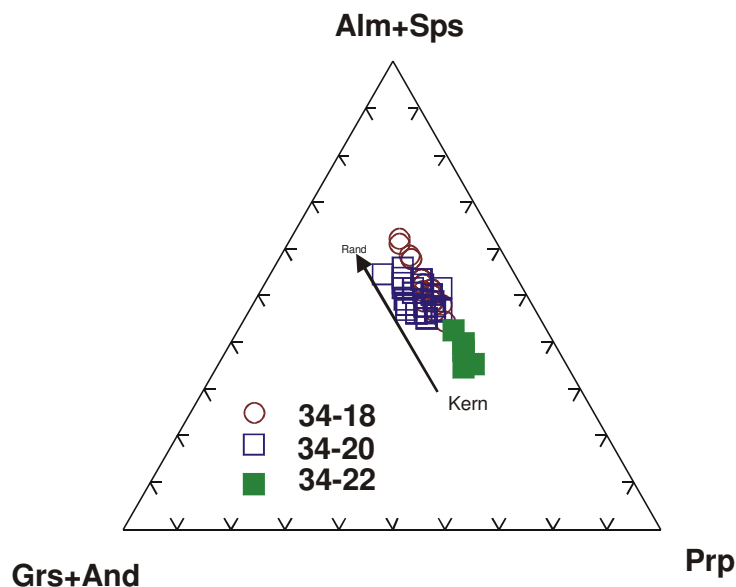
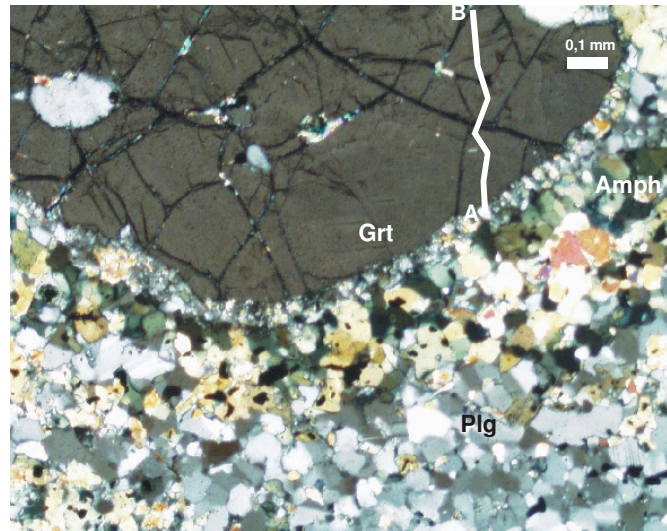


Abbildung 29

Dieses ternäre Diagramm stellt den Almandin- + Spessartingehalt zu Grossular- + Andraditgehalt und Pyrop dar. Das Granatkorn aus Schliff 34-22 (siehe Abbildung 34) zeigt dabei einen höheren Pyropanteil als die anderen Proben (Abbildungen 28-33), wobei das beprobte Granatkorn einen abnehmenden Pyropgehalt von der Mitte zum Rand zeigt (Probe 34-22).



Schliff 34-18-1, Granat

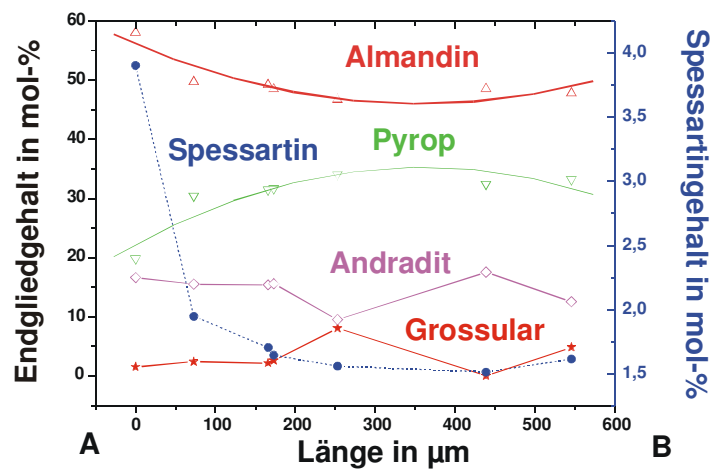


Abbildung 30

Schliff 34 –18, Domäne 1: Profil über einen Granat mit randlicher Korona aus Klinopyroxen. Bei diesem Profil ist der Almandingehalt (Fe^{2+}) höher als der Pyropgehalt (Mg). Der Gehalt an Almandin (Fe^{2+}) sinkt vom Rand zur Mitte des Granatkorns ab, während der Pyrop vom Rand zur Mitte ansteigt. Der Spessartingehalt (Mn) sinkt auf relativ niedrigem Niveau vom Rand zur Mitte leicht ab. Dieses Profil ist typisch für eine retrograde Zonierung. Die Messergebnisse sind in Tabelle 31 aufgetragen.

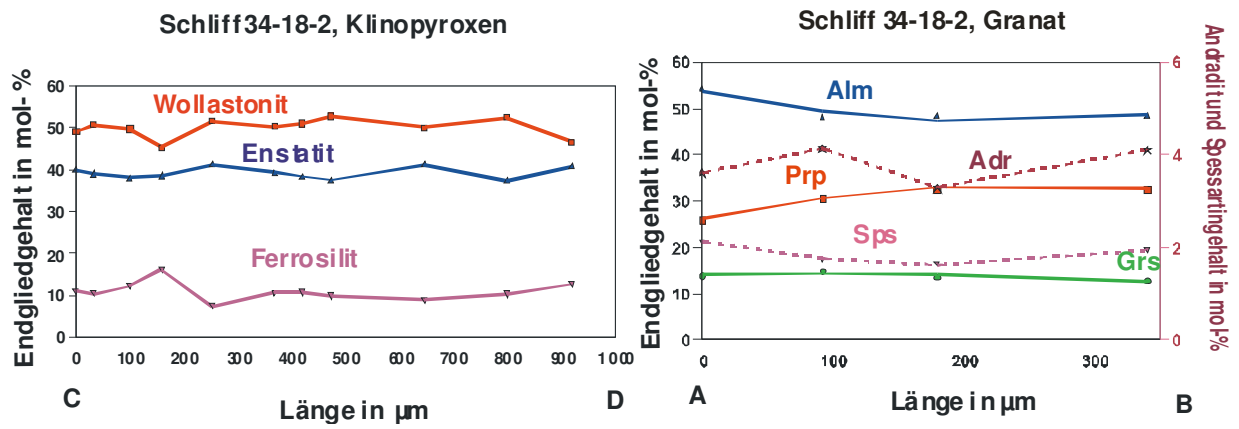
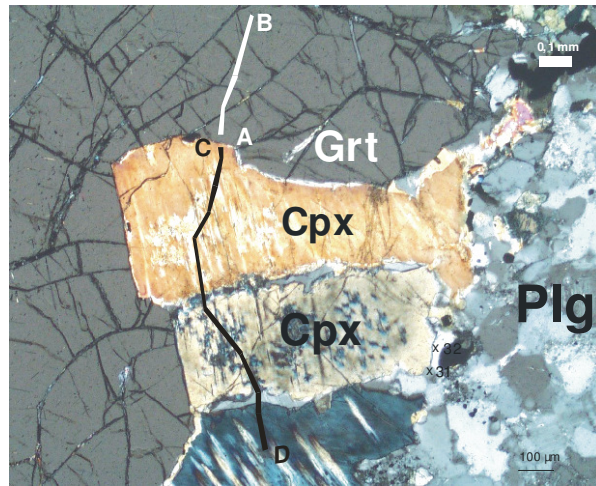


Abbildung 31

Schliff 34-18, Domäne 2: Profil über einen Granat und einen Klinopyroxenkristall, welche in Kontakt miteinander stehen. Die Profile für Almandin und Pyrop zeigen relativ flache Steigungen, was sie für klassische Fe-Mg-Geothermometrie eignen läßt. Der Pyropgehalt steigt randlich leicht an, während der Almandingehalt zum Opx leicht abfällt. Der Klinopyroxen ist unzoniert. (Siehe Tabelle 32).

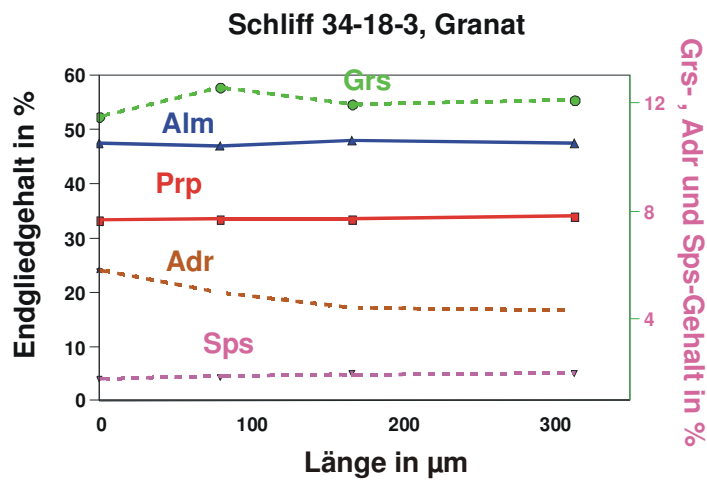
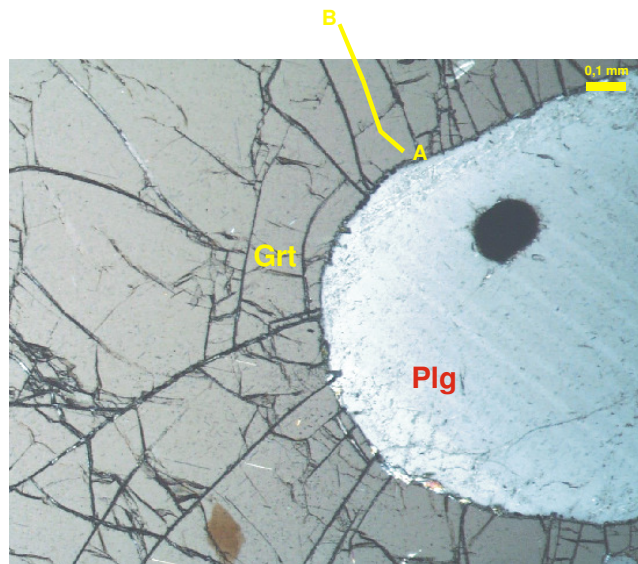
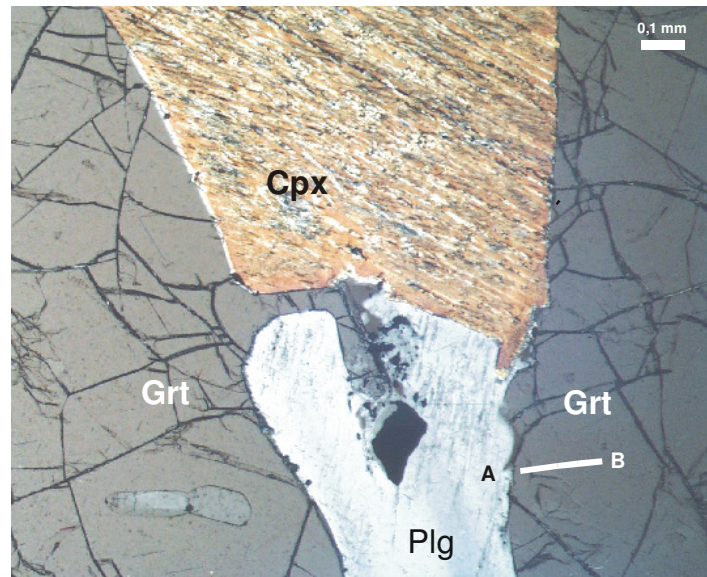


Abbildung 32

Schliff 34-18, Domäne 3: Profil über einen Granat, welcher an einen Plagioklaseinschluss grenzt. Hier zeigt sich, dass Pyrop (Mg)- und Almandingehalt (Fe^{2+}) nahezu konstant sind. Auch der Grossulargehalt ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$) bleibt relativ konstant, während Andradit ($Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$) zum Rand leicht zunimmt. Der Granatkristall ist in diesem Bereich nicht zoniert (Siehe Tabelle 32).



Schliff 34-18-4, Granat

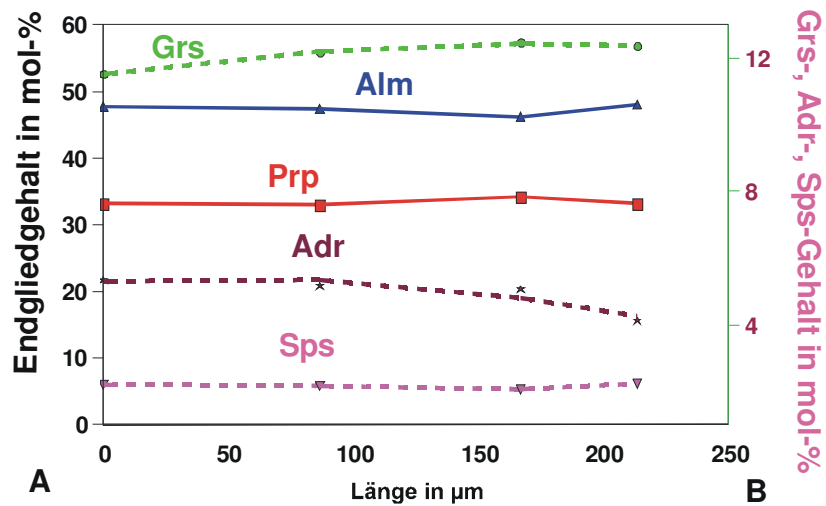


Abbildung 33

Schliff 34-18, Domäne 4: Profil über ein Granatkorn mit eingeschlossenen Cpx und Pl. Hier wurde am Rand des Pl gemessen. Hier zeigt sich, dass Pyrop (Mg) und Almandin (Fe) über die Länge der Strecke weitestgehend unzoniert geblieben sind. Der Grossulargehalt ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) steigt vom Plg-Einschluss zum Kern leicht an, während der Andraditgehalt ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) vom Plg-Einschluss zum Granatkern leicht abnimmt (Siehe Tabelle 32).

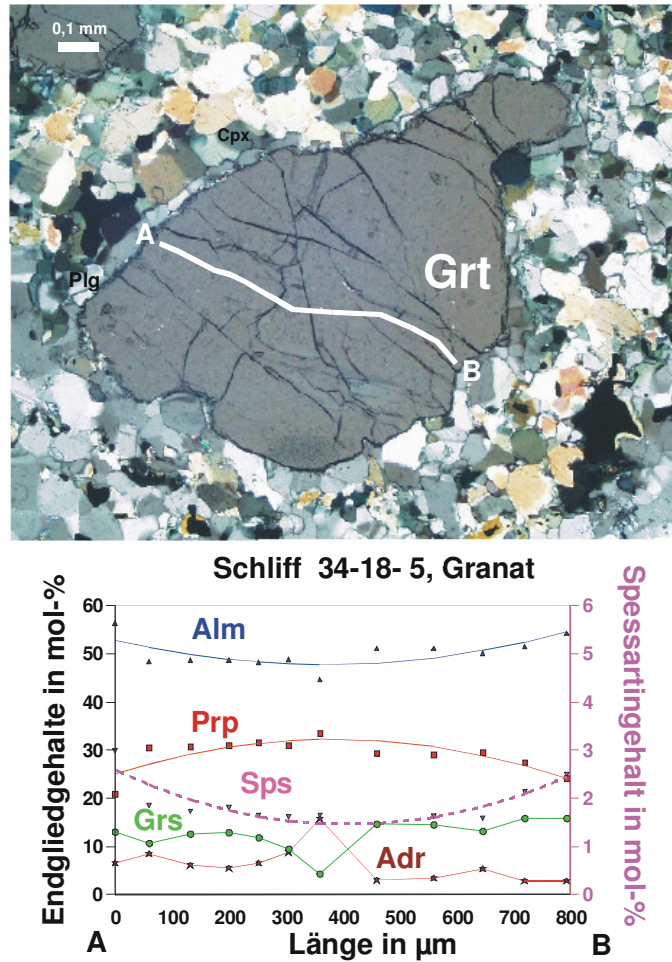
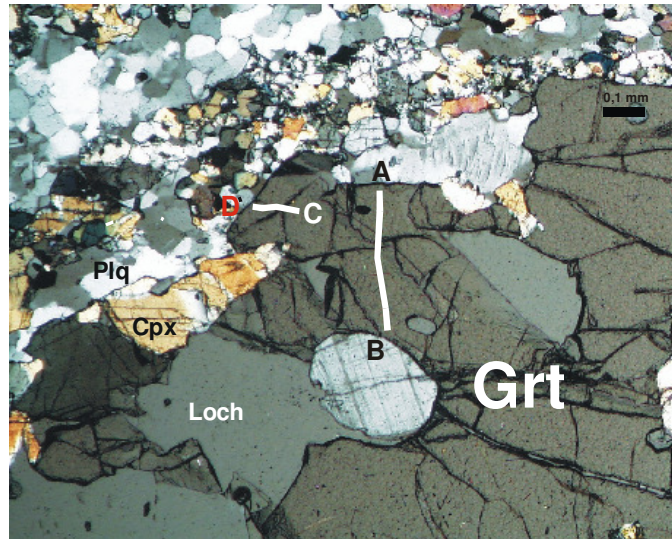
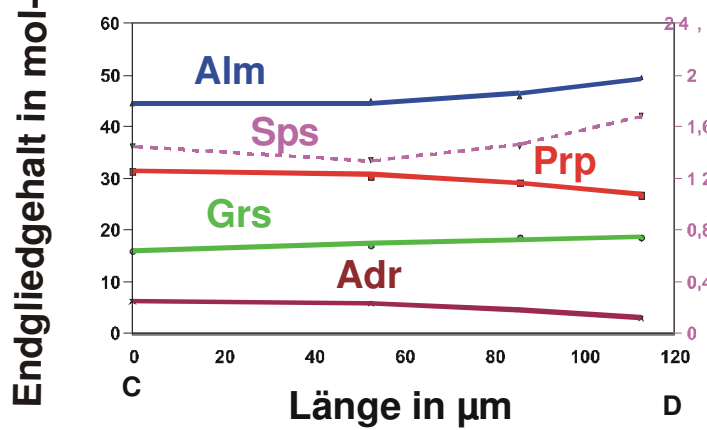


Abbildung 34

Schliff 34-18, Domäne 5: Oben ist das Dünnschliffbild eines Granatkorns mit angrenzendem Plagioklas, Klinopyroxen und untergeordnetem Erz zu sehen. Im Bild unten ist das gemessene Profil über das Granatkorn dargestellt. Der Almandingehalt steigt von ca. 48 mol-% auf ca. 56 mol-% am Rand des Granatkorns an. Der Pyropgehalt nimmt vom Kern mit 33,6 mol-% zu den Rändern mit 21,0- bzw. 24,3 mol-% relativ stark ab. Der Spessartingehalt (Mn) nimmt auf niedrigem Niveau von der Mitte zu den Rändern zu. Der Grossulargehalt und Andraditgehalt zeigen eine leicht oszillierende Zonierung. Dieses Profil zeigt eine Retrograde, durch Diffusion bewirkte Zonierung (siehe Tabelle 33).

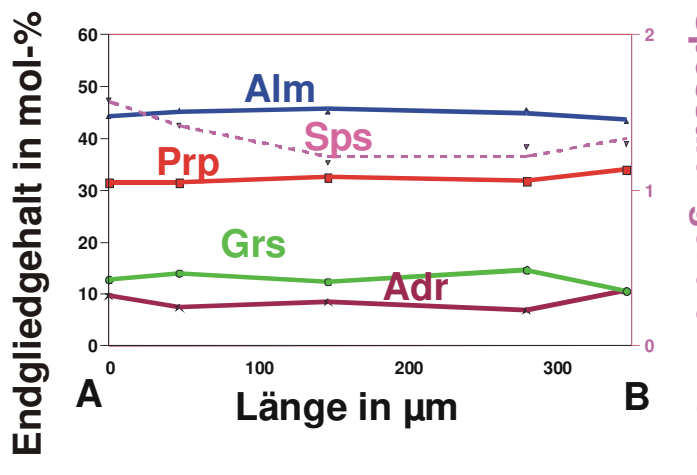


Schliff 34-20-2 Waagerechtes Profil



Spessartingehalt in mol-%

Schliff 34-20-2, Granat, senkrechtes Profil



Spessartingehalt in mol-%

Abbildung 35

Schliff 34-20, Domäne 2: Zwei Profile, welche über einen Granat gemessen wurden. Das senkrechte Profil wurde von einem PI- Einschluss bis zum Rand der Matrix aus Cpx und Pl gemessen. Das waagerechte Profil wurde vom Rand der Matrix in Richtung Mitte des Granats gemessen. Der Almanningehalt im waagerechten Profil C-D steigt von der Mitte zum Rand des Granatkristalls an. Der Spessartingehalt steigt bei beiden Profilen von der Mitte des Granatkristalls zum Rand an. Das eingeschlossene PI-Korn, welches an das senkrechte Profil grenzt, hat keine Auswirkungen auf die Zonierung des Granatkristalls.

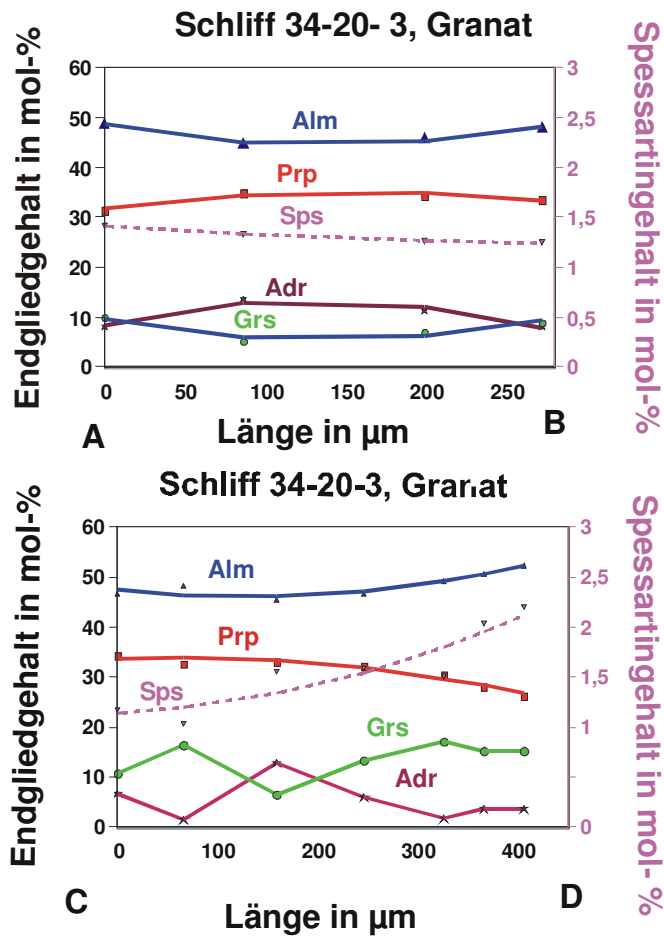
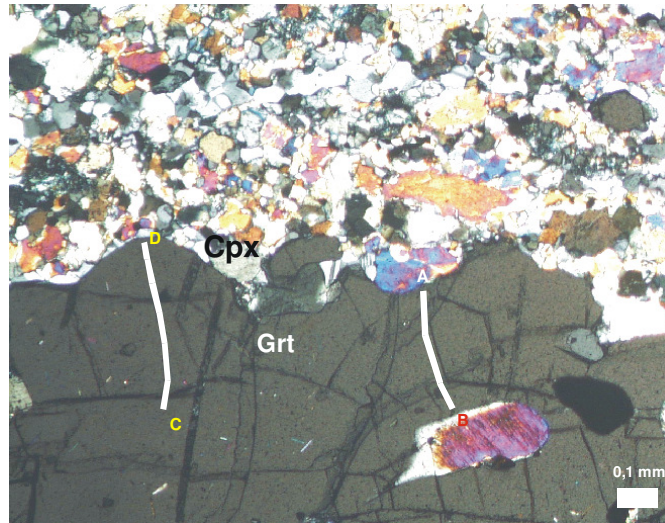


Abbildung 36

Schliff 34-20, Domäne 3: Zwei Profile über einen Granatmegakristall in einer Matrix aus Cpx, Pl und untergeordnet Opx. Beide Profile sind sehr ähnlich. Sie zeigen einen Almandingehalt in mol-%, der von knapp 49 mol-% auf 51 mol-% ansteigt von der Mitte zum Rand des Megakristalls. Der Pyropgehalt in mol-% sinkt auch von der Mitte zum Rand des Kristalls leicht ab. Beim oberen Profil A-B steigt der Almandingehalt zum Cpx-Einschluss leicht an. Der Spessartingehalt steigt bei beiden Profilen von der Mitte zum Rand des Granatkorns an, was auf eine retrograde Zonierung hindeutet. Grossular- und Andraditgehalt zeigen in beiden Profilen eine sehr schwache Zonierung.

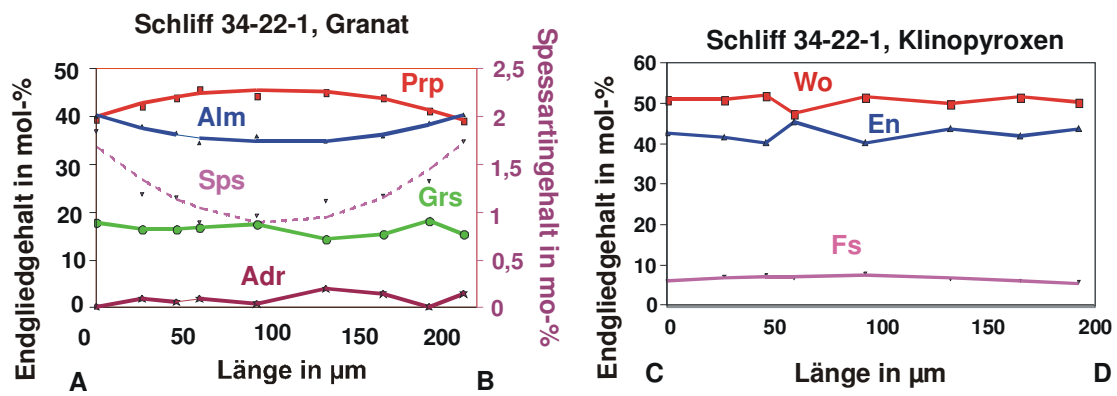
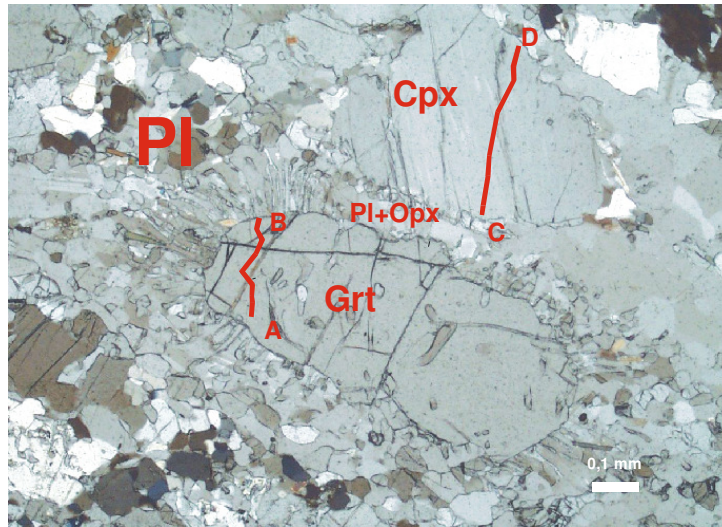


Abbildung 37

Schliff 34-22, Domäne 1: Profil über einen Granat, welcher von einer Korona aus symplektitischem Plagioklas und untergeordnet Opx umgeben ist. Daneben ist das Profil über einen angrenzenden Klinopyroxen zu sehen.

3.2 Klinopyroxen

3.2.1 Fe-betonte Gabbros

Klinopyroxen bildet in den untersuchten Proben meist kleine Kristalle. Der mit der Mikrosonde gemessene Klinopyroxen wurde auf der Basis von 4 Kationen und 6 Sauerstoffatomen berechnet (Tabelle 7-10). Der untersuchte Klinopyroxen in den Fe-betonten Gabbros ist überraschenderweise nahezu ausschließlich diopsidischer Zusammensetzung. Die Zusammensetzung des Klinopyroxen ist in den Abbildungen 38-40 in drei Diagrammen nach MORIMOTO (1988) dargestellt.

Die Ecken dieser ursprünglichen ternären Diagramme bilden die Komponenten des Klinopyroxens. Die linke untere Ecke des Diagramms bildet die Komponente Enstatit ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$). Die rechte untere Ecke bildet die Komponente Ferrosilit ($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), während die Komponente Wollastonit ($\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) oben dargestellt ist. Die Ecken des Diagramms enthalten jeweils 100 mol-% der an dieser Ecke angegebenen Komponente. Da in der Natur keine Pyroxenkörner mit mehr als ungefähr 50 mol-% Wollastonitkomponente ($\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) auftauchen, wird das Dreieck bei 50 mol-% oben abgeschnitten, so dass ein so genanntes „Pyroxentrapez“ entsteht (OKRUSCH & MATTHES 2005).

Seltsamerweise tauchen bei den gemessenen Proben der Ferrogabbros nur quadrilaterale Pyroxene auf. Na-führende Pyroxene tauchen in den untersuchten Proben kaum auf (Tabelle 6-10) (Abb. 38-41). Klinopyroxen kommt in den Fe-betonten Gabbros meistens nur in Form kleiner rekristallisierter Körner vor, große Blasten sind selten.

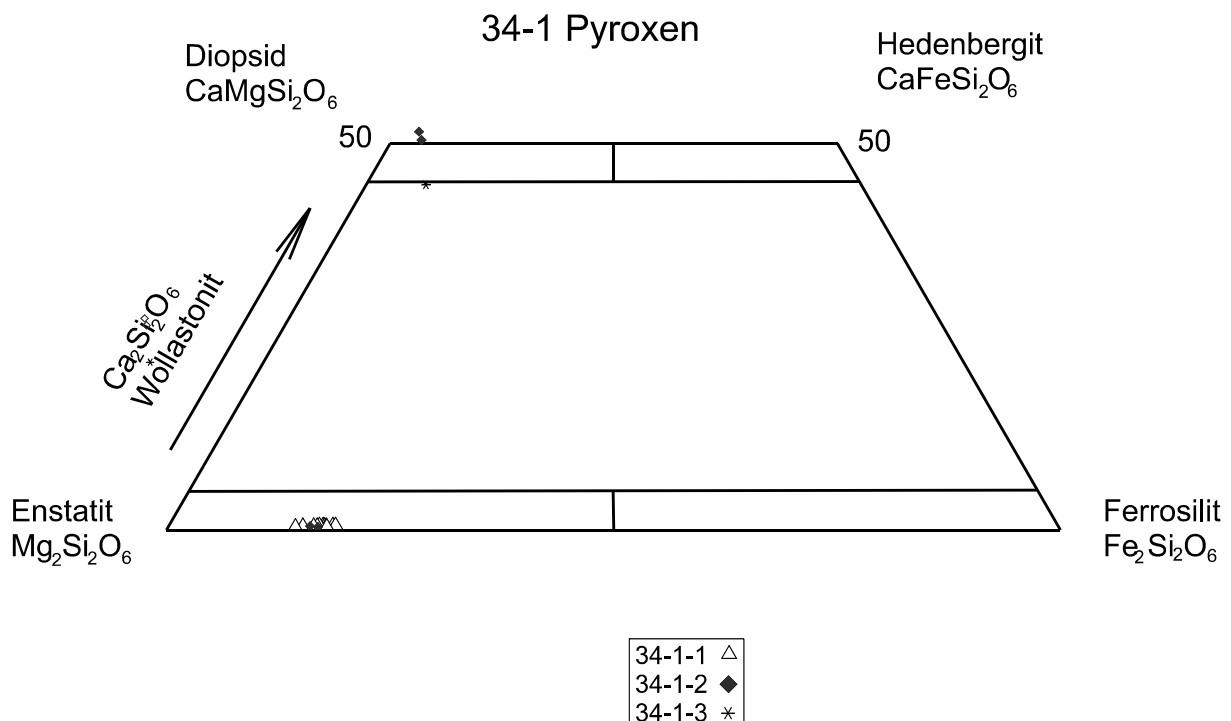


Abbildung 38

Schliff 34-1:

Ein ternäres Diagramm der Endglieder des Pyroxens. In dem als „Pyroxentrapez“ bezeichneten Diagramm sind die Komponenten des Pyroxens an den Ecken des Diagramms aufgezeichnet (OKRUSCH & MATTHES 2005). Auf der linken Seite ist die Konzentration von Enstatit ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) aufgetragen und auf der rechten Seite Ferrosilit ($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$). Die Komponente Wollastonit $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ist noch oben dargestellt. Die Ecken des ursprünglichen Dreiecks enthalten 100 mol-% der an der Ecke angegebenen Komponente. Da in der Natur Pyroxen mit mehr als

50 mol-% $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ nicht vorkommt, ist das ursprüngliche Dreieck bei 50 mol-% abgeschnitten worden, so dass sich ein Trapez ergibt. Unten links im Trapez ist Orthopyroxen dargestellt. Oben links ist der Klinopyroxen dargestellt, welcher nach diesem Diagramm als Diopsid bezeichnet werden kann.

34-3 Pyroxene

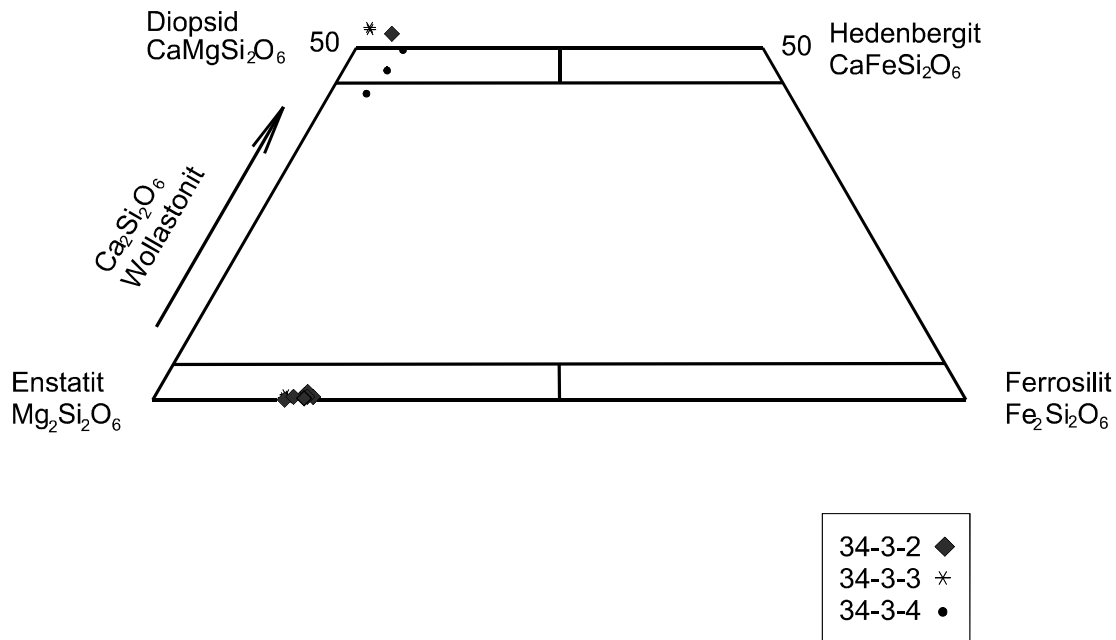


Abbildung 39

Schliff 34-3: Darstellung der Pyroxenzusammensetzung im Pyroxentrapez nach MORIMOTO (1988). Der oben links im Bild dargestellte Klinopyroxen ist diopsidischer Zusammensetzung. Unten links im Trapez ist der Orthopyroxen des Schliffes eingezeichnet.

34-11 Pyroxen

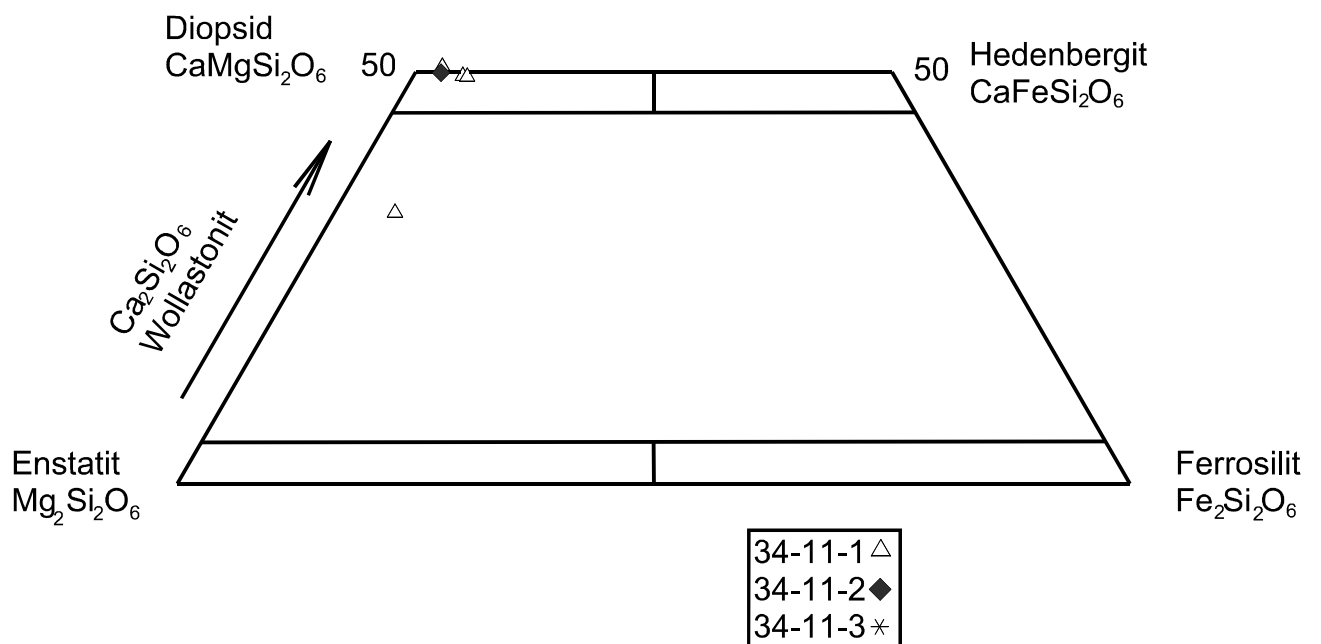


Abbildung 40

Schliff 34-11: Dieses Diagramm stellt die Zusammensetzung des Klinopyroxen im Pyroxentrapez dar (MORIMOTO 1988). Der dargestellte Pyroxen ist diopsidischer Zusammensetzung, ähnlich wie die Proben 34-1 und 34-3 (Abb. 35 und 36).

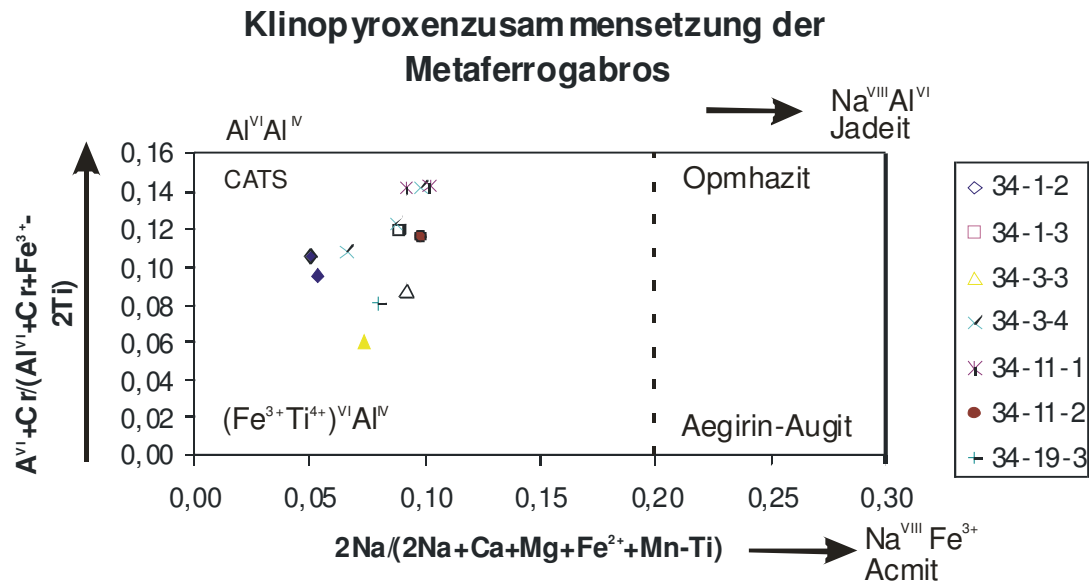


Abbildung 41

Darstellung der in den Hochdruckferrogabbros enthaltenen Klinopyroxene in einem $Al^{VI}+Cr/(Al^{VI}+Cr+Fe^{3+}+2Ti)$ gegen $2Na/(2Na+Ca+Mg+Fe^{2+}+Mn-Ti)$ Diagramm nach ROBINSON (1982). Hier ist zu sehen, dass die Gesteine kaum Jadeit- oder Acmitkomponenten enthalten und auch der Gehalt der Tschermakkomponente ist gering.

3.2.2 Mg- betonte Kumulatgabbros

Der Pyroxen der granulitfaziellen Kumulatgabbros ist diopsidischer Zusammensetzung mit etwas höherem Fe^{2+} -Anteil als in den Ferrogabbro-Proben (Abb. 42-44). Klinopyroxen bildet in den Kumulatgabbroproben häufig kleine rekristallisierte Körner aus. Es treten aber auch größere Körner auf. Die Cpx-Körner sind meist unzoniert (Abb. 31,37). Der Pyroxen in diesen Proben hat einen leicht höheren Jadeit- und Aegiringehalt als die Pyroxene der Ferrogabbros (Abb. 45).

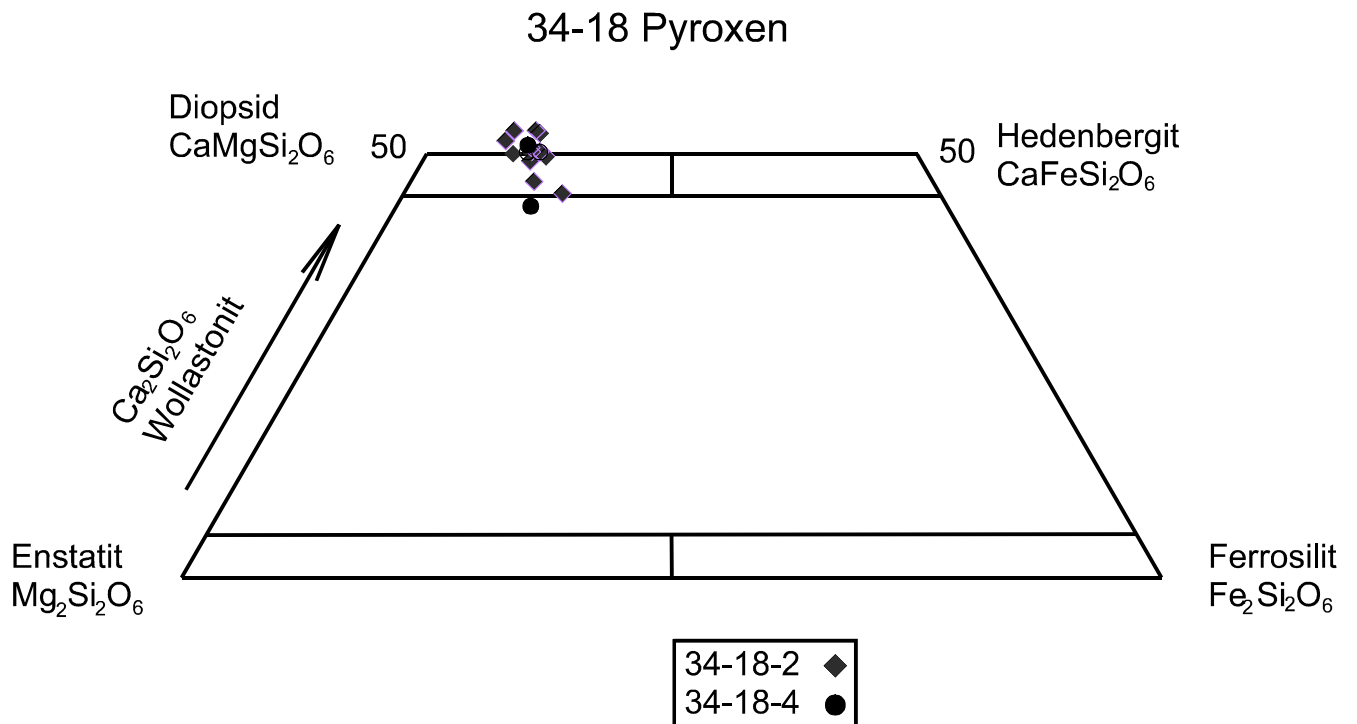


Abbildung 42

Schliff 34-18: Klinopyroxenzusammensetzung von Probe 34-18. Der Klinopyroxen dieser Probe ist von diopsidischer Zusammensetzung. Einige Klinopyroxene haben einen Wollastonit (Ca)- Gehalt der leicht über 50 mol-% liegt.

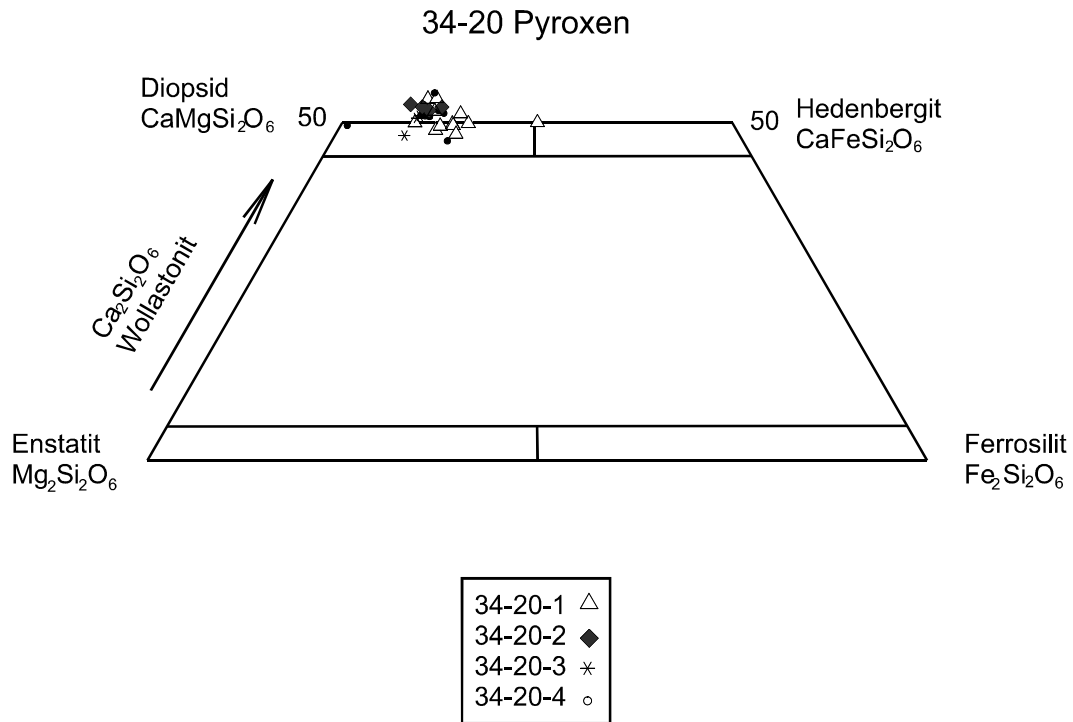


Abbildung 43

Dünnschliffprobe 34-20: Darstellung der Klinopyroxenzusammensetzung von Probe 34-20. Die gemessenen Domänen enthalten Klinopyroxen, der im Diagramm in das Diopsidfeld fällt. Dabei zeigen wenige Pyroxenmessungen einen leicht erhöhten Ca-Gehalt.

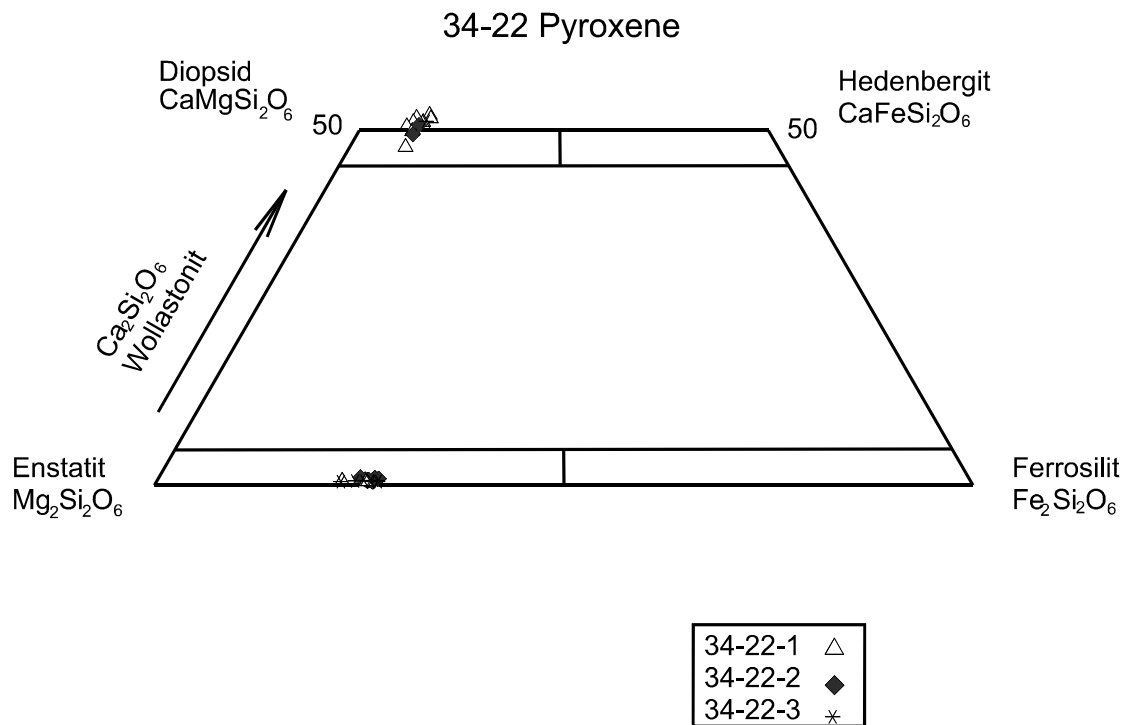


Abbildung 44

Schliff 34-22: Darstellung der Klinopyroxenzusammensetzung im Pyroxentrapez. Der mit der Mikrosonde gemessene Pyroxen ist diopsidischer Zusammensetzung. Unten links im Diagramm ist die Orthopyroxenzusammensetzung dargestellt.

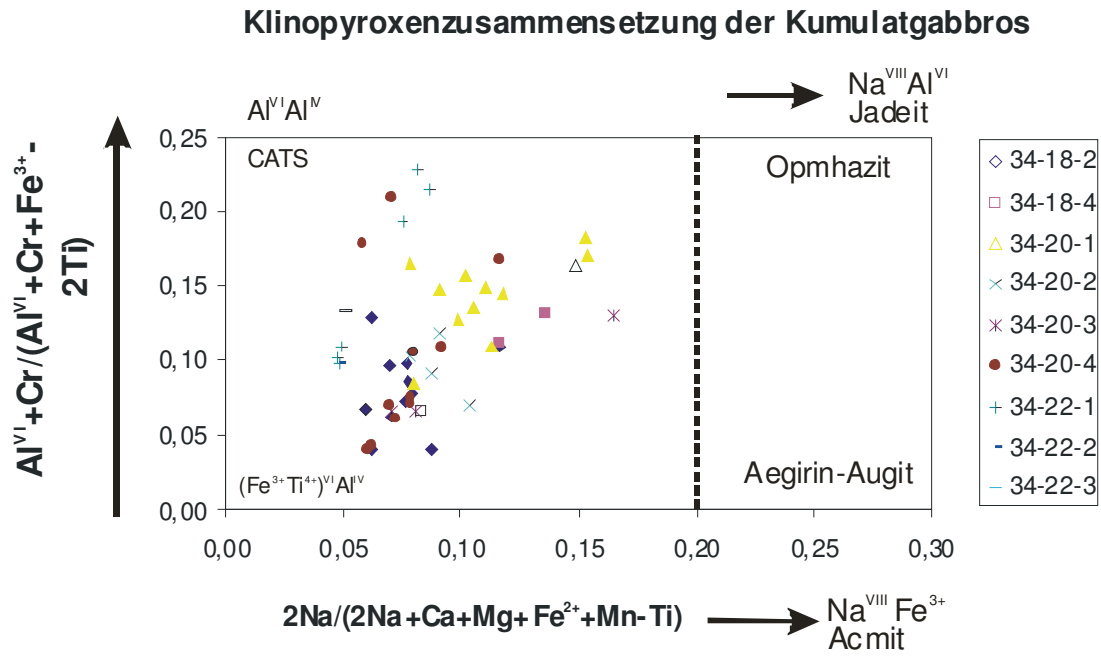


Abbildung 45

Klinopyroxenzusammensetzung der Mg-betonten Kumulatgabbros. Sowohl der Jadeitgehalt als auch der Tschermakitgehalt sind etwas höher als in den Fe-betonten Gabbros.

3.3 Orthopyroxen

3.3.1 Fe-betonte Gabbros

Orthopyroxen kommt in den Ferrogabbros meistens als klastisches Altkorn mit einer Größe von 0,5-1 mm vor. Der Orthopyroxen wurde auf der Basis von 4 Kationen und 6 Sauerstoffatomen verrechnet (Anhang Tabelle 6-10). Im Pyroxentrapez nach MORIMOTO (1988) liegt der Orthopyroxen unten links im Enstatitfeld (Abb.38 und 39). Der Orthopyroxen hat eine Zusammensetzung von

En_{78,9}, Fs_{20,7}, Wo_{0,8}-En_{86,5}, Fs_{13,1}, Wo_{0,4}. Dieser Orthopyroxen in den Ferrogabbros würde nach alter Nomenklatur als Bronzit bezeichnet. Bei der Darstellung des Opx im Profil zeigt sich, dass der Opx bei den Endgliedern Enstatit (Mg) und Ferrosilit (Fe) unzoniert ist (Abb.15, 18 und 19). Das Endglied Wollastonit (Ca) zeigt eine leichte Abnahme des Gehaltes von der Mitte zum Rand des Kristalls.

Der untersuchte Opx zeigt keine Zonierung im Al^{IV}- und Al^{VI} Gehalt.

3.3.2 Granulitfazielles Stadium der Kumulatgabbros

Der Orthopyroxen in den Kumulatgabbros ist häufig rekristallisiert und taucht nur untergeordnet auf. Es gibt allerdings auch größere Altkörner aus dem magmatischen Stadium des Gesteins. Diese Körner zeigen keine Zonierung von Enstatit-, Ferrosilit- und Wollastonitgehalt (Tabelle 16-18). Die Zusammensetzung des granulitfaziellen Orthopyroxens entspricht nach alter Nomenklatur einem Hypersthen (Abb. 44).

3.4 Plagioklas

3.4.1 Mg-betonte Gabbros

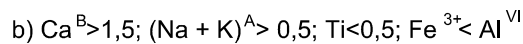
Plagioklas bildet in den untersuchten Proben meistens polygonale Kornpflaster von 0,06-0,09 mm Durchmesser, die durch dynamische Rekristallisation des vormals magmatischen Gesteins entstanden sind. Es tauchen teilweise auch größere Körner, meist als Einschluss im Granat, auf, die Größen von bis zu 1,2 mm erreichen. Diese Plagioklaseinschlüsse sind statisch erhalten geblieben bei der magmatischen Entstehung des Gesteins. Die chemische Zusammensetzung der Feldspäte liegt in Schliff 34-18 bei 60,8-73,3 mol-% Albit, 15,3-38,4 mol-% Anorthit und 0,3 bis 1,1 mol-% Orthoklas (Tabelle 20 im Anhang). Damit handelt es sich nach der Nomenklatur um Oligoklas-Andesin. Der Plagioklas in Schliff 34-20 besteht aus 56,1-64,8 mol-% Albit, 33,5-41,9 mol-% Anorthit und 1,4–2,5 mol-% Orthoklas (Tabelle 21 im Anhang). Damit ist der Ca-Gehalt dieser Probe etwas höher als in Probe 34-18. Nach der Nomenklatur wird der Plagioklas dieser Probe als Andesin bezeichnet. Der Feldspat in Probe 34-22 enthält auch symplektitischen Feldspat, der einen hohen Anorthitgehalt hat. Die Zusammensetzung reicht von 13,2–57,3 mol-% Albit, 72,3-86,7 mol-% Anorthit und 0,1-1,7 mol-% Orthoklas (Tabelle 22 im Anhang). Damit reicht die Zusammensetzung der Feldspäte in Probe 34-22 von Andesin bis Bytownit. Die größeren Feldspatkristalle der Kumulatgabbros zeigen keine chemische Zonierung.

3.5 Amphibol

3.5.1 Ferrogabbros

Amphibol kommt in den Fe-betonen Gabbroproben nur untergeordnet vor. Die Proben 34-1 und 34-3 haben in der Mitte des Dünnschliffs eine Zone, die durch Fluidinfiltration amphibolitisiert ist, ansonsten sind die Amphibole in den Gabbros selten. Der Chemismus des Amphibols kann durch die allgemeine Formel $A_{0-1}B_2C_5[T_8O_{22} / (OH, F)_2]$ ausgedrückt werden (OKRUSCH 2005). Die Position A kann von Natrium und untergeordnet Kalium eingenommen werden. Die Position B kann von Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} und Mn^{2+} eingenommen werden, während die Position C von Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} und Ti^{4+} eingenommen und die Position T von Si^{4+} und Al^{3+} eingenommen werden kann.

Messwerte für die Ferrogabbros sind in den Tabellen 1-3 im Anhang aufgetragen. Die Summenformeleinheiten von allen Amphibolen wurden mit dem Programm Minpet berechnet. Diese Berechnung geschah aufgrund einer Durchschnittsrechnung auf der Basis von 15 Kationen unter Ausschluss von Natrium und Kalium und auf der Basis von 13 Kationen unter Ausschluss von Natrium, Kalium und Kalzium. Der in den Gabbros vorkommende Amphibol gehört nach LEAKE et al. (1998) zu den „calcic amphiboles“. Genauer gesagt ist er eine Hornblende, die von der chemischen Zusammensetzung her als Pargasit bezeichnet wird (Abb. 46) (LEAKE et al. 1998).



Eklogitfazielle Proben
Schliff 34-1 und 34-3

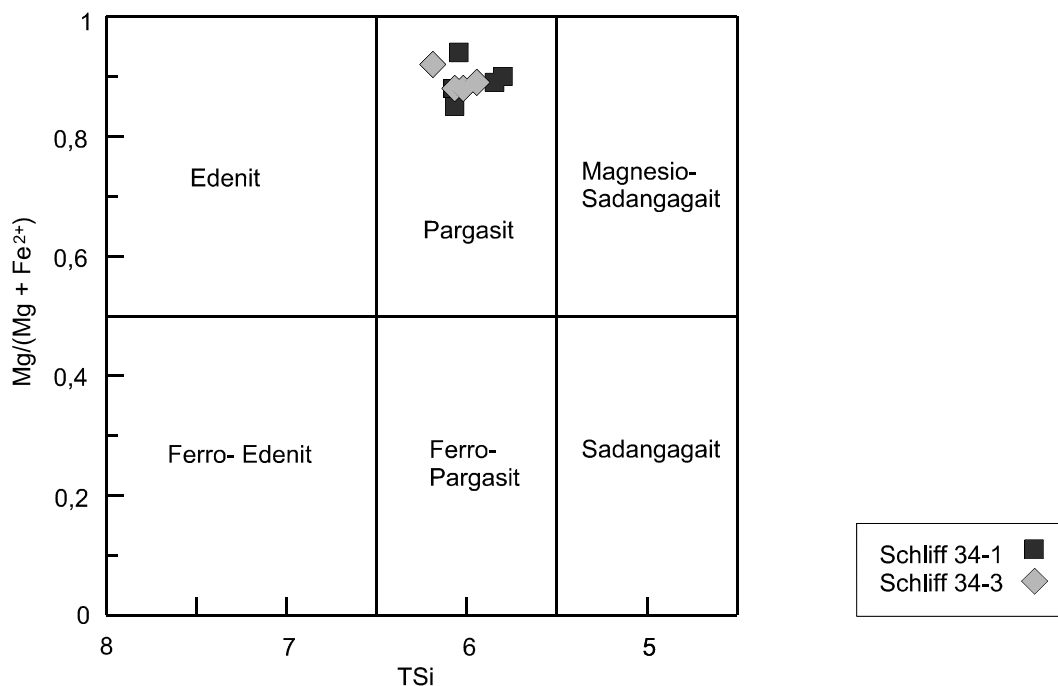


Abbildung 46

Dieses Diagramm zeigt die chemische Zusammensetzung der Amphibole in den Dünnschliffen 34-1 und 34-3. Der Si-Gehalt auf der T-Position in Formeleinheiten ist auf der X-Achse abzulesen, während der X-Mg Wert $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ auf der Y-Achse aufgetragen ist. Über dem Diagramm sind die Bedingungen für die Nomenklatur nach LEAKE ET. al. (1998) angegeben. Die Amphibole der untersuchten Proben 34-1 und 34-3 sind als Pargasit zu bezeichnen.

3.5.2 Kumulatgabbros

Amphibole kommen in den granulitfaziellen Kumulatgabbroproben meistens nur untergeordnet vor. Häufig tauchen diese Amphibole in Koronen von Granat auf (Abb. 30). Da diese Amphibolzonen relativ selten sind, werden sie hier nicht weiter betrachtet.

3.5.3 Amphibolitfazielles Stadium der Ferrogabbros

Amphibol ist Hauptbestandteil der amphibolitfaziellen Probe 34-7. Die Messergebnisse der Elektronenstrahlmikrosonde wurden auch für diesen Schliff mit dem Programm Minpet verrechnet (Tabelle 4 und 5 im Anhang). Die Amphibole dieser Probe werden als „calcic amphibols“ bezeichnet. Diese Amphibole sind durch Fluidinfiltration in Fugen der Ferrogabbros entstanden. Sie haben daher einen ähnlichen Chemismus. Sie reichen in ihrer chemischen Zusammensetzung und Nomenklatur nach LEAKE et al. (1998) von Magnesium-Hornblende über Tschermakit bis zum Pargasit (Abb. 47,48). Edenit kommt in der untersuchten Probe nicht vor. Alle Amphibolproben haben einen sehr niedrigen Ti-Gehalt von unter 0,5 Formeleinheiten.

a) $Ca^B \geq 1,5$; $(Na + K)^A < 0,5$; $Ca^A < 0,5$

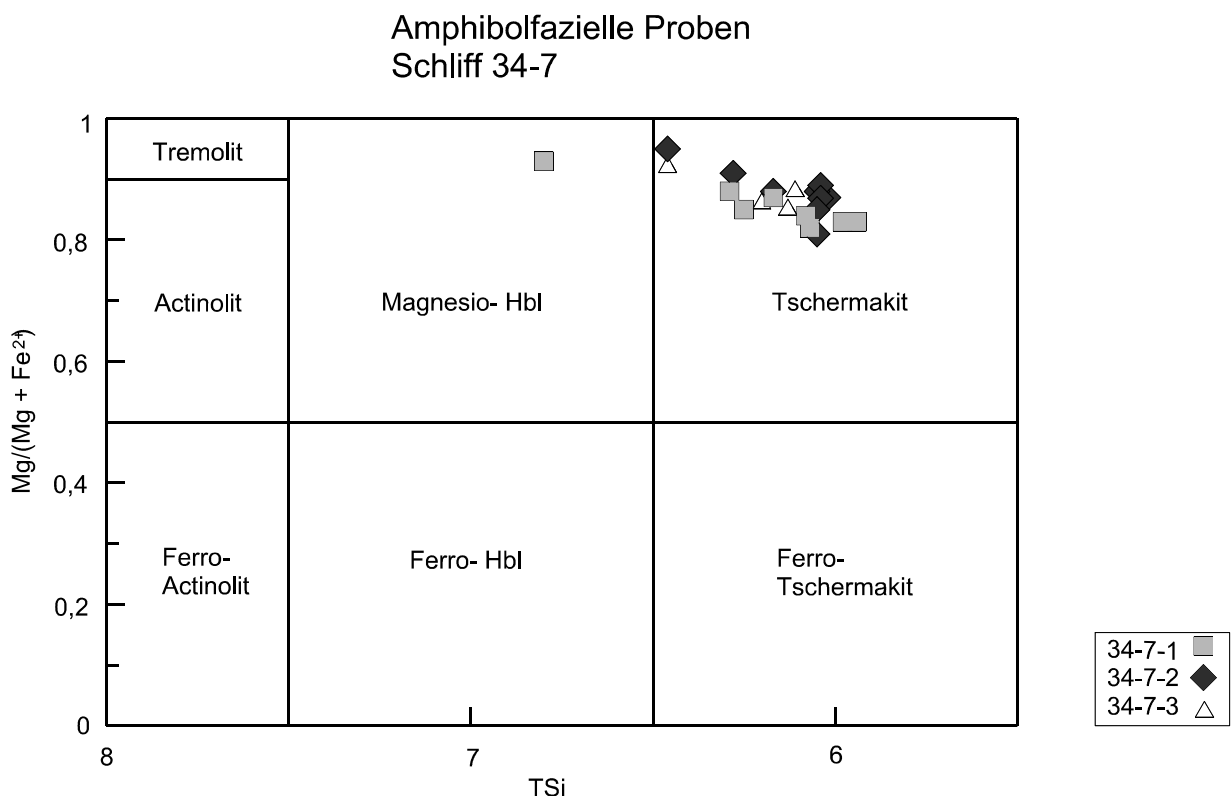
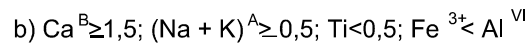


Abbildung 47

Schliff 34-7:

Darstellung der chemischen Zusammensetzung und der Nomenklatur der Amphibole. Die X-Achse dieses Diagramms zeigt den Si-Gehalt in Formeleinheiten an der T-Position des Amphibols. Der X-Mg- ($Mg/(Mg+Fe^{2+})$)-Gehalt ist an der Y-Achse aufgetragen. Dieses Diagramm zeigt, dass die Probe relativ viel Tschermakit enthält. Oben über dem Diagramm sind die Bedingungen für die Benennung dieser Amphibole aufgetragen.



Amphibolfazielle Proben Schliff 34-7

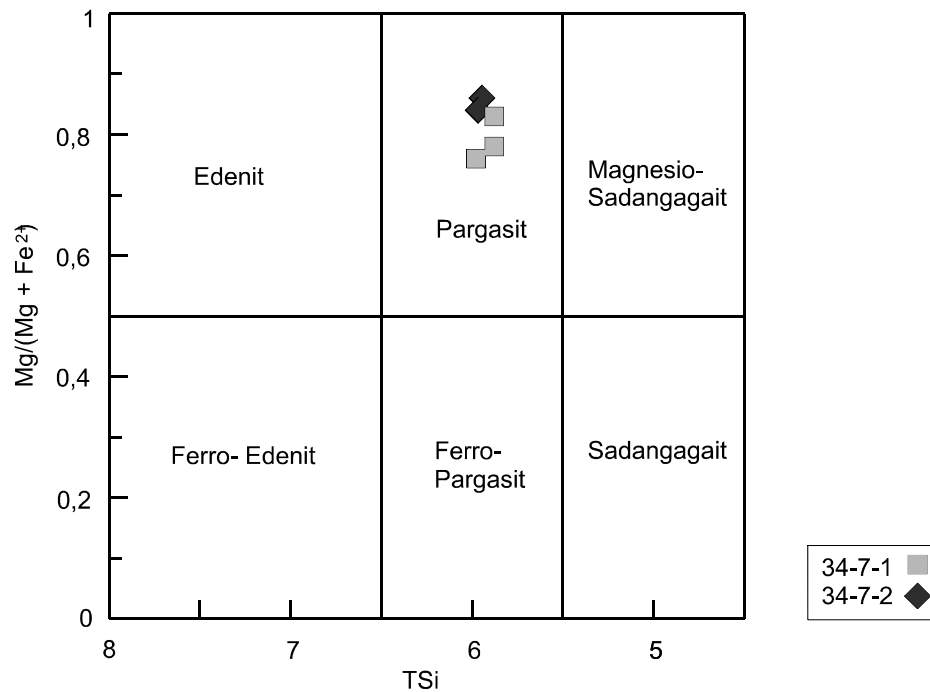
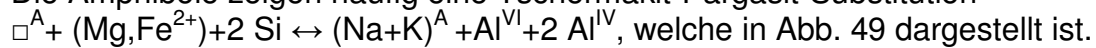


Abbildung 48

Schliff 34-7:

Darstellung der chemischen Zusammensetzung und Benennung der Amphibole von Schliff 34-7. Die hier dargestellten Amphibole sind Hornblenden mit pargasitischer Zusammensetzung.

Die Amphibole zeigen häufig eine Tschermakit-Pargasit-Substitution



Amphibolsubstitution Schliff 34-7

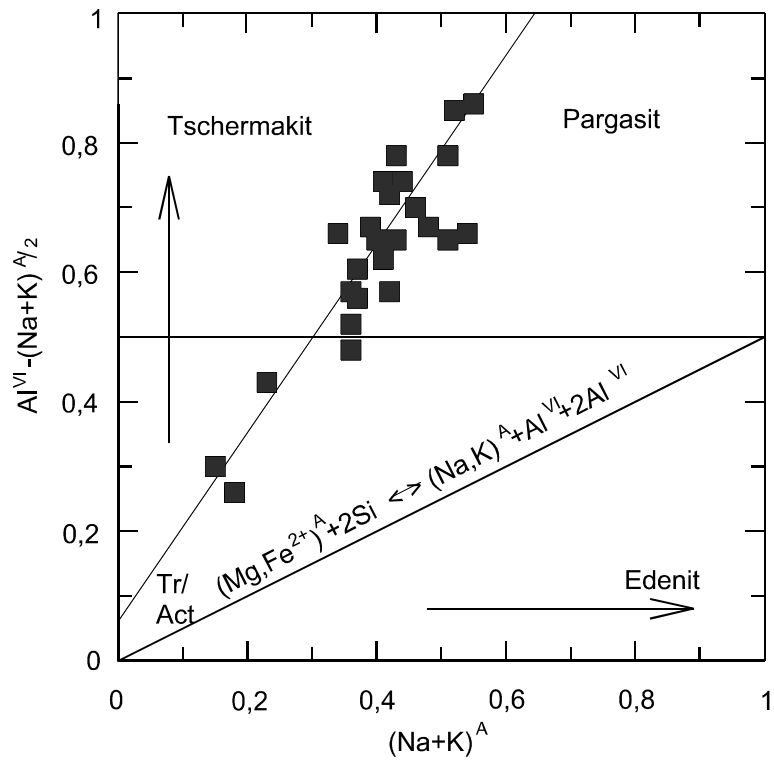


Abbildung 49

Dieses Diagramm zeigt die Formeleinheiten von $(Na+K)^A$ gegen den Gehalt von $Al^{VI} - (Na+K)^A/2$ von Probe 34-7 aufgetragen. Die Messwerte zeigen einen linearen Trend zu zunehmenden Pargasit- und Tschermakitgehalten, wobei der Al^{VI} Gehalt schneller steigt als der $(Na+K)$ Gehalt.

4 Rekonstruktion der Druck-Temperaturgeschichte der Metabasite

Die Rekonstruktion der Druck-Temperaturgeschichte des Gesteins erfolgte mit unterschiedlichen Methoden. Hierzu wurden die Messdaten mit der Elektronenstrahlmikrosonde ermittelt. Die Messergebnisse wurden zum einen für die klassische Geothermometrie genutzt, zum anderen wurden die Daten mit dem Programm TWEEQU 2.02b mit einem konsistenten Datensatz von BERMANN (1998) verarbeitet. Die Fe-betonten Gabbros enthalten kein Plagioklas, daher konnten die in diesem Gestein herrschenden Drücke nur anhand von der Al-Löslichkeit in Granat und Orthopyroxen bestimmt werden.

4.1 Geothermometer

Geothermometer beruhen auf der Elementverteilung zwischen koexistierenden Mineralphasen wie z.B. die Fe-Mg-Verteilung in Granat und Klinopyroxen oder Granat und Orthopyroxen. Die Verteilung der Mineralphasen wird mit der Elektronenstrahlmikrosonde ermittelt. Voraussetzung hierfür ist, dass sich bei einem Metamorphoseschritt, insbesondere beim Höhepunkt der Metamorphose, ein temperaturabhängiges Gleichgewicht eingestellt hat und dieses durch spätere Ereignisse, z.B. auf dem retrograden P-T Pfad, nicht umgestellt wurde (YARDLEY 1997).

Die Gleichgewichte wurden meist experimentell oder empirisch kalibriert. Geothermobarometrie ist die Berechnung der metamorphen Druck- und Temperaturbedingungen eines Gleichgewichts aufgrund der Druck- und Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten. Als Geothermometer werden Reaktionen verwendet, die eine starke Temperatursensibilität (große ΔS) und eine geringe Drucksensibilität (geringe ΔV) haben.

$$\Delta G_{(P,T,X)}=0=\Delta H_{(P,T)}-T \Delta S_{(P,T)}+RT\ln K_{eq}$$

ΔG : Gibbs Energie. T: Temperatur
P: Druck ΔH : Enthalpie
 ΔS : Entropie R: Gaskonstante
 K_{eq} : Gleichgewichtskonstante

Die Gleichung beschreibt formal das thermodynamische Gleichgewicht von Druck, Temperatur und Mineralzusammensetzung, wobei ΔG , ΔS und ΔH auf eine Reaktion bzw. ein Mineralgleichgewicht bezogen sind. Sie ist Grundlage für die Berechnung von Mineralgleichgewichten.

Die Werte für ΔH , ΔS , ΔC_p und ΔV sind durch experimentelle Kalibrierungen oder aus thermodynamischen Tabellen bekannt. Die Gleichgewichtskonstante kann bei Kenntnis der a-x- Beziehung durch die Analyse der Zusammensetzung koexistierender Minerale einer Probe berechnet werden. Mit diesen Daten ist die Berechnung der Gleichgewichtskurve möglich und somit der Eintrag in ein P-T-Diagramm. Folglich equilibrierten die beteiligten Phasen irgendwo auf einer solchen Kurve. Können so zwei unterschiedliche Gleichgewichte bestimmt werden und schneiden sich die Gleichgewichtskurven, so definiert der Schnittpunkt die P-T-

Bedingungen des Gleichgewichts. Die Gleichgewichtskurven in dieser Arbeit wurden teilweise mit dem Programm TWEEQU 2.02 nach einer Datenbasis von Berman (1988) bestimmt, wobei sich mit TWEEQU 2.02 recht niedrige Temperaturen ergaben. Für die Bestimmung der Temperaturbedingungen des Gesteins wurden hauptsächlich Kationenaustauschthermometer verwendet.

Die oben beschriebenen Gleichgewichtsbedingungen hängen weiterhin noch von folgender Gleichung ab.

$$\Delta G(P, T, X) = 0 = \Delta H^{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT + \int_1^P \Delta V dP - T \left(\Delta S^{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \right) + RT \ln(K)$$

ΔG : Gibbs Energie.

T: Temperatur

P: Druck

ΔH : Enthalpie

ΔS : Entropie

R: Gaskonstante

K_{eq} : Gleichgewichtskonstante

Standardbedingungen P=1 bar T=298,15 K

Für die Gleichgewichtskonstante K_{eq} und ein Phasengleichgewicht mit der Reaktion $aA+bB=cC+dD$ gilt, wenn Mischkristallphasen am Gleichgewicht beteiligt sind, folgende Gleichung:

$$K_{Eq} = \frac{a_C^c * a_D^d}{a_A^a * a_B^b}$$

Mit a,b,c,d = stöchiometrische Koeffizienten und A,B,C,D = an der Reaktion beteiligte Phasen.

Wobei a für die Aktivität des jeweiligen Endgliedes in der zugehörigen Mischkristallphase steht.

Für eine Komponente i gilt:

$$a_i = \gamma_i X_i$$

Wobei γ der Aktivitätskoeffizient ist.

Liegt eine ideale Mischung vor so lautet der Term:

$$RT \ln K_{eq} = RT \ln \left(\frac{X_{C(ideal)}^c * X_{D(ideal)}^d}{X_{A(ideal)}^a * X_{B(ideal)}^b} \right)$$

Die häufig in der Natur beobachtete Abweichung von der idealen Mischung kann durch den Aktivitätskoeffizienten ausgedrückt werden.

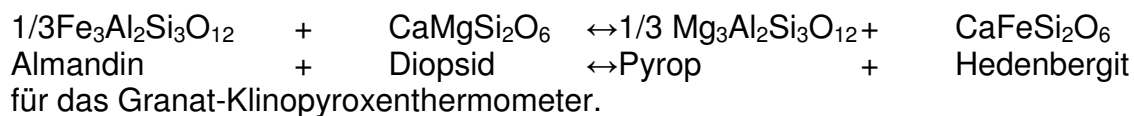
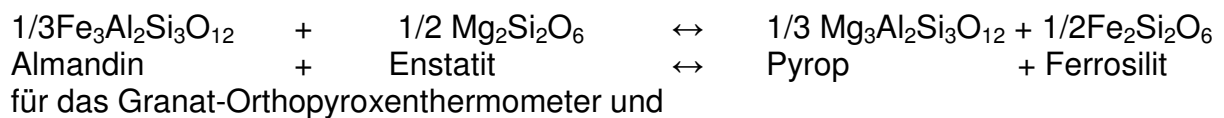
$$RT \ln K_{eq} = RT \ln \left(\frac{X_{C(ideal)}^c * X_{D(ideal)}^d}{X_{A(ideal)}^a * X_{B(ideal)}^b} \right) * \left(\frac{\gamma_C^c * \gamma_D^d}{\gamma_A^a * \gamma_B^b} \right)$$

Kationenaustauschreaktionen

Die Kationenaustauschreaktionen beruhen auf dem Austausch zweier ähnlicher Atome zwischen unterschiedlichen Kationenpositionen eines Minerals oder zwischen zwei Mineralen. Es kann sich dabei um Elemente gleicher Ladung und ähnlichem Ionenradius handeln. Da die Volumenänderung der beteiligten Phasen sehr gering, die Entropieänderung groß ist und damit die Reaktionen relativ unabhängig vom Druck sind, eignen sie sich gut als Thermometer. Ein häufig verwendetes

Thermometer für metamorphe Gesteine beruht auf dem Austausch von Fe^{2+} und Mg. Es kann bei den Mineralen Olivin, Granat, Klinopyroxen, Orthopyroxen, Spinell, Ilmenit, Cordierit, Biotit, Phengit, Chlorit und Hornblende Anwendung finden. In dieser Arbeit wurden Granat-Orthopyroxen und Granat-Klinopyroxenthermometer verwendet.

Die in dieser Arbeit verwendeten Geothermometer beruhen auf den Reaktionsgleichungen:



Stehen Granat und Orthopyroxen in Kontakt, so wandern Fe^{2+} - und Mg-Ionen über die gemeinsame Phasengrenze, bis sich ein thermodynamisches Gleichgewicht einstellt. Bei der Granat-Orthopyroxengleichung ist das Fe^{2+} im Almandin achtfach koordiniert und im Ferrosilit sechsfach koordiniert.

Wären die Positionen der Ionen im Granat und Orthopyroxen absolut identisch in Bezug auf Größe, Bindungskräfte und Nachbarn und hätten die Mg- und Fe^{2+} -Ionen identische Ioneneigenschaften, so würde eine Gleichgewichtsverteilung von Fe^{2+} und Mg zwischen den Mischphasen erfolgen.

$$K_D = (X_{\text{Fe}}/X_{\text{Mg}})^{\text{Gt}}/(X_{\text{Fe}}/X_{\text{Mg}})^{\text{Opx}} = (\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Gt}}/(\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Opx}} = 1$$

$X_{\text{Fe}} = \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$; $X_{\text{Mg}} = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$. In der Natur unterscheiden sich jedoch die Positionen in ihrer Größe, Koordination und Bindungsenergie. Auch die Kationeneigenschaften von Fe^{2+} und Mg unterscheiden sich, so dass eine Fraktionierung zwischen Fe^{2+} und Mg stattfindet. Der Granatmischkristall baut bevorzugt Fe^{2+} ein, während der Orthopyroxen bevorzugt Mg einbaut. Mit steigender Temperatur werden die Unterschiede der Positionen im Kristall kleiner.

$$K_D = (\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Gt}}/(\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Opx}} \geq 1.$$

Für Granat und Orthopyroxen existieren zahlreiche Geothermometer, von denen in dieser Arbeit hauptsächlich die von HARLEY (1984a), LEE & GANGULY (1988) und CARSWELL (1990) verwendet wurden. Für Granat-Klinopyroxen wurden hauptsächlich die Thermometer von ELLIS & GREEN (1979) und KROGH (1988) verwendet. Ein Problem dieser Kationenaustauschthermometer ist die Frage, ob die Peaktemperatur gemessen wurde, oder ob ein retrograd eingestelltes Gleichgewicht gemessen wurde. Eine weitere Frage ist, ob für das Thermometer die richtige Aktivität angenommen wurde. Die Thermometer sind häufig experimentell kalibriert worden. Für die Geothermometer ergeben sich häufig komplizierte Formeln je nach Aktivitätsmodell. Die sich ergebenden Formeln sollen hier an zwei Beispielen erläutert werden. Das Granat-Orthopyroxenthermometer nach HARLEY (1984a) ist relativ einfach, weil es für K_D die ideale Mischung

$K_D = \frac{Fe_{Grt}^{2+} * Mg_{Opx}}{Mg_{Grt} * Fe_{Opx}^{2+}}$ annimmt. Die Berechnung der Temperatur erfolgt nach folgender

Gleichung:

$$T(^{\circ}C) = \frac{3740 + 1400 * \left(\frac{Ca}{Ca + Fe + Mg} \right) + 22,86 * P(kbar)}{\frac{R}{4,184} + 1,96} - 273,15.$$

Wobei R die Allgemeine Gaskonstante ist. $R=8,3144 \text{ J/mol/K}$.

Bei diesem Thermometer wird besonderer Wert auf die Kalziumlöslichkeit im Granat und Orthopyroxenkristall gelegt.

Ein Beispiel für ein Geothermometer, welches auf dem Fe^{2+} -Mg-Austausch beruht ist das Granat- Klinopyroxenthermometer nach KROGH (1988)

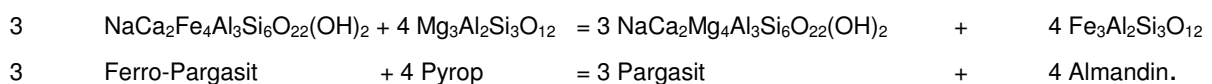
$$K_D = \frac{Fe_{Grt}^{2+} * Mg_{Cpx}}{Fe_{Cpx}^{2+} * Mg_{Grt}}$$

$$T(^{\circ}C) = \frac{-6173 * X_{Grs}^2 + 10 * P(kbar) + 6731 * X_{Grs} + 1879}{LnK_D + 1,393} - 273,15$$

Wobei $X_{Grs} = \frac{Ca}{Fe^{2+} + Mg + Mn + Ca}$ ist.

Für die Berechnung der Temperaturen im amphibolitfaziellen Stadium wurden die Thermometer von GRAHAM & POWELL (1984) und von PERCHUK et al. (1985) benutzt.

Das experimentell kalibrierte Thermometer von GRAHAM & POWELL (1984) beruht auf dem Gleichgewicht von



Die Thermometerformel lautet:

$$T(^{\circ}C) = \frac{2880 + 3280 * X_{Ca}^{Grt}}{LnK_D + 2,426} - 273,15 \quad \text{wobei} \quad \frac{X_{Fe}^{Grt} * X_{Mg}^{Hbl}}{X_{Mg}^{Grt} * X_{Fe}^{Hbl}}.$$

Ein weiteres Problem der Kationenaustauschthermometer ist die Unterscheidung Fe^{3+} und Fe^{2+} . Diese Unterscheidung von Fe^{2+} und Fe^{3+} erfolgte mit Hilfe der Ladungsbalance mit dem Computerprogramm Formula 1, welches zur Mikrosonde gehört. Nur der Amphibol der Proben wurde mit dem Programm Minpet verrechnet.

Weitere Geothermometer sind Thermometer, die auf polymorphen Phasenübergängen beruhen, wie z.B. Andalusit-Silimanit-Kyanit oder Solvusthermometer, die auf der Mischbarkeit der Phasen beruhen, wie z.B. Orthopyroxen-Klinopyroxen.

Diese Thermometer wurden in dieser Arbeit nicht benutzt.

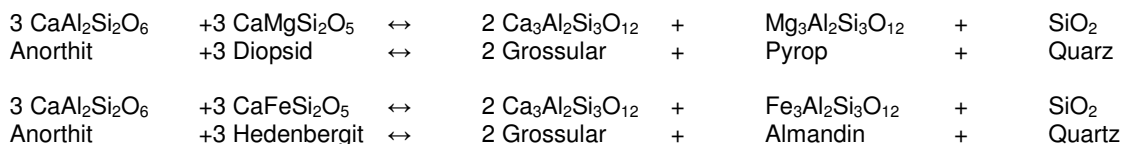
4.2 Geobarometer

Reaktionen, die eine hohe Volumenänderung (ΔV) und eine geringe Entropieänderung besitzen, eignen sich als Geobarometer. Die Mehrzahl der Geobarometer basiert auf so genannten Netto-Transfer-Reaktionen.

Netto-Transfer-Reaktionen

Netto-Transfer-Reaktionen sind Reaktionen, bei denen es zum Ab- und Aufbau von Mineralphasen kommt (SPEAR 1995). Häufig resultieren diese Net-Transfer-Reaktionen in einer großen Volumenänderung, was diesen Gleichgewichten eine große Drucksensibilität gibt und deren Verwendung als Geobarometer begründet.

Bei den Net-Transferreaktionen handelt es sich um multivariante Reaktionen, was dazu führt, dass die Paragenese innerhalb eines weiten P-T-Bereichs existieren kann. Reaktionen mit sehr starker Volumenänderung (ΔV) und geringer Entropieänderung kommen sehr selten vor, so dass die meisten Geobarometer temperaturabhängig sind. Daher sollte vor der Benutzung eines Geobarometers die geeignete Bildungstemperatur z.B. anhand von Kationenaustauschthermometrie bestimmt werden. Ein Beispiel für eine Net-Transferreaktion ist die Granat-Plagioklas-Klinopyroxen-Reaktion, die auf folgenden Reaktionsgleichungen aufbaut:



Ein Beispiel für ein Granat Plagioklas Klinopyroxen Barometer ist das Barometer von PERKINS & NEWTON (1981) und NEWTON & PERKINS (1982).

Für dieses Geobarometer wird zunächst auf relativ komplizierte Weise die Aktivität berechnet.

$$W_{\text{Grs-Pyr}} = 13.087 - (0.0063 \cdot T_K)$$

$$a_{\text{Pyr}} = X_{\text{Pyr}} \cdot \exp \left[\frac{W_{\text{Grs-Pyr}}}{R \cdot T_K} \cdot \left(X_{\text{Grs}}^2 + X_{\text{Grs}} X_{\text{Alm}} \right) \right]$$

Danach wird nach folgender Formel der Druck bestimmt:

$$K_D = \frac{(a_{\text{Grs}}^*)^2 \cdot a_{\text{Pyr}}^*}{a_{\text{An}}^{\#} \cdot a_{\text{Di}}^*} \quad P_{\text{bar}} = 675 + 17.179 \cdot T_K + 3.5962 \cdot T_K \cdot \ln K_{D1}$$

Wobei für die Molenbrüche X folgende Formeln gelten:

$$\begin{array}{l}
 X_{\text{Pr p}} = \frac{\text{Mg}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ca}} \\
 X_{\text{Grs}} = \frac{\text{Ca}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ca}} \\
 X_{\text{Alm}} = \frac{\text{Fe}^{2+}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ca}} \\
 X_{\text{Sps}} = \frac{\text{Mn}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ca}}
 \end{array}$$

Zur Bestimmung des Druckes in den Kumulatgabbros wurden zusätzlich die Geobarometer von POWELL & HOLLAND (1988) und von ECKERT et al. (1991) eingesetzt.

Für die Berechnung des Drucks, der in den Ferrogabbros geherrscht hat, wurden die Geobarometer von HARLEY (1984b) und von ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987) benutzt, die auf der Aluminiumlöslichkeit in Orthopyroxen und Granat beruhen. Des Weiteren wurden Druck- und Temperaturbedingungen anhand von Gleichgewichten mit dem Programm TWEEQU 2.02b ermittelt. Dies geschah hauptsächlich für die Kumulatgabbroproben 34-18, 34-20 und 34-22. Eine Schwierigkeit bei der Geothermobarometrie war, festzustellen ob sich die untersuchten Mineralassoziationen im thermodynamischen Gleichgewicht befunden haben. Hierfür wurde darauf geachtet, dass die gemessenen Minerale nur wenig chemisch zoniert sind und keine oder wenig Reaktionstexturen, wie Symplektit- oder Koronastrukturen zeigen. Nur in einem Beispiel wurde zum Vergleich auch ein Granat, welcher von symplektitischem Plagioklas umgeben ist gemessen.

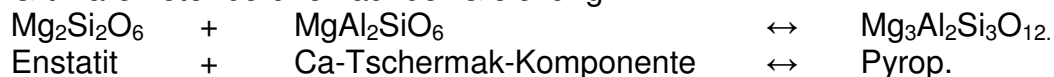
4.3 Druck- und Temperaturbedingungen

4.3.1 Plagioklasfreie Fe-betonte Gabbros

Bei der Bestimmung des herrschenden Drucks in den Ferrogabbros ergab sich die Schwierigkeit, die Drücke, die geherrscht haben, zu ermitteln. Die Schwierigkeit war, geeignete Reaktionen zur Druckermittlung zu finden. Die Ferrogabbros sind plagioklasfrei. Die Druckbestimmung der Ferrogabbros erfolgte anhand der Al-Löslichkeit in Granat und Orthopyroxen. Als Geothermometer wurde der Mg-Fe-Austausch in Granat und Orthopyroxen und in Granat und Klinopyroxen verwendet. Ein weiteres Problem ergibt die Zonierung der Mineralkörner. Granat, Orthopyroxen und Klinopyroxen zeigen häufig eine retrograde Zonierung, wodurch das ursprüngliche Gleichgewicht überprägt wurde, sodass nicht die Peaktemperatur gemessen wurde sondern eine Temperatur, die auf dem retrograden Pfad des Gesteins ermittelt wurde. Für die Ermittlung der herrschenden Temperatur wurden verschiedene Granat-Orthopyroxen- und Granat-Klinopyroxen-Kationenaustauschthermometer verwendet. Die Messungen von Granat-Orthopyroxen ergaben Unterschiede zwischen der Messung vom Rand des Granatkristalls zum Kern des Granatkristalls.

Am Rand der Kristalle laufen Diffusionsprozesse sehr lange ab, während die Temperaturen im Kern der Kristalle schon eingefroren sind.

Anhand von Granat-Orthopyroxenmessungen der Temperatur mit dem Mg-Fe-Austauschthermometer nach HARLEY (1984a) und dem Al-Löslichkeitsbarometer nach ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987) und HARLEY (1984b) wurden die Temperatur und die Drücke der Schnittpunkte der Geraden aus dem Diagramm abgelesen. Opx-Grt-Barometer beruhen auf der Gleichung:



Hierbei ergaben sich Temperaturen von 720 °C (HARLEY 1984a) bei 9,8 kbar Druck (ARANOVICH & KOSYAKOVA 1987) und 960 °C bei 14,5 kbar Druck gemessen (Abb. 50). Die Messungen für Opx und Grt erfolgten jeweils im Kern der Kristalle. Es zeigt sich, dass Probe 34-1 niedrigere Drücke erfahren hat als Probe 34-3. Die Messungen von Granat-Klinopyroxen ergeben nach ELLIS & GREEN (1979) Temperaturen von 877 °C bei dem vorher ermittelten niedrigsten Druck von 10 kbar, und 894 °C bei dem höchsten Druck von 15 kbar. Das Thermometer nach KROGH (1984) zeigt bei 10 kbar Druck eine Temperatur von 811 °C und bei 15 kbar Druck eine Temperatur von 830

°C (Abb. 51). Damit ergeben auch die Messungen mit dem Cpx-Grt-Geothermometer ähnliche Temperaturwerte wie die mit dem Orthopyroxen-Granat-Thermometer gemessenen Werte.

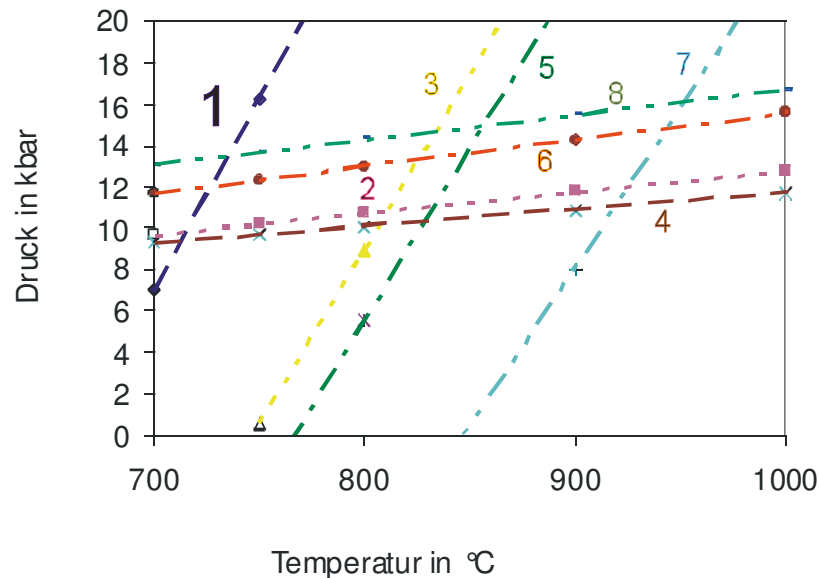


Abbildung 50

Druck und Temperaturgeraden der Ferrogabbros
Opx-Grt Geothermometer nach der Mg-Fe Verteilung und Geobarometer nach der Al Löslichkeit in den Kristallen der Ferrogabbros. Alle Messungen erfolgten im Kern der Granat- und Opx-Kristalle

1. Probe 34-1-1 Geobarometer nach ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987): Opx, Grt: Punkte 1c, 22c (Abb. 15).
2. Probe 34-1-1 Geothermometer nach HARLEY (1984a): Opx, Grt: Punkte 1c, 22c (Abb. 15).
3. Probe 34-3-2 Geobarometer nach ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987): Opx, Grt: Punkte 12, 17 (Abb. 18).
4. Probe 34-3-2 Geothermometer nach HARLEY (1984a): Opx, Grt: Punkte 12, 17 (Abb. 18).
5. Probe 34-3-3 Geobarometer nach ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987): Opx, Grt: Punkte 25, 20 (Abb. 19).
6. Probe 34-3-3 Geothermometer nach HARLEY (1984b): Opx, Grt: Punkte 25, 20 (Abb. 19).
7. Probe 34-3-4 Geobarometer nach HARLEY (1984b): Opx, Grt: Punkte 18, 17 (Abb. 20).
8. Probe 34-3-4 Geothermometer nach HARLEY (1984a): Opx, Grt: Punkte 18, 17 (Abb. 20).

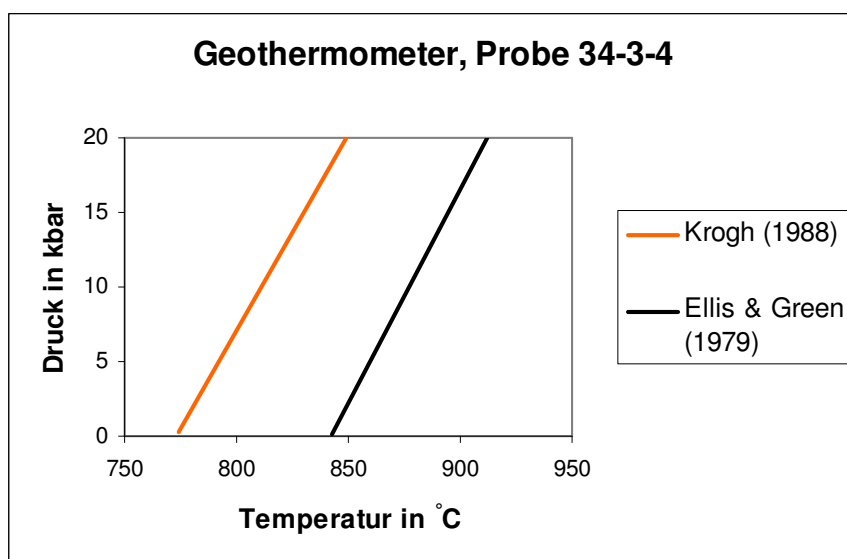


Abbildung 51

Probe 34-3, Domäne 4
Klinopyroxen-Granat-Geothermometer nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) (Abb. 20).

Hier wurde im Kern eines Granatkorns (Punkt 17) und in einem Klinopyroxenkorn in einer Matrix aus Cpx und Opx gemessen (Punkt 7).

Für die Probe 34-11 ergeben sich ähnliche Messergebnisse wie für die anderen Ferrogabbro-Proben (Abb. 22, Abb. 52). Hier wurde auch einmal am Rand des Kristalls gemessen, was leicht niedrigere Temperaturen als die Messungen im Kern des Kristalls ergibt. Da am Rand des Granatkristalls die Diffusion auch nach Abkühlen des Gesteins weiter läuft, sollten hauptsächlich die Temperaturen im Kern der Kristalle gemessen werden. Die Temperaturen für die Domäne 1 in Probe 34-11 sind niedriger als die in Domäne 2 (Abb.52 und Abb.53).

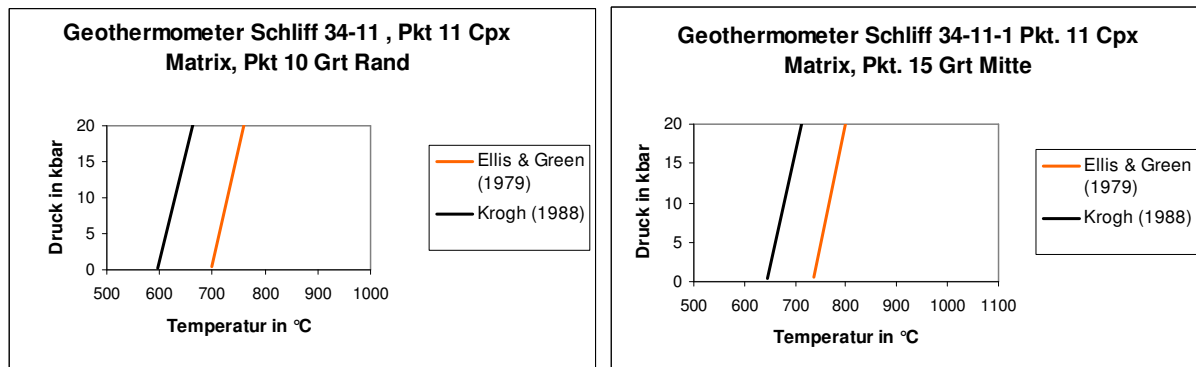


Abbildung 52

Schliff 34-11, Domäne 1:

Granat-Klinopyroxen Geothermometermessung von Domäne 2 (Abbildung 19). Dargestellt sind auf der Y-Achse die festgelegten Drücke und auf der X-Achse die gemessenen Temperaturen, nach Krogh = KROGH (1988) und nach Ellis = ELLIS & GREEN (1979). Die Temperatur wurde am Rand des Granatkristalls (linke Abbildung (Punkt 10)) und im Kern des Granatkristalls (rechte Abbildung (Punkt 15)) bestimmt. Der Klinopyroxen wurde für beide Abbildungen in der Matrix gemessen (Punkt 11 für beide Abbildungen). Aufgrund der geringen Zonierung des Granatkristalls sind die gemessenen Temperaturen vom Rand und vom Kern des Granatkristalls relativ ähnlich.

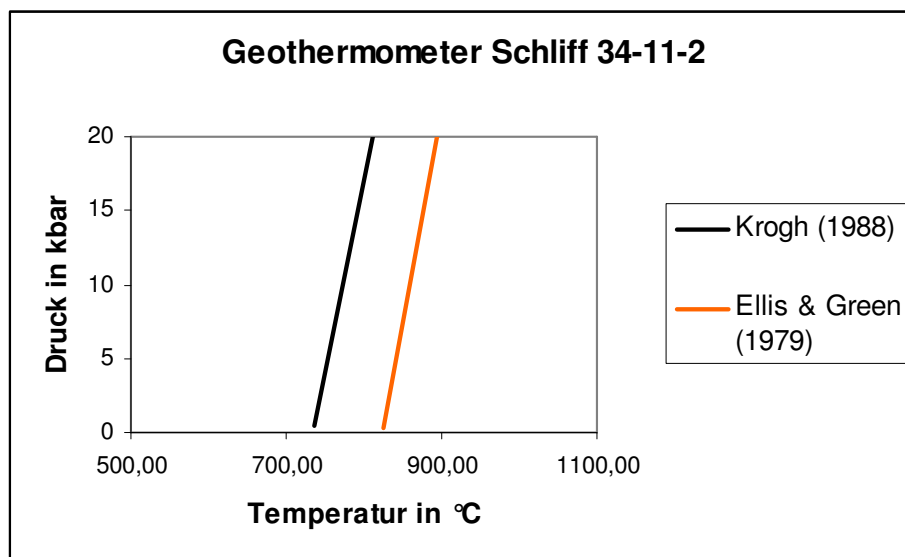


Abbildung 53

Dünnschliff 34-11, Domäne 2:

Dargestellt sind die Granat Klinopyroxenthermometer nach KROGH (1988) und nach ELLIS & GREEN (1979) für Drücke von 10-20 bar. Die Temperaturen liegen nach KROGH (1988) zwischen 678 °C für 10 kbar und 712 °C für 20 kbar. Nach ELLIS & GREEN (1979) ergeben sich wieder Temperaturen, die fast 100 °C höher sind als die

Temperaturen bei KROGH (1988). Sie liegen zwischen 767 °C bei 10 kbar und 803 °C bei 20 kbar. Gemessen wurde Punkt 24 im Kern eines Granatkorns und ein Cpx (Punkt 21) in einer Matrix aus Cpx und Opx.

Aus Probe 34-19 kann mit dem Geothermometer nach ELLIS & GREEN (1979) eine Temperatur von 793 °C bei 10 kbar Druck und eine Temperatur von 809 °C bei 15 kbar ermittelt werden. Nach KROGH (1988) ergeben sich etwas niedrigere Temperaturen von 715 °C bei 10 kbar und 733 °C bei 15 kbar (Abb. 54) .

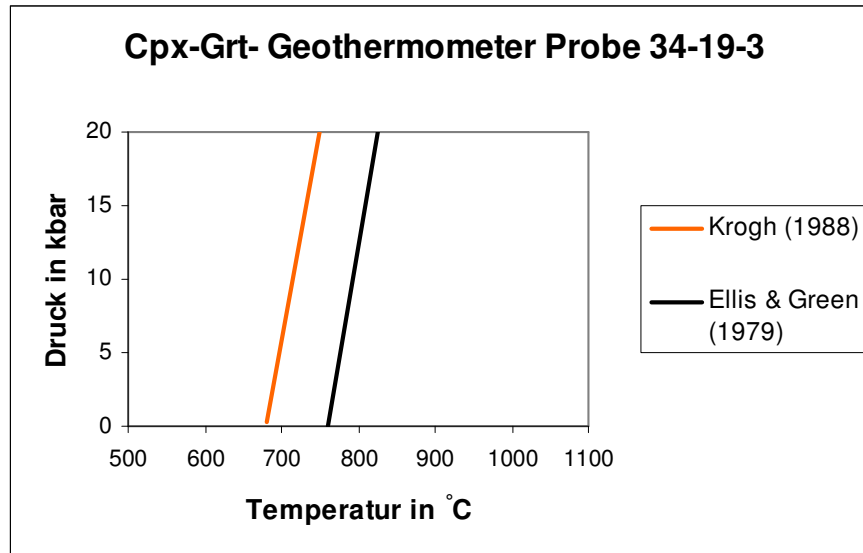


Abbildung 54

Grt-Cpx-Geothermometer der Probe 34-19 nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) (Abb. 24). Hier wurde der in der Matrix befindliche Cpx (Punkt 28) und der Kern eines Granatkorns gemessen (Punkt 25).

Insgesamt gilt für die Ferrogabbros, dass die gemessenen Temperaturen und Drücke je nach Probe und Domäne relativ stark schwanken mit Drücken zwischen ca. 10 und 15 kbar und Temperaturen zwischen ca. 700 und 1000 °C.

Leider konnten für die Ferrogabbros aufgrund des Fehlens von Plagioklas nur Geobarometer benutzt werden, die auf der Al-Löslichkeit in Granat und Orthopyroxen beruhen. Diese ergeben je nach Al-Gehalt des Orthopyroxens unterschiedliche Ergebnisse.

4.3.2 Amphibolitfazielles Stadium

Die plagioklasfreien Ferrogabros sind durch Fluidinfiltration in Fugen und Spalten auf dem retrograden Pfad amphibolitisiert worden. Da die Probe 34-7 keinen Plagioklas enthält, konnten hier nur Grt-Amph-Temperaturen nach GRAHAM & POWELL (1984) und PERCHUK et al. (1985) berechnet werden, wobei sich hier nur pauschale Temperaturen ohne zugehörigen Druck bestimmen lassen. Die Messung des im Gestein vorherrschenden Drucks lassen sich nur mit einem Al-Löslichkeitsthermometer, wie z.B. nach HAMMARSTROM & ZEN (1986) oder JOHNSON & RUTHERFORD (1989) bestimmen. Auch hier lassen sich nur pauschale Drücke ohne zugehörige Temperaturen berechnen. Mit dem Granat-Amphibolthermometer nach GRAHAM & POWELL (1984) wurden z.B. Temperaturen zwischen 515 und 716 °C gemessen. Nach PERCHUK et al. (1985) liegen die Temperaturen zwischen 526 und 738 °C (Siehe z.B. Tabelle III). Die im Kern der Granatkristalle gemessenen Temperaturen sind auch hier höher als die am Rand der Granatkristalle gemessenen Temperaturen.

Tabelle III

Schliff 34-7 Geothermometer

	34-7-1	34-7-1	34-7-2	34-7-2	34-7-3	34-7-3
Punktnummer:	14 Amph. Matrix	14 Amph. Matrix	10b Amph. Matrix	10b Amph. Matrix	21b Amph. Matrix	21b Amph. Matrix
Punktnummer.:	5 Grt. Kern	11 Grt. Rand	8b Grt. Rand	34 Grt. Rand	50 Grt. Rand	54 Grt. Rand
	T in °C	T in °C	T in °C	T in °C	T in °C	T in °C
GRAHAM & POWELL (1984)	699,7	563,8	602,3	715,8	515,0	648,9
PERCHUK ET AL. (1985)	717,3	579,0	623,9	737,6	525,8	667,0

Die gemessenen Drücke sind in Tabelle IV dargestellt.

Tabelle IV

Schliff 34-7

Geobarometer

Aluminiumgehalt im Amphibol.

		34-7-1	34-7-1	34-7-2	34-7-2	34-7-3
Punktnummer		Amph. 14 Druck in kbar	Amph. 15 Druck in kbar	Amph 30 Druck in kbar	Amph. 5b Druck in kbar	Amph. 21b Druck in kbar
HAMMARSTROM & ZEN (1986)	P +/- 3 kbar	12,8	8,6	10,7	10,2	9,5
JOHNSON & RUTHERFORD (1989)	Mittel	10,6	7,1	8,9	8,4	7,8
	Max	11,3	7,6	9,5	9,0	8,4
	Min	10,0	6,5	8,2	7,8	7,3

Die errechneten Drücke liegen für die Domänen 1, 2 und 3 in ähnlichen Größenordnungen (Abb. 26, 27 und 28). Sie liegen im Wesentlichen zwischen 9,5 und 13 kbar nach HAMMARSTROM & ZEN (1986) und zwischen 7 und 11 kbar nach JOHNSON & RUTHERFORD (1989).

Die Geobarometer, welche aufgrund des Aluminiumgehalts in Amphibol funktionieren, sind relativ ungenau. Sie geben den Druck nur auf ca. 3 kbar genau an. Sie liefern aber trotzdem recht gute Anhaltspunkte, welche Drücke bei der Abkühlung des Gesteins geherrscht haben. Sie ergeben in diesem Fall relativ niedrige Drücke und relativ niedrige Temperaturen, was an der nicht geeigneten Kalibrierung der Geothermometer und Geobarometer liegen kann. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Gesteine retrograd unter Druckentlastung sehr stark abgekühlt sind. Diese Ergebnisse stimmen aber mit denen von ECKE (2004) für Bolschoi Khed relativ gut überein.

4.3.3 Kumulatgabbros

Die Bestimmung der in den Kumulatgabbros vorherrschenden Temperaturen erfolgte mit den oben beschriebenen Granat-Klinopyroxen-Kationenaustauschgeothermometern von ELLIS & GREEN (1979) und von KROGH (1988). Weiter wurden Druck- und Temperaturbedingungen mit dem Programm TWEEQU 2.02b bestimmt. Der in den Kumulatgabbros vorherrschende Druck wurde mit Hilfe der oben beschriebenen Granat-Klinopyroxen-Plagioklas-Reaktion bestimmt. Für Probe 34-18-2 ergibt sich für das Geothermometer nach ELLIS & GREEN (1979) für einen Druck von 12 kbar eine Temperatur von 896 °C und für einen Druck von 14 kbar eine Temperatur von 906 °C. Nach KROGH (1988) erhält man Temperaturen von 845 °C bei 12 kbar Druck und 853 °C bei 14 kbar. Hierbei wurden die Drücke nach POWELL & HOLLAND (1988) und nach ECKERT et al. (1991) bestimmt. (Abb 55).

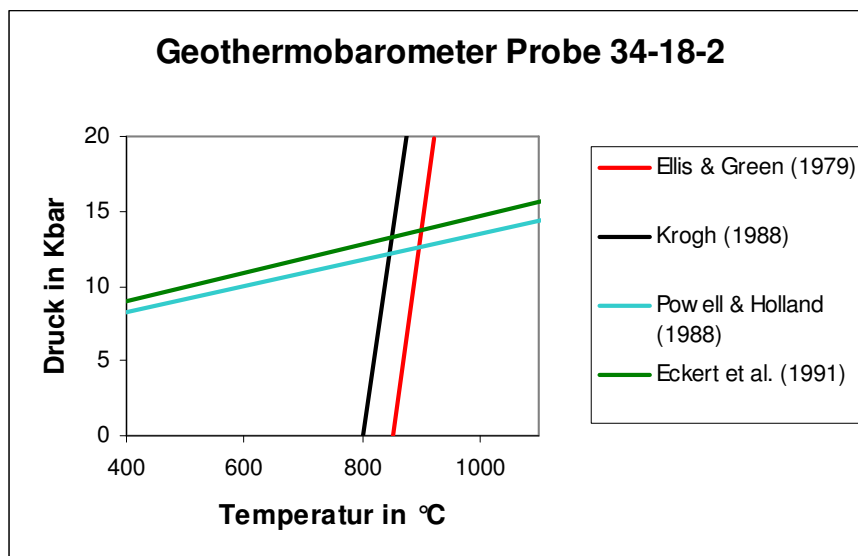


Abbildung 55

Probe 34-18, Domäne 2:

Für die hier benutzten Geobarometer wurde im Kern eines Granatkorns (Punkt 15), im Kern eines angrenzenden Cpx-Korns (Punkt 20) und ein Plagioklaskorn in der Matrix (Punkt 31) gemessen. Für die Geothermometermessung wurden die Punkte 15 im Granat und 20 im Klinopyroxen gemessen.

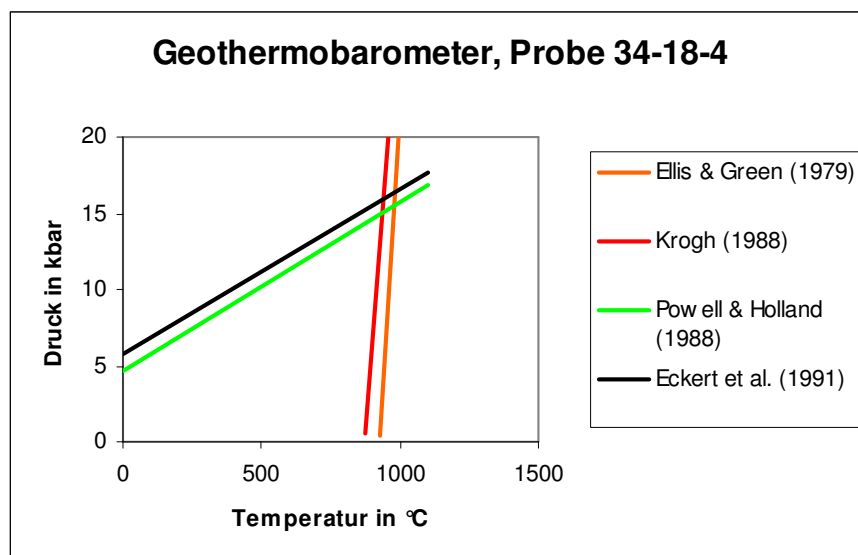
Geothermometer und Geobarometer ergeben Temperaturen von 896 °C nach ELLIS & GREEN (1979) bei 12 kbar Druck nach POWELL & HOLLAND (1988) und 894 °C nach KROGH (1988) bei 13 kbar Druck nach ECKERT et al. (1991).

Das Granatkorn in Schliff 34-18 Domäne 1 ist von einer Korona aus Amphibol und Klinopyroxen umgeben (Abb. 30). Dieses Korn befindet sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Umgebung. Daher ergibt die Granat-Klinopyroxenmessung geringfügig höhere Temperaturen als in den anderen Domänen, wie in Tabelle I zu sehen ist.

Tabelle I

Schliff 34-18-1	Rand CPX 34-18 CPX	Rand Grt 34-18 GRT
Punktnummer:	10	1
Autor	ELLIS & GREEN (1979)	KROGH (1988)
Druck in kbar	Temperatur in °C	Temperatur in °C
2	888,6	855,3
4	895,5	862,9
6	902,4	870,5
8	909,3	878,1
10	916,2	885,7
12	923,1	893,3
14	930,0	900,9
16	936,9	908,5
18	943,9	916,0
20	950,8	923,6

Cpx- und Pl-Einschlüsse im Granat (Abb. 33) ergeben relativ hohe Drücke und Temperaturen. Die Temperatur liegt hier bei ca. 933 °C (KROGH 1988) bei 15 kbar (POWELL & HOLLAND 1988). Nach ELLIS & GREEN (1979) liegen die gemessenen Temperaturen etwas höher bei ca. 933 °C bei 15 kbar (POWELL & HOLLAND 1988) und 939 °C bei 16 kbar (Abb.56).

**Abbildung 56**

Geothermometer- und Geobarometermessungen für einen Klinopyroxen- (Punkt 62) und Plagioklaseinschluss (Punkt 44) im Granat (Punkt 68) (Abb. 33). Für das Geothermometer wurde der Granat (Punkt 68) und der Klinopyroxeneinschluss (Punkt 62) gemessen. Die im Gestein vorherrschenden Temperaturen wurden nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) bestimmt. Die vorherrschenden Drücke wurden nach POWELL & HOLLAND (1988) und nach ECKERT et al. (1991) bestimmt.

Die Druck- und Temperaturmessungen von Probe 34-20-1 ergeben relativ hohe Drücke bei niedrigen Temperaturen (Abb. 57). Die ermittelten Drücke liegen zwischen 14 kbar nach POWELL & HOLLAND (1988) bei 753 °C nach KROGH (1988) und 15 kbar nach ECKERT et al. (1991) bei 793 °C nach ELLIS & GREEN (1979).

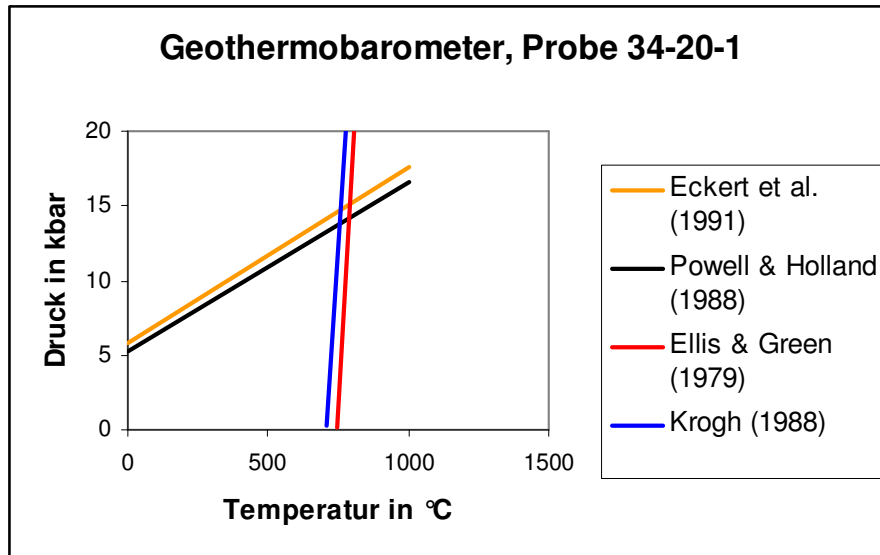


Abbildung 57

Schliff 34-20-1: Granat- Klinopyroxenthermometer nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) und Granat- Klinopyroxen- Plagioklas Geobarometer nach POWELL & HOLLAND (1988) und ECKERT et al. (1991). Die Messungen erfolgten im Kern des Granatkristalls (Punkt 24) und im Kern des Klinopyroxens (Punkt. 12) Der gemessene Plagioklas (Punkt 10b) liegt in der Matrix.

Domäne 2 von Probe 34-20 ergibt ähnliche Ergebnisse. Die gemessenen Temperaturen sind mit 646 °C bei 12 kbar (Temperaturen nach KROGH (1988) und Druck nach POWELL & HOLLAND (1988)) (Abb. 58, Abb.35) relativ gering. Nach ECKERT et al.(1991) und KROGH (1988) liegt die gemessene Temperatur bei 701 °C und 13 kbar Druck.

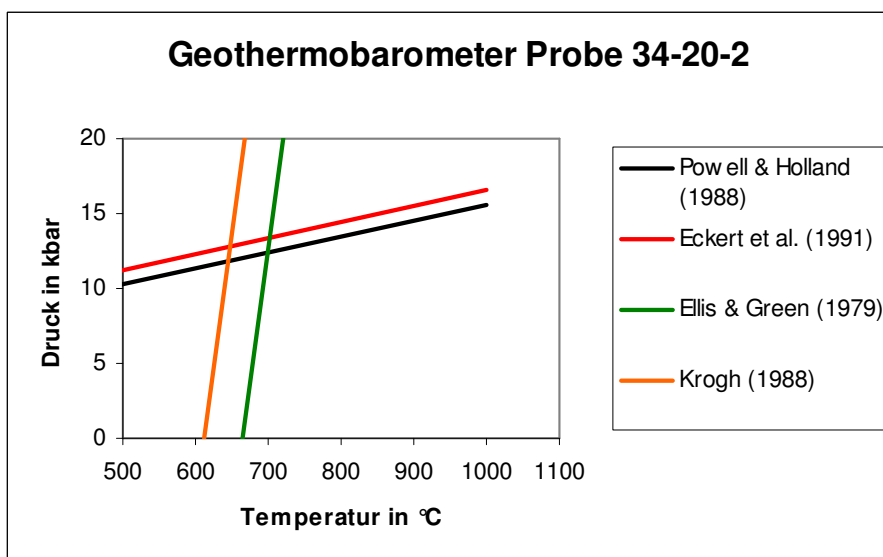


Abbildung 58

Probe 34-20, Domäne 2: Grt-Cpx-Thermometer und Grt-, Cpx- und Pl-Barometer. Für das Grt-Cpx-Thermometer wurde der Kern eines Granatkorns (Punkt 5) und ein Klinopyroxen (Punkt 16c) in einer Matrix aus Pl und Cpx

gemessen. Bei der Messung vom Grt-Cpx-Pl-Barometer wurde neben dem Grt und Cpx noch ein Plg-Kristall (Punkt 10c) in der Matrix gemessen.

Die Geothermometergeraden wurden nach ELLIS & GREEN (1979) und KROGH (1988) berechnet. Die Barometergeraden wurden nach POWELL & HOLLAND (1988) und nach ECKERT et al. (1991) berechnet.

Das Granat-Klinopyroxenthermometer von Probe 34-20, Domäne 3 ergibt ähnliche Temperaturwerte wie die anderen Domänen von Probe 34-20. Bei 12 kbar ergibt sich nach ELLIS & GREEN (1979) eine Temperatur von 738 °C und nach KROGH (1988) eine Temperatur von 675 °C. Bei 14 kbar ergibt sich nach ELLIS & GREEN (1979) eine Temperatur von 744 °C und nach KROGH (1988) 681 °C (Abb. 59), was zeigt, dass die Temperaturen in Probe 34-20 deutlich niedriger als in Probe 34-18 sind.

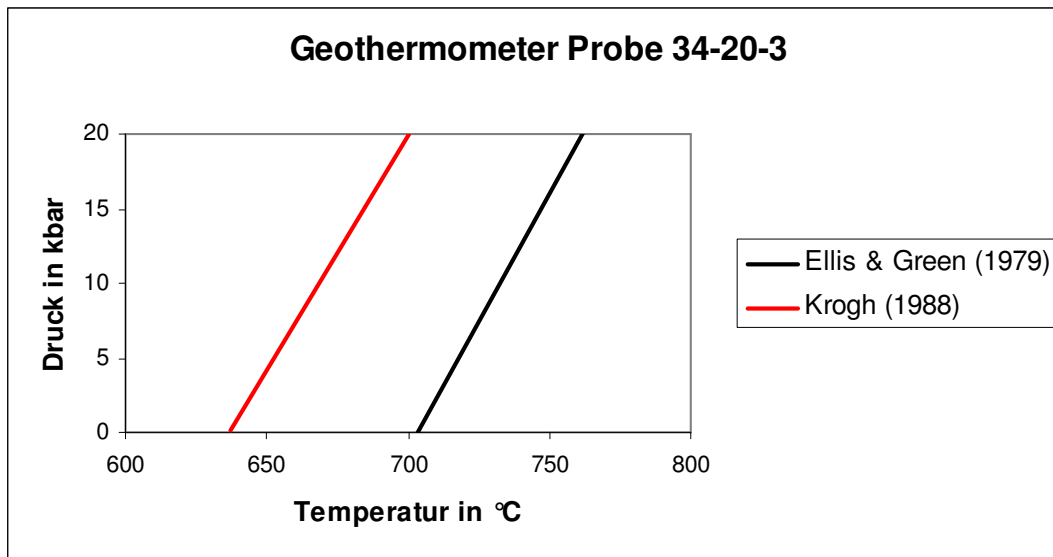


Abbildung 59

Schliff 34-20, Domäne 3:

Hier wurde für das Geothermometer ein Punkt im Kern eines Granatkristalls (Punkt 18c) und ein Punkt im Klinopyroxen in der Matrix aus Cpx und Pl gemessen (Punkt 26)

Granat-Klinopyroxen-Thermometer nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988).

Druckmessungen von dem Granat, Klinopyroxen und symplektischem Plagioklas ergeben sehr niedrige Drücke, was daran liegt, dass die Minerale hier nicht im Gleichgewicht sind (Abb.36) (Abb. 60).

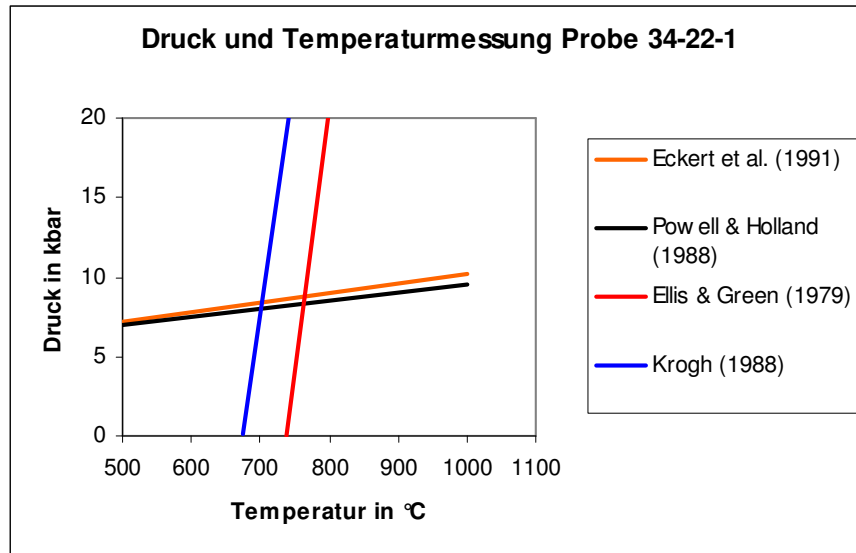


Abbildung 60

Geothermometer und Geobarometer von Probe 34-22-1. Hier wurde der Kern eines Granatkorns (Punkt 4) und der Kern eines angrenzenden Klinopyroxens (Punkt 18) gemessen. Für die Geobarometrie wurde zusätzlich noch ein symplektitischer Plagioklas (Punkt 10), der den Granat umgibt, gemessen. Deutlich sind die mit 8-9 kbar sehr niedrigen Drücke zu sehen. Diese sind vermutlich so niedrig, da hier symplektitischer Plagioklas gemessen wurde, der sich nicht mit den anderen Mineralen im Gleichgewicht befindet. Die gemessenen Temperaturen sind in Tabelle II noch einmal dargestellt.

Tabelle II

Schliff 34-22-1	Kern Grt 34-22 Grt	Kern Cpx 34-22 Cpx
Punkt	4	18
Autor	ELLIS & GREEN (1979)	KROGH (1988)
Druck in kbar	Temperatur in °C	Temperatur in °C
2	743,8	680,3
4	750,0	686,9
6	756,2	693,6
8	762,3	700,2
10	768,5	706,8
12	774,6	713,4
14	780,8	720,1
16	786,9	726,7
18	793,1	733,3
20	799,3	740,0

Neben der Bestimmung der vorherrschenden Temperatur anhand von Grt- Cpx Thermometern nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) und des vorherrschenden Drucks mit dem Grt-Cpx-Pl-Barometer nach POWELL & HOLLAND (1988) und nach ECKERT et al. (1991) erfolgte die Druck Temperaturmessung mit dem Computerprogramm TWEEQU 2.02b.

Die mit dem Programm TWEEQU 2.02b errechneten Schnittpunkte der Temperatur- und Druckgeraden liegen für die Kumulatgabbros meistens zwischen 12 und 14 kbar und einer Temperatur von 640-860 °C (Abb. 61, 62). Die errechneten Drücke in Schliff 34-20 sind mit 12-13 kbar relativ hoch, während die Temperaturen mit 650-695 °C relativ niedrig sind, was darauf hindeuten kann, dass das Gestein relativ weit abgekühlt ist oder dass die gemessenen Domänen nicht im thermodynamischen Gleichgewicht stehen, wobei hier nicht immer Temperaturen und Drücke im Kern der Kristalle bestimmt wurden, sondern auch an den Rändern der Kristalle, was niedrigere Temperaturen als im Kern der Minerale ergibt. Insgesamt wurden relativ hohe Drücke und niedrige Temperaturen in den Kumulatgabbros gemessen. Die hohen Drücke sind wahrscheinlich auf eine Versenkungsmetamorphose des Gesteins zurückzuführen.

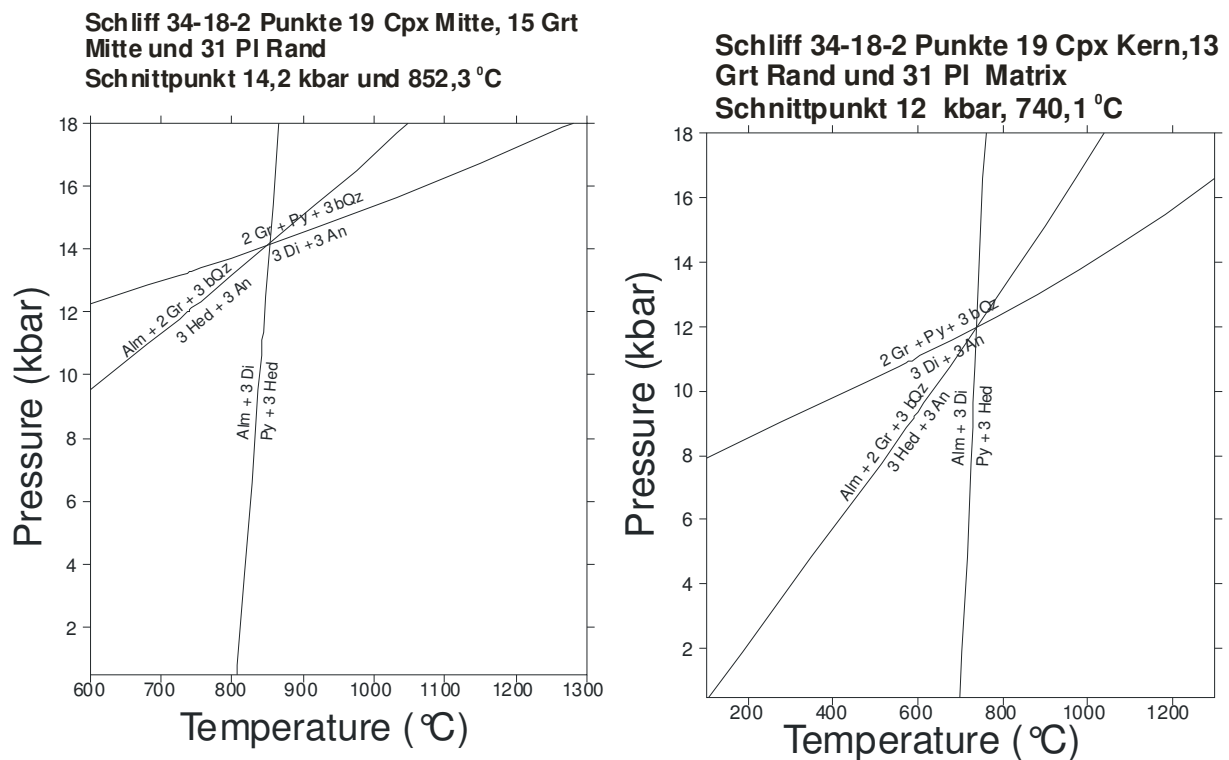
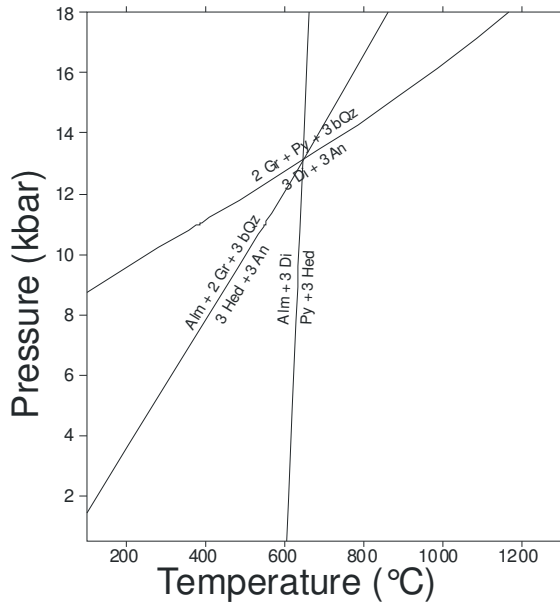


Abbildung 61

Dargestellt sind Druck- und Temperaturphasengleichgewichte in Schliff 34-18. Erstellt wurden diese Gleichgewichtskurven mit dem Programm TWEEQU. Die zur Berechnung des Gleichgewichtes herangezogenen Elemente sind K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Ti, Si und O. Bei den ersten beiden Diagrammen erfolgte die Messung der Phasengleichgewichte am Rand und im Kern des Granatkristalls (Abb. 25). Die Messung im Kern des Granatkristalls ergibt leicht höhere Temperaturen und Drücke als am Rand des Granatkristalls.

Schliff 34-20-2 Punkte 16c Cpx Matrix,
5c Grt Rand, 6c Pl Matrix
Schnittpunkt 13,1 kbar, 648,1 °C



Schliff 34-20-3 Punkte 26 Cpx Matrix,
23c Grt Rand, 25c Pl Matrix
Schnittpunkt 12,2 kbar, 694,2 °C

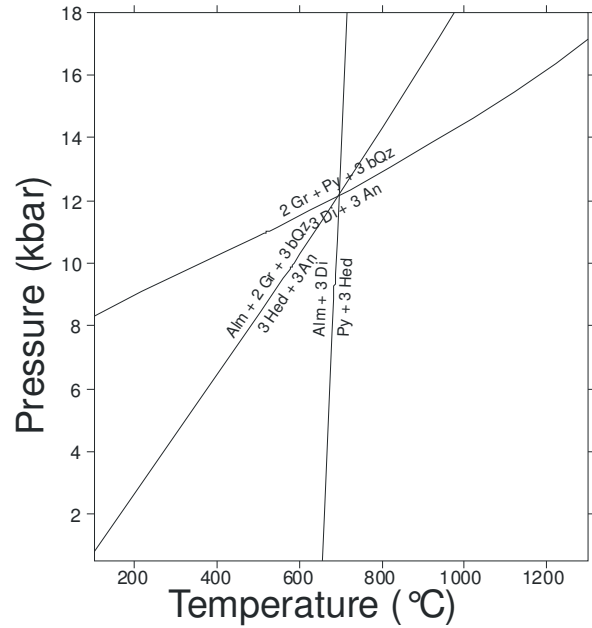


Abbildung 62

Druck- und Temperaturphasendiagramme von Schliff 34-20 (Abb. 29 und Abb. 30). Die gemessenen Drücke sind mit ca. 12-13 kbar relativ hoch, während die Temperaturen mit 648 und 694,2 °C relativ niedrig sind, was darauf hindeutet, dass das Gestein in diesem Stadium relativ weit heruntergekühlt ist.

5 Zusammenfassung

Die untersuchten metabasischen Gesteine vom Aufschluss Malinki Khed auf der Kolahalbinsel durchliefen auf dem retrograden Pfad im Wesentlichen alle die gleichen metamorphen Stadien.

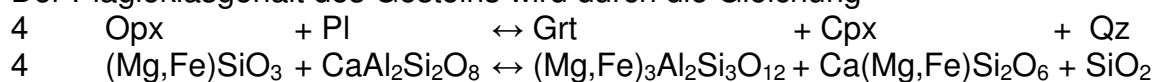
Unterschiede ergeben sich im Chemismus der Gesteine. Vor allem der Mg-Fe-Gehalt des Gesteins bestimmt, welche Paragenesen entstehen.

In den Proben 34-1, 34-3, 34-11 und 34-19 kommt die Paragenese Grt, Cpx, Opx, Qz und untergeordnet Amph vor. Somit sieht diese Paragenese wie ein eklogitfazielles Stadium aus. Diese Gesteine enthalten in den mit der Elektronenstrahlmikrosonde beprobten Klinopyroxenen kaum Natrium und somit kaum Jadeit oder Akmit. Die Natriumarmut der Pyroxene des Gesteins zeigt, dass diese Gesteine Hochdruck-metamorphe granulitfazielle Gesteine sind.

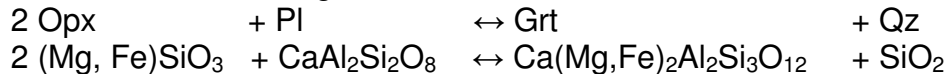
In einer Probe 34-7 sind die Proben durch Fluidinfiltration in Fugen amphibolitisiert, so dass als Paragenese nur noch stark korrodierter Granat und rekristallisierter Amphibol vorkommen.

Die Proben 34-18, 34-20 und 34-22 enthalten die Paragenese Grt, Pl, Cpx, Opx, Qz und untergeordnet Hbl. Diese Gesteine sind lagig aufgebaut. Sie bestehen aus hellen, felsischen Lagen aus Pl und Qz und aus dunklen, mafischen Schichten aus Grt, Cpx, Opx und Hbl. Diese Gesteine sind Kumulatgabbros.

Der Plagioklasgehalt des Gesteins wird durch die Gleichung



und von der Gleichung



bestimmt. Diese beiden Reaktionen sind stark vom Fe- und Mg-Gehalt des Gesteins abhängig. Je höher der Fe-Gehalt des Gesteins ist, desto weniger Plagioklas und Opx befindet sich im Gestein. Für diese Arbeit wurden keine RFA-Messungen des Gesamtgesteins gemacht. Allerdings fällt seltsamer Weise auf, dass die plagioklasfreien Ferrogabbros in ihren Granatkörnern niedrigere Fe-Gehalte haben als die Kumulatgabbros. Die meisten Granatkörner der plagioklasfreien Ferrogabbros sind zoniert. Sie zeigen meistens keine Glockenkurve des Spessartingehalts, was für eine retrograde Zonierung spricht. Der Pyrop- und der Almandingehalt zeigen im Profil quadratische Kurven, was für eine langsame Abkühlung des Gesteins spricht. Ein Problem ergab die Druckbestimmung der Ferrogabbros. Hier konnte nur anhand der Al-Löslichkeit im Orthopyroxen und Granat Geobarometrie betrieben werden. Für die Temperaturmessung wurde das Geothermometer nach HARLEY (1984a) verwendet und für die Druckmessung wurden die Barometer von ARANOVICH & KOSYAKOVA (1987) und von HARLEY (1984b) verwendet. Die Granat-Orthopyroxenmessungen ergeben Temperaturen von 720 °C bei 9,8 kbar Druck und 960 °C bei 14,5 kbar Druck (Abb. 50). Temperaturmessungen von Grt und Cpx ergeben ähnliche Ergebnisse mit 877 °C bei 10 kbar und 894 °C bei 15 kbar (ELLIS & GREEN 1979). Nach Krogh (1988) ergibt sich eine Temperatur von 811 °C bei 10 kbar Druck und 830 °C bei 15 kbar. Die gemessenen Druck- und Temperaturwerte sind sehr hoch, was auf Versenkungsmetamorphose während der Orogenese hindeutet. Hier liegt also sehr wahrscheinlich Kollisionstektonik mit einer Krustenstapelung vor (ECKE 2004).

Die plagiokasfreien Ferrogabbros sind durch Fluidinfiltration in Fugen und Spalten des Gesteins in ein amphibolitfazielles Gestein umgewandelt worden.

Grt, Cpx und Opx sind zu großen Teilen in Amph umgewandelt worden. Es existieren nur noch randlich korrodierter Granat und Amphibol.

Die hier vorherrschende Paragenese enthält nur Amphibol und Granat, was die Bestimmung der vorherrschenden Druck-Temperaturbedingungen erschwerte. Es wurden Granat-Amphibol-Thermometer nach GRAHAM & POWELL (1984) verwendet. Die Ermittlung des im Gestein vorherrschenden Druckes erfolgte nach HAMMARSTROM & ZEN (1986) und JOHNSON & RUTHERFORD (1989). Alle gemessenen Geothermometer und Geobarometer der amphibolitfaziellen Probe ergeben eine pauschale Temperatur ohne Druckangabe und einen pauschalen Druck ohne Temperaturangabe.

Die mit dem Granat-Amphibol-Thermometer bestimmten Temperaturen liegen nach GRAHAM & POWELL (1984) zwischen 515 und ca. 700 °C. Nach PERCHUK et al. (1985) liegen die Temperaturen zwischen 525 und 737 °C. Auch hier zeigen sich leichte Unterschiede der Messungen vom Rand des Granats zur Mitte. Die Drücke, die das Gestein erfahren hat, wurden mit Hilfe der Al-Löslichkeit im Amphibol bestimmt. Hier ergeben sich nach HAMMARSTROM & ZEN (1986) Drücke von 8,6 bis 12,8 bar. Nach JOHNSON & RUTHERFORD (1989) liegen die Drücke im Mittel zwischen 7 und 11 kbar. Ähnliche Drücke und Temperaturen im amphibolitfaziellen Stadium werden auch von ECKE (2004) angegeben.

Insgesamt zeigt sich, dass in den amphibolitisierten Ferrogabbros eine Druckentlastung und eine Abkühlung des Gesteins bei der Exhumierung des Gesteins stattgefunden hat, obwohl einige Messwerte recht hohe Drücke angeben.

Die Kumulatgabbros zeigen häufig ein stark mylonitisches Gefüge mit wenig Orthopyroxen und größerer Anzahl von rekristallisiertem Klinopyroxen und polygonalen Plagioklasplästern.

Die im Gestein herrschenden Drücke wurden mit Hilfe von Granat, Klinopyroxen und Plagioklasbarometern nach HOLLAND & POWELL (1988) und nach ECKERT et al. (1991) bestimmt, wobei die herrschenden Temperaturen nach ELLIS & GREEN (1979) und nach KROGH (1988) bestimmt wurden.

Die gemessenen Drücke liegen bis auf eine Ausnahme (Abb.60) zwischen 12 und 15 kbar und die gemessenen Temperaturen liegen zwischen 640 und 930 °C

Mit dem Computerprogramm TEWEEQU 2.02 wurden ähnliche Drücke und Temperaturen gemessen. Die in den Kumulatgabbros gemessenen Temperaturen liegen zwischen 648 °C und 852 °C, bei Drücken zwischen 12 und 14,2 kbar (Abb.61, 62). Damit liegen diese Kumulatgabbros von den Druck-Temperaturwerten her in ähnlichen Bereichen wie die Ferrogabbros, was darauf beruht, dass die Gesteine aus einem räumlich relativ begrenzten Gebiet stammen. Die hohen Drücke, die das Gestein erfahren hat, deuten auch bei den Kumulatgabbros auf eine Versenkungsmetamorphose während der Kollision des Lappland-Kola-Orogens hin. Hier fand eine südwärts gerichtete Kompressionstektonik statt (ECKE 2004).

6 Literaturverzeichnis.

ARANOVICH, L.Y. & KOSYAKOVA, N.A. (1987): Garnet-orthopyroxene geothermobarometer: thermodynamics and example application. - *Geokhimiya*, **10.**, pp. 1363-1377.

BALAGANSKY, V.V., TIMMERMAN, M.J., KOZLOVA, N.Y. & KISLITSYN, R.V. (2001): A 2.44 Ga syn-tectonic mafic dyke swarm in the Kolvitsa Belt, Kola Peninsula, Russia: implications for early Palaeoproterozoic tectonics in the north-eastern Fennoscandian Shield. - *Precambrian Research* **105**, pp. 269-287.

BALAGANSKY, V.V., TIMMERMAN, M.J., KISLITSYN, R.V., DALY, J.S., BALASHOV, Y.A., GANNIBAL, L.F. SHERSTENNIKOVA, O.G. & RYUNGEN, G.I. (1998): Isotopic age rocks from Kolvitsa Belt and the Umba block (the south-eastern extension of the Lapland Granulite Belt), Kola peninsula. - *Proceeding of the Murmansk State University*, **1 (3)** pp. 19-32 (in Russian).

BARBEY, P. & RAITH, M. (1990): The granulite belt of Lapland. In: D. Vielzeuf and Ph. Vidal (Editors), *Granulites and crustal evolution*. - Kluwer Academic Publishers, pp. 11-132.

BERMAN, R.G. (1988): Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system $\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. - *Journal of Petrology*, **29**, pp. 445-522.

BERTRAND, P., SOTIN, C., MERCIER, J.C.C. & Takahashi, E. (1986): From the simplest chemical system to the natural one: garnet peridotite barometry. - *Contrib. to Mineral. & Petrol.*, **v. 93, 2**, pp. 168-178.

BIBIKOVA, E.V., TUGARINOV, A.J., GRACHEVA, T.V. & KONSTANTINNOVA, M.V. (1973): The age of granulites of the Kola Peninsula. - *Geochem. Int.*, **10**, pp. 508-518.

BRIDGWATER, D., SCOTT, D.J., BALAGANSKY, V.V., TIMMERMANN, M.J., MARKER, M., BUSHMIN, N.L. & DALY, J.S. (2001): Age and provenance of early Precambrian metasedimentary rocks in the Lapland-Kola Belt, Russia: evidence from Pb and Nd isotopic data. - *Terra Nova* **13**, pp. 32-37.

BRIDGWATER, D., MARKER, M. & MENGEL, F. (1992): The eastern extension of the Early Proterozoic Torngat orogenic zone across the Atlantic. - In: R.J. Wardle and J. Hall (Editors), *Eastern Canadian Shield Onshore-Offshore Transect (ESCSOOT)*. Lithoprobe Report **27**, pp. 76-91.

BUCHER, K. & FREY, M. (2002): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. - Springer Berlin, Heidelberg, New York.

CARSWELL, D. A. (1990): *Eclogite facies rocks*. - Blakie Glasgow.

DALY, J.S., BALAGANSKY, V.V., TIMMERMAN, M.J., WHITEHOUSE, M.J., DE JONG, K., GUISE, P., BOGDANOVA, S., GORBATSHEV, R. & BRIDGWATER, D. (2001): Ion microprobe U-Pb zircon geochronology and isotopic evidence for a trans-crustal

suture in the Lapland-Kola Orogen, northern Fennoscandian Shield. - *Precambrian Research* **105**, pp. 289-314.

DEER, W., HOWIE, R. A & ZUSSMANN, J. (1992): *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. - Longman Scientific & Technical, 2nd edition, Harlow, 696p.

ECKE, N.S. (2004): *Evolution of mafic rock-types of the Kolvitsa Complex, Kola Peninsula (Russia): Implication for the metamorphic evolution of the Kolvitsa Belt and characterisation of fluid-rock interactions*. - Dissertation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

ECKERT, J.O. JR., NEWTON, R.C. & KLEPPA, O.J., (1991): The ΔH of reaction and recalibration of garnet-pyroxene-plagioclase-quartz geobarometers in the CMAS system by solution calorimetry. - *Am. Mineral.*, **v. 76**, 1/2, pp. 148-160.

ELLIS, D.J. & GREEN, D.H. (1979): An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, **v. 71**, **1**, pp. 13-22.

FRISCH T., JACKSON G.D., GLEBOVITSKY V.A., YEFIMOV M.M., BOGDANOVA M.N., & PARRISH R.R. (1995): U-Pb ages of Zirkon from the Kolvitsa gabbro- anorthosite complex, southern Kola Peninsula, Russia. - *Petrology*, **3**, pp. 219-225.

Gastreich, M. (2000): *Stoffliche Natur und metamorphe Entwicklung eines Orthopyroxen-Sillimanit-Gneis der Umba-Kolvitsa-Suturzone (Kola-Halbinsel)*. - Diplomarbeit, Mineralogisch-Petrologisches Institut der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, 67 p

GLEBOVITSKY, V., MARKER, M., ALEXEJEV, N., BRIDGWATER, D., SEDOVA, I., SALNIKOVA, E. & BEREZHNYAYA, N. (2001): Age, evolution and regional setting of the Palaeoproterozoic Umba igneous suite in the Kolvitsa-Umba zone, Kola Peninsula: constraints from new geological, geochemical and U-Pb zircon data. - *Precambrian Research* **105**, pp. 247-267.

GRAHAM, C. M. & POWELL, R. (1984): A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing and application to the Pelona Schist, Southern California: - *J. metamorphic Geol.*, **v. 2**, **1**, pp. 13-31.

HAMMARSTROM, J.M., & ZEN, E. (1986): Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. - *Am. Mineral.*, **v. 71**, pp. 1297-1313

a) HARLEY, S.L. (1984): An experimental study of the partitioning of Fe and Mg between garnet and orthopyroxene. - *Contrib. Mineral. Petrol.* **v. 86**, pp. 359-373.

b) HARLEY, S.L. (1984): The Solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet in "FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ and CaO-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₄". - *Jour. of Petrol.* **v. 25**, **3**, pp. 665-694.

HJELT, S.E., DALY, J.S. & SVEKOLAPO COLLEAGUES (1996): SVEKALAPO evolution of paleoproterozoic and Archaean lithosphere. - In: EUROPROBE 1996 - Lithosphere

Dynamics: Origin and Evolution of Continents (ed. Gee, D.G., Zeyen, H.J.), EUROPROBE Secretariat, Uppsala Univ., Uppsala Sweden, pp. 56-67.

JOHNSON, M.C. & RUTHERFORD, M.J. (1989): Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks. - *Geology*, **v. 17**, **9**, pp. 837-841.

KRETZ, R. (1983): Symbols for rock forming minerals. - *Am. Miner.*, **68**, pp. 277-279.

KROGH, E.J. (1988): The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer - a reinterpretation of existing experimental data. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, **v. 99**, **1**, pp. 44-48.

LASAGA, A.C. (1983): Geospeedometry an extension of geothermometry. In : Kinetics and equilibrium in mineral reactions, (ed. Surendra S.K.), pp. 8-114. - *Advances in Physical Geochemistry*, 3. Auflage, Springer Verlag , New York.

LEAKE, B.E., WOOLLEY, A.R., ARPS, C.E.S., BIRCH, W.D., GILBERT, M.C., GRICE J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT K., LAIRD, J., MANDARINO, J., MARESCH, W.V., NICKEL, E.H. ; ROCK, N.M.S., SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C., STEPHENSON, N.C.N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E.J.W. & YOUZHI, G. (1998): Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. - *European Journal of Mineralogy*. **9**, 623-651.

LEE, H.I. & GANGULY, J. (1988): Equilibrium compositions of coexisting garnet and orthopyroxene: Experimental determinations in the system FeO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, and applications. - *J.Petrol.* **v. 29**, **1**, pp. 93-113.

MORIMOTO, N. (1988): Nomenclature of Pyroxenes. Subcommittee on Pyroxenes, Commission on New Minerals and Mineral Names. - International Mineralogical Association. - *Mineralogy and Petrology*, **39**, pp. 55-76.

NEWTON, R.C. & PERKINS, D. (1982): Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. - *Am. Mineral.*, **v. 67**, **3/4**, pp. 203-222.

OKRUSCH, M. & MATTHES, S. (2005): *Mineralogie*. - Springer Berlin Heidelberg New York.

PATTISON, D.R.M. & BEGIN, N.J. (1994): Zoning patterns in orthopyroxene and garnet in granulites: implications for geothermometry. - *Journal of metamorphic geology*, **12**, pp. 387-410.

PERCHUK, L.L., ARANOVICH, L.Y., PODLESKII, K.K., LAVRENTEVA, I.V., GERASIMOV, V.Y. U., FEDKIN, V.V., KITSUL, V.I., KARSAKIV, L.P. & BERDNIKOV, N.V (1985): Precambrian granulites of the Aldan Shield, eastern Siberia, USSR. - *J. metamorphic Geol.*, **v. 3**, pp. 265-310.

PERKINS, D. & NEWTON, R.C. (1981): Charnockite geobarometers based on coexisting garnet-pyroxene-plagioclase-quartz. - *Nature*, **v. 292**, **5819**, pp. 144-146.

POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B. (1988): An internally consistent dataset with uncertainties and correlations: 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. - *J. metamorphic Geol.*, **v. 6, 2**, pp. 173-204.

ROBINSON, P. (1982): The Composition space of terrestrial pyroxene-internal and external limits. - *Reviews in Mineralogy*, **7**, Mineralogical Society of America, pp. 419-494

SPEAR, F. (1993): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Path*. - Monograph Series pp. 799 Mineralogical Society of America (Washington).

TIMMERMAN, M. J. (1996): *Crustal evolution of the Kola Region, Baltic Shield, Russia*. - Unpublished Ph.D. Thesis. Department of Geology, University College Dublin.

YARDLEY, W.D. (1997): *Einführung in die Petrologie metamorpher Gesteine*. - Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

7 Anhang

Messwerte in tabellarischer Form

Amphibol: Die Berechnung der Formeleinheiten der folgenden Mikrosondenanalysen von Amphibol erfolgte auf der Basis von einer Durchschnittsberechnung mit 15 Kationen und 23 Sauerstoffatomen ohne Na und K nach Robinson et al. (1981) und einer Berechnung mit 13 Kationen und 23 Sauerstoffatomen ohne Ca, Na und K mit dem Computerprogramm Minpet.

Pyroxen: Die Berechnung der Formeleinheiten erfolgte auf der Basis von 4 Kationen und 6 Sauerstoffatomen.

Feldspat: Die Formeleinheitenberechnung erfolgte auf der Basis von 5 Kationen und 8 Sauerstoffatomen.

Granat: Die Berechnung der Formeleinheiten der folgenden Mikrosondenanalysen von Granat erfolgte auf der Basis von 8 Kationen und 12 Sauerstoffatomen

Ferrogabbros: Amphibol**Tabelle 1**

Probe	Ein-	Ein-	Matrix	Matrix					
	schluß im Grt	schluß im Grt							
Analyse	34-1-1	34-1-1	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-3	34-1-3	34-1-3
Mineral	10	11	18b	34c	35c	36c	17b	1b	27
SiO ₂	40,15	40,83	42,39	42,58	42,56	42,22	42,38	41,07	42,12
TiO ₂	2,68	2,58	1,93	2,43	2,34	2,64	2,08	1,06	1,13
Al ₂ O ₃	16,84	16,79	16,15	16,03	15,97	15,76	15,75	15,36	15,79
FeO	6,34	6,52	6,37	6,75	6,50	6,92	5,73	6,02	6,02
Cr ₂ O ₃	0,03	0,11	0,07	0,07	0,03	0,03	0,06	0,09	0,15
MnO	0,00	0,04	0,05	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03
MgO	15,34	15,36	15,97	15,77	15,59	15,58	16,05	16,30	16,44
CaO	11,96	12,04	11,98	12,04	11,88	11,87	12,12	11,74	11,73
Na ₂ O	2,62	2,54	2,53	2,61	2,71	2,62	2,81	2,48	2,60
K ₂ O	0,02	0,03	0,04	0,24	0,28	0,32	0,04	0,08	0,08
Σ	95,98	96,84	97,48	98,56	97,86	97,97	97,04	94,20	96,09
H ₂ O	2,07	2,09	2,12	2,13	2,12	2,12	2,10	2,05	2,09
CTotal	98,05	98,93	99,51	100,69	99,98	100,09	99,14	96,25	98,18
TSi	5,82	5,86	6,06	6,06	6,11	6,06	6,07	6,01	6,04
TAI	2,18	2,14	1,94	1,94	1,89	1,94	1,93	1,99	1,96
CAI	0,69	0,70	0,78	0,74	0,80	0,72	0,72	0,66	0,71
CCr	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
CFe ₃	0,32	0,31	0,03	0,00	0,00	0,00	0,18	0,51	0,43
CTi	0,29	0,28	0,21	0,26	0,25	0,29	0,22	0,12	0,12
CMg	3,31	3,29	3,40	3,35	3,33	3,33	3,43	3,56	3,52
CFe ₂	0,38	0,41	0,57	0,64	0,61	0,66	0,45	0,15	0,21
CMn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BFe ₂	0,07	0,07	0,16	0,16	0,17	0,17	0,07	0,08	0,09
BMn	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BCa	1,86	1,85	1,84	1,84	1,83	1,83	1,86	1,84	1,80
Bna	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	0,11
ANa	0,66	0,63	0,70	0,72	0,75	0,73	0,71	0,62	0,62
AK	0,00	0,01	0,01	0,04	0,05	0,06	0,01	0,02	0,02

Tabelle 2

Mikrosondenanalyse Amphibol: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-3-2	34-3-4	34-3-4	34-3-4
Analyse	4	11	12	19
Mineral	Amph	Amph	Amph	Amph
SiO ₂	44,02	41,24	41,9	42,39
TiO ₂	1,35	3,1	2,93	2,99
Al ₂ O ₃	15,09	15,9	15,25	15,23
FeO	6,62	5,54	5,77	5,36
Cr ₂ O ₃	0,07	0,14	0,06	0,12
MnO	0,02	0,03	0,04	0,02
MgO	16,73	15,91	16,17	16,22
CaO	12,09	11,7	11,77	11,82
Na ₂ O	2,41	2,98	2,9	2,91
K ₂ O	0,14	0,74	0,67	0,76
Σ	98,47	97,14	97,4	97,7
H ₂ O	2,15	2,09	2,1	2,1
Ctotal	100,62	99,09	99,1	99,1
TSi	6,17	5,95	6,02	6,07
TAl	1,83	2,05	1,98	1,93
TFe ₃	0	0	0	0
Cal	0,66	0,65	0,6	0,64
CCr	0,01	0,02	0,01	0,01
CFe ₃	0,39	0,14	0,16	0,09
Cti	0,14	0,34	0,32	0,32
CMg	3,5	3,42	3,46	3,46
CFe ₂	0,3	0,44	0,45	0,47
CMn	0	0	0	0
BMg	0	0	0	0
BFe ₂	0,09	0,09	0,09	0,09
BMn	0	0	0	0
BCa	1,82	1,81	1,81	1,81
BNa	0,1	0,1	0,1	0,1
ANa	0,56	0,73	0,71	0,71
AK	0,03	0,14	0,12	0,14

Kumulatgabbros: Amphibol

Tabelle 3
Mikrosondenanalyse Amphibol: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-18- 1	34-18- 5	34-20- 3
Analyse	11	78	25c
Mineral	Amph	Amph	Amph
SiO ₂	42,17	55,5	41,86
TiO ₂	0,97	0,01	1,88
Al ₂ O ₃	12,91	26	13,06
FeO	17,02	0,27	14,09
Cr ₂ O ₃	0	0	0
MnO	0,12	0,01	0,01
MgO	10,58	0	12
CaO	11,68	7,47	11,59
Na ₂ O	1,42	7,32	1,73
K ₂ O	1,56	0,15	1,3
Σ	98,43	96,73	97,52
H ₂ O	2,02	2,25	2,03
Ctotal	100,02	98,25	99,03
TSi	6,25	8,59	6,2
TAI	1,75	0	1,8
CAI	0,5	4,74	0,47
CCr	0	0	0
CFe ₃	0,49	0	0,34
CTi	0,11	0	0,21
CMg	2,34	0	2,65
CFe ₂	1,56	0,04	1,33
CMn	0,01	0	0
CCa	0	0,22	0
BMg	0	0	0
BFe ₂	0,06	0	0,08
BMn	0,01	0	0
BCa	1,85	1,01	1,84
BNa	0,08	0,99	0,09
ANa	0,33	1,21	0,41
AK	0,3	0,03	0,25

Amphibolitfazielles Stadium der Ferrogabbros: Amphibol**Tabelle 4: Mikrosondenanalyse Amphibol: Lokalität Malinki Khed**

Probe	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2
Analyse	12	13	14	15	15b	16b	17b	18b	19b	20	30	42	43	44	45	
Mineral	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	
SiO2	42,36	40,53	40,07	44,09	41,87	43,18	44,31	48,29	41,73	40,59	43,07	41,79	40,33	40,71	44,42	
TiO2	0,29	0,09	0,17	0,41	0,31	0,32	0,33	0,56	0,11	0,20	0,25	0,32	0,26	0,20	0,27	
Al2O3	16,99	19,02	19,56	14,96	17,55	16,56	14,19	9,45	18,18	18,83	17,56	16,51	17,44	17,97	14,52	
FeO	11,44	11,56	11,91	11,16	11,22	11,35	10,47	8,15	11,40	10,16	9,79	11,63	11,69	11,60	9,60	
Cr2O3	0,01	0,06	0,05	0,09	0,02	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02	0,05	0,05	0,00	0,00	
MnO	0,14	0,16	0,14	0,14	0,20	0,20	0,06	0,05	0,18	0,17	0,19	0,28	0,19	0,14	0,15	
MgO	12,95	11,64	11,65	14,13	13,00	13,70	14,85	17,44	12,72	13,03	14,12	12,69	12,58	12,79	15,35	
CaO	11,20	11,69	11,48	11,45	11,63	11,97	12,00	12,46	11,84	11,57	11,63	11,61	11,50	11,55	11,50	
Na2O	1,91	2,07	2,16	1,74	1,93	1,73	1,57	0,76	1,78	2,09	1,99	1,77	1,92	2,07	1,72	
K2O	0,16	0,34	0,20	0,17	0,24	0,22	0,13	0,01	0,21	0,24	0,18	0,20	0,20	0,26	0,14	
Σ	97,44	97,10	97,34	98,25	97,95	99,23	97,91	97,17	98,15	96,88	98,78	96,80	96,11	97,29	97,67	
H2O	2,10	2,07	2,08	2,12	2,10	2,13	2,11	2,13	2,11	2,08	2,14	2,07	2,05	2,08	2,12	
CTotal	99,10	99,07	99,08	100,12	99,10	101,13	99,11	99,13	100,11	98,08	100,14	98,07	98,05	99,08	99,12	
TSi	6,07	5,88	5,79	6,25	5,98	6,08	6,29	6,80	5,94	5,85	6,05	6,05	5,88	5,87	6,28	
TAI	1,93	2,12	2,21	1,75	2,02	1,92	1,71	1,20	2,06	2,16	1,95	1,95	2,12	2,13	1,72	
CAI	0,94	1,13	1,12	0,74	0,93	0,82	0,66	0,37	0,99	1,04	0,96	0,87	0,88	0,92	0,70	
CCr	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
CFe3	0,66	0,51	0,65	0,68	0,67	0,73	0,72	0,63	0,71	0,68	0,63	0,68	0,82	0,78	0,72	
CTi	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	
CMg	2,77	2,52	2,51	2,99	2,77	2,88	3,14	3,66	2,70	2,80	2,96	2,74	2,74	2,75	3,24	
CFe2	0,59	0,81	0,69	0,53	0,58	0,53	0,45	0,28	0,57	0,46	0,42	0,65	0,53	0,53	0,30	
CMn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	
CCa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
BMg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
BFe2	0,12	0,08	0,10	0,11	0,09	0,08	0,08	0,05	0,08	0,09	0,11	0,08	0,08	0,09	0,11	
BMn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	
BCa	1,72	1,82	1,78	1,74	1,78	1,81	1,82	1,88	1,81	1,79	1,75	1,80	1,80	1,78	1,74	
BNa	0,15	0,10	0,12	0,14	0,12	0,10	0,09	0,06	0,10	0,11	0,13	0,11	0,11	0,12	0,14	
ANA	0,38	0,49	0,49	0,34	0,42	0,37	0,34	0,14	0,39	0,47	0,41	0,39	0,44	0,46	0,34	
AK	0,03	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,00	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	

Tabelle 5

Mikrosondenanalyse Amphibol: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-3	34-7-3	34-7-3
Analyse	47	10b	12b	3b	4b	5b	6b	7b	48	49	21b	22b	
Mineral	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph
SiO ₂	42,45	40,72	43,63	42,66	42,89	43,03	43,88	46,70	44,25	42,99	43,30	46,12	
TiO ₂	0,37	0,36	0,26	0,24	0,24	0,25	0,23	0,29	0,17	0,07	0,13	0,25	
Al ₂ O ₃	17,19	18,71	15,97	17,02	16,95	16,99	15,51	11,54	15,61	16,55	16,05	12,67	
FeO	9,69	11,69	10,36	11,29	11,28	11,60	11,12	11,38	11,18	10,74	10,95	10,48	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,07	0,12	0,04	0,03	0,00	0,04	0,00	0,03	0,09	0,04	
MnO	0,17	0,12	0,17	0,15	0,22	0,19	0,20	0,17	0,21	0,25	0,20	0,17	
MgO	14,05	12,77	14,18	13,63	13,72	13,51	14,36	16,93	14,22	13,72	14,22	15,74	
CaO	11,45	11,91	11,88	11,71	11,75	11,69	11,67	10,47	11,60	11,14	11,63	11,78	
Na ₂ O	1,87	2,09	1,51	1,72	1,76	1,76	1,64	1,15	1,76	2,12	1,85	1,24	
K ₂ O	0,20	0,32	0,18	0,20	0,21	0,23	0,21	0,11	0,17	0,28	0,21	0,09	
Σ	97,44	98,69	98,14	98,62	99,02	99,25	98,82	98,74	99,17	97,86	98,54	98,54	
H ₂ O	2,11	2,11	2,12	2,12	2,13	2,13	2,13	2,15	2,14	2,11	2,12	2,14	
CTotal	99,11	100,11	100,12	100,12	101,13	101,13	100,13	100,15	101,14	99,11	100,12	100,14	
TSi	6,04	5,79	6,17	6,02	6,04	6,05	6,17	6,46	6,21	6,13	6,11	6,46	
TAI	1,96	2,21	1,83	1,98	1,96	1,95	1,83	1,54	1,79	1,87	1,89	1,54	
CAI	0,92	0,93	0,83	0,85	0,85	0,86	0,74	0,35	0,79	0,90	0,78	0,55	
CCr	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CFe ₃	0,67	0,76	0,71	0,80	0,79	0,76	0,80	0,93	0,73	0,63	0,78	0,84	
CTi	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	
CMg	2,98	2,71	2,99	2,87	2,88	2,83	3,01	3,49	2,98	2,92	2,99	3,29	
CFe ₂	0,37	0,56	0,43	0,43	0,45	0,50	0,40	0,19	0,48	0,52	0,41	0,29	
CMn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	
CCa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
BMg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
BFe ₂	0,11	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,20	0,11	0,13	0,10	0,10	
BMn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	
BCa	1,75	1,82	1,80	1,77	1,77	1,76	1,76	1,55	1,74	1,70	1,76	1,77	
BNa	0,14	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,14	0,16	0,13	0,12	
ANa	0,38	0,48	0,31	0,35	0,36	0,35	0,32	0,16	0,34	0,43	0,38	0,21	
AK	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	

Ferrogabbros: Pyroxen

Tabelle 6

	← Rand									Kern	Kern	Rand
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed												
Probe	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1
Analyse	1c	2c	3c	4c	5c	6c	7c	8c	9c	3	4	
Mineral	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx
SiO ₂	54,21	53,28	54,02	54,03	54,29	54,01	54,92	53,93	54,15	52,70	53,11	
TiO ₂	0,06	0,09	0,06	0,08	0,08	0,08	0,12	0,08	0,06	0,09	0,07	
Al ₂ O ₃	3,07	3,68	3,53	3,26	3,31	3,13	2,68	4,30	3,88	3,13	3,31	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,10	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	
Fe ₂ O ₃	1,67	3,27	2,57	2,22	1,39	2,08	1,07	0,82	1,63	3,60	2,97	
FeO	11,79	10,32	10,65	10,99	12,04	11,19	11,50	11,42	10,40	9,41	8,99	
MnO	0,12	0,15	0,11	0,18	0,15	0,14	0,12	0,05	0,09	0,11	0,11	
MgO	29,39	28,81	29,39	29,39	29,30	29,68	30,05	29,61	29,96	29,83	30,41	
CaO	0,30	0,23	0,28	0,31	0,28	0,24	0,26	0,19	0,24	0,26	0,19	
Na ₂ O	0,04	0,32	0,23	0,14	0,04	0,02	0,05	0,02	0,12	0,02	0,00	
K ₂ O	0,00	0,07	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	
Σ	100,64	100,31	100,89	100,66	100,90	100,60	100,80	100,42	100,56	99,17	99,16	
Si	1,91	1,89	1,90	1,91	1,91	1,91	1,93	1,90	1,90	1,88	1,89	
Al ^{IV}	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07	0,10	0,10	0,12	0,11	
Al ^{VI}	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,08	0,06	0,02	0,03	
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe ³⁺	0,04	0,09	0,07	0,06	0,04	0,06	0,03	0,02	0,04	0,10	0,08	
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	1,55	1,52	1,54	1,55	1,54	1,56	1,57	1,55	1,57	1,59	1,61	
Fe ²⁺	0,35	0,31	0,31	0,32	0,36	0,33	0,34	0,34	0,31	0,28	0,27	
Mn ²⁺	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Na	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Wo(Ca)	0,59	0,47	0,57	0,61	0,55	0,49	0,50	0,37	0,48	0,54	0,38	
En(Mg)	81,15	82,88	82,63	82,15	80,81	82,13	81,91	81,90	83,30	84,51	85,45	
Fs(Fe ²⁺)	18,26	16,65	16,80	17,24	18,63	17,38	17,59	17,73	16,22	14,96	14,17	
XMg	0,82	0,83	0,83	0,83	0,81	0,83	0,82	0,82	0,84	0,85	0,86	

Tabelle 7

Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	<i>Ein-</i>	<i>Rand</i>	<i>Kern</i>	<i>Rekrist</i>	<i>Rekrist.</i>	<i>Rekrist.</i>	<i>Rekrist.</i>		
	<i>Schluß</i>			<i>Matrix.</i>					
Analyse	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-3	34-1-3	34-1-2	34-1-2
Mineral	Cpx	Opx	Opx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Opx	Cpx
SiO ₂	51,69	54,09	50,51	49,13	48,93	50,63	50,84	52,48	50,00
TiO ₂	0,58	0,05	0,10	0,63	0,58	0,63	0,63	0,10	0,54
Al ₂ O ₃	5,28	3,76	4,50	5,73	5,61	5,39	5,52	3,99	5,35
Cr ₂ O ₃	0,05	0,07	0,00	0,03	0,07	0,02	0,03	0,05	0,07
Fe ₂ O ₃	1,45	0,91	5,44	3,45	3,12	0,00	2,20	2,93	2,87
FeO	1,95	10,81	7,88	0,77	0,99	4,63	3,75	9,92	1,42
MnO	0,10	0,06	0,13	0,03	0,00	0,08	0,09	0,14	0,16
MgO	15,37	30,05	29,24	14,49	14,53	14,41	15,21	29,39	14,68
CaO	23,27	0,22	0,27	21,98	21,49	21,75	19,41	0,24	22,91
Na ₂ O	0,66	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	1,17	0,02	0,68
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
Σ	100,40	100,02	98,07	97,21	96,32	97,53	98,89	99,26	98,70
Si	1,87	1,91	1,83	1,84	1,85	1,91	1,87	1,87	1,85
Al ^{IV}	0,13	0,09	0,17	0,16	0,15	0,09	0,13	0,13	0,15
Al ^{VI}	0,10	0,06	0,02	0,10	0,10	0,00	0,11	0,04	0,09
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,04	0,02	0,15	0,10	0,09	0,03	0,06	0,08	0,08
Ti	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02
Mg	0,83	1,58	1,58	0,81	0,82	0,81	0,84	1,56	0,81
Fe ²⁺	0,06	0,32	0,24	0,02	0,03	0,12	0,12	0,30	0,04
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ca	0,90	0,01	0,01	0,88	0,87	0,88	0,77	0,01	0,91
Na	0,05	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,08	0,00	0,05
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	50,41	0,43	0,58	51,42	50,60	47,83	44,63	0,49	51,55
En(Mg)	46,30	82,84	86,35	47,17	47,59	44,09	48,64	83,67	45,95
Fs(Fe ²⁺)	3,30	16,73	13,07	1,41	1,82	8,09	6,73	15,84	2,50
XMg	0,93	0,83	0,87	0,97	0,96	0,87	0,88	0,84	0,95

Tabelle 8

Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	<i>Rand</i> → <i>Kern</i>							<i>Rand</i>	<i>Kern</i>
	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2	34-3-2
Analyse	5	7	8	9	11	12	13	14	19
Mineral	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Cpx Klast
SiO ₂	54,38	52,51	53,11	53,92	53,30	53,15	53,36	53,46	50,74
TiO ₂	0,03	0,10	0,29	0,07	0,07	0,13	0,07	0,06	0,73
Al ₂ O ₃	3,30	3,67	3,44	2,90	3,14	3,86	3,99	3,42	5,77
Cr ₂ O ₃	0,09	0,09	0,05	0,03	0,05	0,10	0,08	0,08	0,12
Fe ₂ O ₃	0,35	1,07	1,72	0,45	2,66	2,09	1,06	2,72	2,37
FeO	12,00	11,62	11,96	12,55	10,86	11,57	12,02	10,15	1,96
MnO	0,15	0,13	0,15	0,21	0,17	0,23	0,16	0,12	0,02
MgO	29,54	28,43	28,81	28,88	29,40	28,70	28,62	29,96	14,24
CaO	0,11	0,30	0,22	0,17	0,20	0,36	0,28	0,15	23,13
Na ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,92
K ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02
Σ	99,98	97,94	99,76	99,20	99,88	100,26	99,72	100,15	100,02
Si	1,93	1,90	1,90	1,93	1,90	1,89	1,90	1,89	1,85
Al ^{IV}	0,08	0,10	0,10	0,07	0,10	0,11	0,10	0,11	0,15
Al ^{VI}	0,06	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,07	0,03	0,10
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,01	0,03	0,05	0,01	0,07	0,06	0,03	0,07	0,07
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Mg	1,56	1,54	1,53	1,54	1,56	1,52	1,52	1,58	0,78
Fe ²⁺	0,36	0,35	0,36	0,38	0,32	0,34	0,36	0,30	0,06
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Ca	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,91
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	0,22	0,60	0,44	0,35	0,41	0,72	0,57	0,29	52,01
En(Mg)	81,26	80,86	80,76	80,12	82,49	80,96	80,47	83,78	44,55
Fs(Fe ²⁺)	18,52	18,54	18,80	19,53	17,10	18,31	18,96	15,93	3,45
XMg	0,81	0,81	0,81	0,80	0,83	0,82	0,81	0,84	0,93

Tabelle 9

Mikrosondenanalyse, Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Mineral	Kern		Rand		Matrix		Matrix		Matrix		Matrix		Matrix		Matrix	
	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3	34-3-3
Probe	23	25	26	27	29	34	35	36	7	8	9	10	18			
Analyse	23	25	26	27	29	34	35	36	7	8	9	10	18			
Mineral	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx
SiO ₂	53,73	52,51	52,95	53,56	52,63	49,14	50,53	49,27	51,23	51,27	52,94	50,62	53,93			
TiO ₂	0,1	0,09	0,11	0,05	0,1	0,58	0,58	0,44	0,62	0,51	0,04	0,55	0,07			
Al ₂ O ₃	3,86	3,5	3,06	2,01	4,73	4,96	5,05	4,84	5,66	5,27	3,3	5,88	3,45			
Cr ₂ O ₃	0,06	0,02	0,05	0,05	0,03	0,16	0,15	0,09	0,09	0,07	0,07	0,09	0,12			
Fe ₂ O ₃	2	3,85	3,39	3,62	3,12	6,09	4,71	5,26	3,01	3,54	2,74	2,42	0,62			
FeO	10,58	10,32	10,37	10,18	10,05	0	0,1	0	3,52	0,85	10,54	2,99	13,31			
MnO	0,1	0,2	0,12	0,16	0,14	0,04	0,02	0,05	0,11	0,05	0,12	0,11	0,16			
MgO	29,9	29,13	29,41	30	29,38	14,88	14,52	14,71	14,98	14,99	29,31	15,9	28,46			
CaO	0,21	0,27	0,18	0,14	0,32	22,97	22,75	22,86	20,4	23,32	0,25	18,47	0,2			
Na ₂ O	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,9	1,2	0,95	1,14	0,92	0,03	1,28	0,01			
K ₂ O	0,02	0,01	0,03	0,02	0	0	0,08	0,05	0,01	0	0	0	0,01			
Σ	100,6	99,91	99,71	99,8	100,5	99,72	99,69	98,52	100,8	100,8	99,34	98,31	100,4			
Si	1,89	1,87	1,89	1,91	1,81	1,85	1,83	1,83	1,86	1,85	1,89	1,86	1,91			
Al ^{IV}	0,11	0,13	0,11	0,08	0,19	0,15	0,17	0,17	0,13	0,13	0,1	0,12	0,08			
Al ^{VI}	0,05	0,02	0,02	0,08	0,03	0,07	0,05	0,05	0,11	0,09	0,04	0,13	0,06			
Cr	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fe ³⁺	0,05	0,1	0,09	0,1	0,17	0,13	0,15	0,15	0,11	0,03	0,31	0,09	0,4			
Ti	0	0	0	0	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0	0,02	0			
Mg	1,57	1,55	1,56	1,59	0,82	0,79	0,82	0,82	0,81	0,81	1,56	0,87	1,51			
Fe ²⁺	0,31	0,31	0,31	0,3	0	0	0	0	0,09	0,11	0,08	0,08	0,02			
Mn ²⁺	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,91	0,89	0,91	0,91	0,79	0,9	0,01	0,73	0,01			
Na	0	0	0	0	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,06	0	0,09	0			
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Σ	4	4	4	4,08	4,01	4	4,01	4,01	4	4	4	4	4			
Wt(Ca)	0,42	0,54	0,37	0,28	0,65	52,6	52,87	52,76	46,38	52,01	0,5	43,03	0,4			
En(Mg)	83,09	82,96	83,18	83,77	83,35	47,4	46,94	47,24	47,37	46,51	82,79	51,53	78,9			
Fs(Fe ₂₊)	16,49	16,49	16,45	15,95	16	0	0,18	0	6,25	1,47	16,71	5,44	20,7			
X _{Mg}	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	1	1	1	0,88	0,97	0,83	0,9	0,79			

Tabelle 10
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khes
Pyroxene

Nr.	Klast	Klast	Klast	Klast	Klast	Rekrist.
	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-2	34-19-3
	8	9	11	12	21	28
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	50,33	50,79	52,27	51,87	50,88	49,67
TiO ₂	0,58	0,53	0,54	0,58	0,59	0,70
Al ₂ O ₃	12,31	5,26	5,55	5,58	5,69	5,09
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	0,05	0,03	0,05	0
Fe ₂ O ₃	0,00	2,90	0,80	1,06	3,03	3,48
FeO	3,61	1,37	2,95	3,55	1,67	4,86
MnO	0,05	0,06	0,06	0,00	0,09	0,09
MgO	17,65	14,31	14,54	14,16	14,68	12,82
CaO	13,07	21,47	22,07	21,38	21,37	21,45
Na ₂ O	1,50	1,46	1,23	1,37	1,30	1,02
K ₂ O	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0
Σ	99,14	98,17	100,08	99,58	99,37	99,19
Si	1,80	1,88	1,90	1,90	1,87	1,86
Al ^{IV}	0,20	0,12	0,10	0,10	0,14	0,14
Al ^{VI}	0,31	0,11	0,14	0,14	0,11	0,08
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Fe ³⁺	0,00	0,08	0,02	0,03	0,08	0,1
Ti	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mg	0,94	0,79	0,79	0,77	0,80	0,71
Fe ²⁺	0,11	0,04	0,09	0,11	0,05	0,15
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Ca	0,50	0,85	0,86	0,84	0,84	0,86
Na	0,10	0,11	0,09	0,10	0,09	0,07
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Σ	3,98	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	32,34	50,58	49,48	48,76	49,59	49,79
En(Mg)	60,70	46,91	45,35	44,93	47,39	41,41
Fs(Fe ²⁺)	6,96	2,52	5,17	6,32	3,03	8,8
XMg	0,90	0,95	0,90	0,88	0,94	0,83

Kumulatgabbros: Pyroxen

Tabelle 11

Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2
Analyse	17	18	19	20	22	23	25	24	26	29
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	51,96	49,09	49,67	51,78	49,85	47,38	48,49	49,21	47,66	49,30
TiO ₂	0,58	0,84	0,88	0,53	0,67	0,96	0,81	0,83	0,90	0,77
Al ₂ O ₃	3,91	6,09	5,96	4,84	4,68	6,94	5,44	5,24	5,70	5,09
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,01	0,06	0,01	0,00	0,06
Fe ₂ O ₃	2,14	3,61	2,95	0,00	5,17	5,37	4,48	4,48	7,53	4,32
FeO	6,48	5,67	6,84	9,39	4,11	5,56	5,75	5,43	4,56	5,64
MnO	0,10	0,12	0,08	0,10	0,14	0,14	0,11	0,13	0,11	0,18
MgO	13,15	11,99	11,94	12,56	13,03	11,62	11,60	11,61	11,99	11,51
CaO	22,53	21,68	21,72	20,56	22,67	20,71	21,46	22,73	20,22	22,47
Na ₂ O	0,81	0,97	0,89	0,83	0,79	0,94	0,99	0,89	1,05	0,97
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,07	0,03	0,03	0,32	0,01
Σ	101,67	100,10	100,95	100,64	101,12	99,70	99,21	100,59	100,04	100,30
Si	1,90	1,83	1,84	1,92	1,84	1,78	1,83	1,83	1,79	1,84
Al ^{IV}	0,10	0,17	0,16	0,09	0,16	0,22	0,17	0,17	0,21	0,16
Al ^{VI}	0,07	0,09	0,10	0,12	0,04	0,09	0,07	0,06	0,04	0,06
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,06	0,10	0,08	0,00	0,14	0,15	0,13	0,13	0,21	0,12
Ti	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Mg	0,72	0,67	0,66	0,69	0,72	0,65	0,65	0,64	0,67	0,64
Fe ²⁺	0,20	0,18	0,21	0,29	0,13	0,18	0,18	0,17	0,14	0,18
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ca	0,88	0,86	0,86	0,81	0,90	0,83	0,87	0,91	0,81	0,90
Na	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	49,10	50,66	49,74	45,33	51,51	50,24	50,99	52,72	49,99	52,40
En(Mg)	39,88	38,99	38,03	38,52	41,20	39,23	38,34	37,46	41,22	37,34
Fs(Fe ²⁺)	11,02	10,35	12,23	16,16	7,29	10,53	10,67	9,82	8,79	10,26
XMg	0,78	0,79	0,76	0,71	0,85	0,79	0,78	0,79	0,82	0,79

Tabelle 12
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-2
Analyse	60	62	63	65	30
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	48,55	48,47	48,32	50,71	46,90
TiO ₂	0,81	1,00	0,88	0,62	0,96
Al ₂ O ₃	5,56	6,76	6,97	4,57	7,64
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,04	0,00	0,03
Fe ₂ O ₃	5,11	4,35	4,45	4,24	6,24
FeO	7,33	5,96	4,94	5,72	6,33
MnO	0,22	0,21	0,15	0,14	0,06
MgO	12,78	11,18	11,12	12,24	11,44
CaO	18,30	20,33	20,15	21,11	18,24
Na ₂ O	1,04	1,45	1,69	1,40	1,40
K ₂ O	0,05	0,00	0,00	0,00	0,10
Σ	99,75	99,70	98,73	100,75	99,32
Si	1,82	1,81	1,82	1,87	1,77
Al ^{IV}	0,18	0,19	0,18	0,13	0,23
Al ^{VI}	0,07	0,11	0,13	0,07	0,11
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,14	0,12	0,13	0,12	0,18
Ti	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
Mg	0,72	0,62	0,62	0,67	0,64
Fe ²⁺	0,23	0,19	0,16	0,18	0,20
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Ca	0,74	0,82	0,81	0,84	0,74
Na	0,08	0,11	0,12	0,10	0,10
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	43,77	50,15	51,04	49,55	46,65
En(Mg)	42,53	38,38	39,19	39,98	40,72
Fs(Fe ²⁺)	13,69	11,47	9,77	10,48	12,63
XMg	0,76	0,77	0,80	0,79	0,76

Tabelle 13
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1
Analyse	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	17			
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx		
SiO ₂	49,50	48,68	48,71	47,69	50,07	49,84	48,97	48,98	46,48	47,83	47,63	48,63			
TiO ₂	1,28	1,51	1,49	1,24	1,17	1,12	1,21	1,31	1,24	1,22	1,27	1,04			
Al ₂ O ₃	7,70	8,42	8,32	8,75	6,83	6,72	7,52	7,61	8,16	7,94	8,29	6,32			
Cr ₂ O ₃	0,03	0,07	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,01			
Fe ₂ O ₃	2,78	2,44	2,78	2,13	1,88	1,99	1,41	3,29	6,06	1,09	2,94	4,46			
FeO	5,28	7,23	7,14	7,66	6,72	5,04	6,83	5,95	4,62	8,69	7,67	5,62			
MnO	0,07	0,11	0,07	0,05	0,04	0,11	0,05	0,10	0,11	0,07	0,16	0,10			
MgO	11,50	10,24	10,21	10,15	11,65	12,40	11,35	11,27	10,50	10,21	10,10	10,99			
CaO	20,02	19,56	19,66	18,77	20,53	21,16	20,72	21,73	20,96	20,90	21,08	22,68			
Na ₂ O	1,90	1,92	1,93	1,78	1,52	1,35	1,29	1,25	1,35	0,97	1,11	1,00			
K ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,03	0,04			
Σ	100,07	100,19	100,33	98,28	100,42	99,72	99,37	101,49	99,52	98,99	100,29	100,8			
Si	1,83	1,81	1,81	1,80	1,85	1,84	1,83	1,80	1,75	1,81	1,78	1,81			
Al ^{IV}	0,17	0,19	0,19	0,20	0,15	0,16	0,17	0,20	0,25	0,19	0,22	0,19			
Al ^{VI}	0,16	0,18	0,17	0,19	0,15	0,14	0,16	0,13	0,11	0,16	0,15	0,08			
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Fe ³⁺	0,08	0,07	0,08	0,06	0,05	0,06	0,04	0,09	0,17	0,03	0,08	0,13			
Ti	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03			
Mg	0,63	0,57	0,57	0,57	0,64	0,68	0,63	0,62	0,59	0,58	0,56	0,61			
Fe ²⁺	0,16	0,22	0,22	0,24	0,21	0,16	0,21	0,18	0,15	0,28	0,24	0,17			
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00			
Ca	0,79	0,78	0,78	0,76	0,81	0,84	0,83	0,85	0,85	0,85	0,85	0,90			
Na	0,14	0,14	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,07	0,08	0,07			
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00			
Wo(Ca)	49,88	49,58	49,85	48,28	48,91	49,97	49,52	51,68	53,50	49,90	51,27	53,56			
En(Mg)	39,85	36,12	36,02	36,33	38,60	40,74	37,74	37,28	37,29	33,91	34,18	36,10			
Fs(Fe ²⁺)	10,27	14,30	14,13	15,39	12,49	9,29	12,74	11,04	9,21	16,19	14,56	10,35			
XMG	0,80	0,72	0,72	0,70	0,76	0,81	0,75	0,77	0,80	0,68	0,70	0,78			

Tabelle 14
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-20-2	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-3	34-20-3	34-20-3
Analyse	16c	2 b	3 b	6 b 24	26	26	29
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	47,13	46,32	45,17	47,22	50,63	49,92	49,51
TiO ₂	1,06	1,26	1,49	1,17	0,59	0,69	0,93
Al ₂ O ₃	6,52	7,29	8,11	7,46	4,39	5,07	6,44
Cr ₂ O ₃	0,04	0,05	0,00	0,03	0,02	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	6,62	4,77	6,24	4,10	3,69	4,46	4,65
FeO	3,79	5,70	5,11	6,03	5,09	5,09	4,73
MnO	0,10	0,03	0,12	0,09	0,08	0,16	0,10
MgO	11,49	11,19	10,68	10,58	13,67	12,45	11,13
CaO	21,14	20,35	20,23	21,34	21,27	21,88	19,92
Na ₂ O	1,26	0,93	1,01	1,11	0,93	1,04	2,11
K ₂ O	0,00	0,15	0,16	0,01	0,00	0,00	0,02
Σ	99,16	98,03	98,32	99,14	100,36	100,77	99,57
Si	1,78	1,77	1,73	1,78	1,87	1,85	1,84
Al ^{IV}	0,22	0,23	0,27	0,22	0,13	0,15	0,16
Al ^{VI}	0,07	0,10	0,09	0,12	0,06	0,07	0,13
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,19	0,14	0,18	0,12	0,10	0,12	0,13
Ti	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Mg	0,65	0,64	0,61	0,60	0,75	0,69	0,62
Fe ²⁺	0,12	0,18	0,16	0,19	0,16	0,16	0,15
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Ca	0,85	0,83	0,83	0,86	0,84	0,87	0,80
Na	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,15
K	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	52,75	50,42	51,77	52,34	48,07	50,68	50,96
En(Mg)	39,87	38,57	38,03	36,12	42,96	40,11	39,60
Fs(Fe ²⁺)	7,38	11,01	10,20	11,54	8,98	9,21	9,44
XMg	0,84	0,78	0,79	0,76	0,83	0,81	0,81

Tabelle 15
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4
Analyse	30	31	32	33	34	35	37	38	41	43
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	48,50	45,95	46,59	45,61	47,86	49,92	51,63	49,33	49,09	49,27
TiO ₂	0,97	1,22	1,39	1,45	1,12	0,60	0,43	0,83	1,06	0,68
Al ₂ O ₃	6,51	8,11	8,03	10,17	6,01	4,29	3,15	5,07	5,32	5,30
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃	3,36	5,40	4,92	4,97	5,36	4,66	3,07	4,11	3,66	4,16
FeO	6,65	4,85	5,90	7,32	4,85	5,35	5,95	5,68	5,89	5,49
MnO	0,08	0,09	0,10	0,11	0,09	0,10	0,14	0,07	0,11	0,13
MgO	11,04	10,22	10,66	10,47	11,51	12,47	13,12	12,01	11,83	11,97
CaO	21,71	21,49	20,91	18,14	22,03	22,54	22,50	22,24	21,84	21,82
Na ₂ O	1,00	1,14	1,09	1,36	0,88	0,78	0,82	0,88	0,99	0,99
K ₂ O	0,01	0,02	0,03	0,07	0,15	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
Σ	99,82	98,50	99,63	99,70	99,87	100,73	100,82	100,28	99,79	99,82
Si	1,82	1,75	1,75	1,71	1,80	1,85	1,91	1,84	1,84	1,84
Al ^{IV}	0,18	0,25	0,25	0,29	0,20	0,15	0,09	0,16	0,16	0,16
Al ^{VI}	0,11	0,11	0,11	0,17	0,06	0,04	0,04	0,06	0,07	0,08
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,10	0,16	0,14	0,14	0,15	0,13	0,09	0,12	0,10	0,12
Ti	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
Mg	0,62	0,58	0,60	0,59	0,64	0,69	0,72	0,67	0,66	0,67
Fe ²⁺	0,21	0,15	0,19	0,23	0,15	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17
Mn ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,87	0,88	0,84	0,73	0,89	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87
Na	0,07	0,08	0,08	0,10	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	51,38	54,41	51,83	47,22	52,66	51,15	49,57	51,27	50,92	51,03
En(Mg)	36,34	36,01	36,75	37,90	38,28	39,38	40,20	38,51	38,36	38,94
Fs(Fe ²⁺)	12,28	9,58	11,42	14,88	9,06	9,48	10,23	10,21	10,72	10,03
XMg	0,75	0,79	0,76	0,72	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78	0,80

Tabelle 17
Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-2
Analyse	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	10b	11b	12b	13b	16b	17b
Mineral	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx
SiO ₂	50,79	50,19	50,10	49,92	49,69	49,85	50,03	50,46	50,69	50,85	52,05	52,41	53,35	50,65	44,18
TiO ₂	0,12	0,09	0,09	0,10	0,12	0,08	0,06	0,11	0,12	0,12	0,11	0,09	0,06	0,55	1,84
Al ₂ O ₃	4,95	6,47	6,88	7,50	7,42	7,85	7,51	7,26	6,57	5,94	4,50	3,80	2,28	4,72	11,54
Cr ₂ O ₃	0,14	0,12	0,13	0,12	0,13	0,14	0,15	0,14	0,19	0,17	0,24	0,15	0,12	0,21	0,26
Fe ₂ O ₃	2,59	1,63	2,56	2,19	2,89	1,66	1,72	1,80	2,33	2,80	1,49	1,25	1,01	2,76	6,15
FeO	15,53	15,62	14,94	15,25	14,82	15,50	15,31	15,87	15,26	14,89	16,38	16,74	16,58	4,00	4,27
MnO	0,35	0,34	0,36	0,33	0,32	0,32	0,38	0,30	0,30	0,35	0,34	0,34	0,42	0,08	0,01
MgO	24,99	24,45	24,83	24,54	24,61	24,23	24,51	24,65	25,00	25,15	25,23	25,27	26,04	13,79	14,34
CaO	0,31	0,38	0,32	0,33	0,34	0,49	0,34	0,24	0,39	0,51	0,46	0,45	0,31	23,04	12,35
Na ₂ O	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,62	0,91
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	1,51
Σ	99,77	99,30	100,23	100,30	100,35	100,12	100,03	100,84	100,88	100,82	100,80	100,52	100,18	100,42	97,36
Si	1,85	1,83	1,81	1,81	1,80	1,81	1,81	1,82	1,82	1,83	1,88	1,90	1,94	1,86	1,67
Al ^{IV}	0,15	0,17	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,12	0,10	0,07	0,14	0,33
Al ^{VI}	0,07	0,11	0,11	0,13	0,11	0,14	0,13	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,03	0,07	0,18
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,07	0,05	0,07	0,06	0,08	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,04	0,03	0,03	0,08	0,18
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
Mg	1,36	1,33	1,34	1,32	1,33	1,31	1,32	1,32	1,34	1,35	1,36	1,36	1,41	0,76	0,81
Fe ²⁺	0,47	0,48	0,45	0,46	0,45	0,47	0,46	0,48	0,46	0,45	0,49	0,51	0,50	0,12	0,14
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Ca	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,91	0,50
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	0,65	0,81	0,70	0,71	0,75	1,07	0,74	0,51	0,84	1,08	0,95	0,93	0,63	50,81	34,67
En(Mg)	73,67	73,01	74,24	73,62	74,19	72,81	73,51	73,09	73,86	74,25	72,60	72,22	73,21	42,31	55,98
Fs(Fe ²⁺)	25,68	26,18	25,06	25,67	25,07	26,13	25,75	26,40	25,31	24,66	26,45	26,85	26,16	6,88	9,36
XMg	0,74	0,74	0,75	0,74	0,75	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,73	0,73	0,74	0,86	0,86

Tabelle 18

Mikrosondenanalyse Pyroxen: Lokalität Malinki Khed

Probe									Amphibolit-
									fazielles
Analyse	34-22-3	34-22-3	34-22-3	34-22-3	34-22-3	34-22-3	34-22-3	34-22-3	Stadium
Mineral	20b	21b	23b	24b	25b	26b	31b	28b	34-7-2
	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	11b
									Cpx
SiO ₂	53,01	51,09	49,94	50,98	49,27	49,48	51,42	52,44	48,07
TiO ₂	0,03	0,09	0,09	0,10	0,13	0,13	0,06	0,07	0,19
Al ₂ O ₃	2,12	5,47	6,71	7,23	7,78	8,27	6,33	2,96	12,35
Cr ₂ O ₃	0,11	0,10	0,08	0,15	0,09	0,14	0,21	0,15	0,06
Fe ₂ O ₃	2,65	1,47	3,95	0,79	1,69	1,60	0,05	1,40	0,82
FeO	15,25	15,91	13,06	16,34	15,22	15,26	16,43	15,70	10,61
MnO	0,44	0,31	0,40	0,43	0,36	0,33	0,30	0,31	0,26
MgO	26,52	25,03	25,11	24,59	24,11	24,20	24,77	25,93	16,69
CaO	0,27	0,24	0,22	0,23	0,30	0,27	0,34	0,36	9,02
Na ₂ O	0,02	0,00	0,22	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	1,12
K ₂ O	0,00	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08
Σ	100,43	99,72	99,87	100,88	98,97	99,73	99,98	99,33	99,29
Si	1,92	1,86	1,81	1,83	1,80	1,80	1,86	1,91	1,76
Al ^{IV}	0,08	0,14	0,19	0,17	0,20	0,20	0,14	0,09	0,01
Al ^{VI}	0,01	0,09	0,10	0,14	0,14	0,15	0,13	0,04	0,24
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,07	0,04	0,11	0,02	0,05	0,04	0,00	0,04	0,02
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
Mg	1,43	1,36	1,36	1,32	1,32	1,31	1,34	1,41	0,91
Fe ²⁺	0,46	0,48	0,40	0,49	0,47	0,46	0,50	0,48	0,33
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,35
Na	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Wo(Ca)	0,56	0,50	0,48	0,49	0,65	0,60	0,72	0,73	22,26
En(Mg)	75,18	73,35	77,04	72,48	73,37	73,43	72,35	74,10	57,31
Fs(Fe ²⁺)	24,27	26,15	22,48	27,03	25,98	25,97	26,93	25,17	20,44
XMg	0,76	0,74	0,77	0,73	0,74	0,74	0,73	0,75	0,74

Kumulatgabbros: Feldspat

Tabelle 19

Mikrosondenanalyse Plagioklas: Lokaliität Malinki Khed

Probe	34-18-2	34-18-2	34-18-3	34-18-3	34-18-3	34-18-3	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4
Analyse	31	32	34	35	36	37	44	45	52	53	54	56	57	58	59	
Mineral	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	
SiO2	59,29	58,09	61,10	61,50	59,62	57,92	61,30	61,21	61,50	60,90	61,65	59,01	61,27	60,68	60,12	
TiO2	0,02	0,08	0,00	0,04	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Al2O3	25,80	25,76	24,35	24,00	24,38	24,66	24,13	23,37	23,87	25,14	24,83	24,58	25,26	25,48	25,38	
Fe2O3	0,08	0,21	0,20	0,07	0,07	0,04	0,28	0,06	0,08	0,04	0,02	0,07	0,04	0,07	0,19	
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
CaO	7,57	7,15	6,18	5,93	6,18	5,95	5,91	5,45	5,29	6,32	6,32	5,70	6,01	6,29	6,26	
Na2O	7,16	7,51	8,17	7,90	7,91	8,32	7,93	8,38	8,10	8,01	7,88	7,95	7,80	8,35	8,35	
K2O	0,08	0,19	0,08	0,08	0,17	0,08	0,09	0,07	0,08	0,11	0,07	0,11	0,10	0,10	0,05	
Σ	100,00	98,99	100,10	99,53	98,36	97,01	99,64	98,54	98,93	100,53	100,80	97,43	100,48	100,97	100,37	
Si	2,64	2,62	2,71	2,74	2,70	2,66	2,73	2,75	2,75	2,69	2,71	2,69	2,70	2,68	2,67	
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Al	1,36	1,37	1,28	1,26	1,30	1,34	1,27	1,24	1,26	1,31	1,29	1,32	1,31	1,32	1,33	
Fe3+	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ca	0,36	0,35	0,29	0,28	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,30	0,30	0,28	0,28	0,30	0,30	
Na	0,62	0,66	0,70	0,68	0,69	0,74	0,68	0,73	0,70	0,69	0,67	0,70	0,67	0,71	0,72	
K	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	
Σ	4,99	5,02	5,00	4,97	5,00	5,04	4,98	4,99	4,97	5,00	4,98	5,00	4,98	5,02	5,02	
Ab	62,82	64,83	70,20	70,38	69,16	71,37	70,44	73,26	73,10	69,22	69,00	71,17	69,70	70,21	70,48	
An	36,72	34,10	29,36	29,17	29,88	28,20	29,01	26,33	26,41	30,16	30,59	28,19	29,68	29,25	29,22	
Or	0,47	1,07	0,44	0,45	0,96	0,43	0,55	0,42	0,49	0,62	0,41	0,64	0,61	0,55	0,30	

Tabelle 20
Mikrosondenanalyse Plagioklas: Lokalität Malinki Khed

Probe	Kein PI												
	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-4	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5
Analyse	52	53	54	58	59	46	47	55	77	93	94	Qz	PI
Mineral	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI
SiO ₂	61,50	60,90	61,65	60,68	60,12	63,58	98,66	81,49	52,68	58,13	58,67		
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,04		
Al ₂ O ₃	23,87	25,14	24,83	25,48	25,38	20,57	0,36	16,88	26,84	26,47	26,36		
Fe ₂ O ₃	0,08	0,04	0,02	0,07	0,19	0,09	0,94	0,04	0,29	0,38	0,19		
MgO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,22	0,01	0,01	0,00	0,00		
CaO	5,29	6,32	6,32	6,29	6,26	1,49	0,10	3,11	8,49	8,23	7,97		
Na ₂ O	8,10	8,01	7,88	8,35	8,35	4,72	0,26	5,07	6,75	7,20	7,13		
K ₂ O	0,08	0,11	0,07	0,10	0,05	6,53	0,08	0,10	0,19	0,14	0,17		
Σ	98,93	100,53	100,80	100,97	100,37	97,01	100,62	106,72	95,25	100,54	100,53		
Si	2,75	2,69	2,71	2,68	2,67	2,92	3,95	3,24	2,50	2,59	2,61		
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Al	1,26	1,31	1,29	1,32	1,33	1,12	0,02	0,79	1,50	1,39	1,38		
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01		
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ca	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30	0,07	0,00	0,13	0,43	0,39	0,38		
Na	0,70	0,69	0,67	0,71	0,72	0,42	0,02	0,39	0,62	0,62	0,62		
K	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,38	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01		
Σ	4,97	5,00	4,98	5,02	5,02	4,92	4,04	4,56	5,07	5,02	5,01		
Ab	73,10	69,22	69,00	70,21	70,48	47,94	70,46	73,99	58,35	60,82	61,22		
An	26,41	30,16	30,59	29,25	29,22	8,37	15,29	25,05	40,59	38,42	37,82		
Or	0,49	0,62	0,41	0,55	0,30	43,69	14,25	0,96	1,07	0,76	0,97		

Tabelle 21
Mikrosondenanalyse Plagioklas: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-3	34-20-3	34-20-3	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4	34-20-4
Analyse	20	21	7b	9b	10b	14b	13	10c	14c	25 c	27 b	36	42	45	32	32	32	32	32
Mineral	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI
SiO ₂	59,63	58,69	58,07	55,78	59,17	56,95	63,34	59,17	56,95	57,16	58,96	57,79	58,98	59,49	58,72	58,72	58,72	58,72	58,72
TiO ₂	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,05	0,03	0,01	0,05	0,03	0,00	0,1	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	26,65	26,82	26,06	26,45	25,52	26,53	19,25	25,52	26,53	26,73	26,67	27,21	26,4	26,14	26,62	26,62	26,62	26,62	26,62
Fe ₂ O ₃	0,07	0,16	0,10	0,06	0,11	0,21	0,21	0,11	0,21	0,37	0,32	0,36	0,1	0,06	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
MgO	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
CaO	7,75	8,11	7,06	7,78	7,21	8,55	0,08	7,21	8,55	7,98	7,93	8,65	7,29	7,22	8	8	8	8	8
Na ₂ O	7,00	6,77	7,25	7,03	7,52	6,60	0,33	7,52	6,60	6,77	7,11	6,97	7,47	7,74	7,02	7,02	7,02	7,02	7,02
K ₂ O	0,33	0,32	0,34	0,28	0,30	0,29	16,19	0,30	0,29	0,31	0,27	0,39	0,46	0,31	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Σ	101,45	100,87	98,91	97,40	99,84	99,19	99,44	99,84	99,19	99,36	101,27	101,48	100,72	100,97	100,9	100,9	100,9	100,9	100,9
Si	2,62	2,60	2,62	2,57	2,65	2,58	2,95	2,65	2,58	2,58	2,61	2,56	2,62	2,63	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,38	1,40	1,39	1,44	1,35	1,41	1,06	1,35	1,41	1,42	1,39	1,42	1,38	1,36	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Fe ³⁺	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,37	0,39	0,34	0,38	0,35	0,42	0,00	0,35	0,42	0,39	0,38	0,41	0,35	0,34	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Na	0,60	0,58	0,64	0,63	0,65	0,58	0,03	0,65	0,58	0,59	0,61	0,60	0,64	0,66	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
K	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,96	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Σ	4,99	4,99	5,01	5,04	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,03	5,02	5,02	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01
Ab	60,90	59,05	63,76	61,08	64,28	57,31	3,01	64,28	57,31	59,45	60,94	58,05	63,30	64,83	60,02	60,02	60,02	60,02	60,02
An	37,24	39,13	34,30	37,33	34,04	41,04	0,42	34,04	41,04	38,76	37,54	39,81	34,15	33,46	37,78	37,78	37,78	37,78	37,78
Or	1,86	1,82	1,94	1,58	1,68	1,65	96,57	1,68	1,65	1,79	1,52	2,15	2,56	1,71	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20

Tabelle 22
Mikrosondenanalyse Plagioklas: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-2	34-22-2	34-22-2	34-22-3	34-22-3
Analyse	10	11	13	24	25	26	14 b	19b	29b	30b	30b	30b
Mineral	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI
SiO2	47,71	55,85	55,64	53,99	46,55	49,47	47,86	47,70	49,20	46,11	49,20	46,11
TiO2	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Al2O3	33,79	18,06	28,52	28,90	34,28	32,43	34,02	33,93	32,39	34,64	32,39	34,64
Fe2O3	0,22	7,14	0,07	0,21	0,31	0,16	0,40	0,22	0,24	0,27	0,24	0,27
MgO	0,01	12,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
CaO	16,49	4,83	10,55	10,85	16,88	15,01	16,82	16,86	15,33	17,88	15,33	17,88
Na2O	2,18	3,62	5,42	5,32	1,81	3,02	2,20	2,11	3,03	1,50	3,03	1,50
K2O	0,06	0,04	0,30	0,26	0,08	0,09	0,05	0,08	0,08	0,02	0,08	0,02
Σ	100,44	101,63	100,51	99,55	99,93	100,20	101,37	100,93	100,31	100,43	100,31	100,43
Si	2,18	2,50	2,49	2,45	2,14	2,25	2,17	2,17	2,24	2,12	2,24	2,12
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,82	0,95	1,51	1,55	1,86	1,74	1,82	1,82	1,74	1,87	1,74	1,87
Fe3+	0,01	0,24	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,81	0,23	0,51	0,53	0,83	0,73	0,82	0,82	0,75	0,88	0,75	0,88
Na	0,19	0,32	0,47	0,47	0,16	0,27	0,19	0,19	0,27	0,13	0,27	0,13
K	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Σ	5,01	5,06	5,00	5,02	5,01	5,01	5,01	5,01	5,02	5,01	5,02	5,01
Ab	19,24	57,34	47,35	46,30	16,14	26,58	19,07	18,37	26,24	13,19	26,24	13,19
An	80,44	42,26	50,92	52,21	83,39	72,88	80,62	81,15	73,29	86,69	73,29	86,69
Or	0,32	0,41	1,73	1,49	0,47	0,54	0,31	0,48	0,46	0,12	0,46	0,12

Ferrogabbros: Granat

Tabelle 23

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Punkte im Abstand von 20 µm										
	Rand		Kern		Kern		Kern				
Analyse	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1	34-1-1			
SiO ₂	40,09	40,02	40,25	40,48	40,39	40,50	39,60	38,94	39,36	39,96	40,49
TiO ₂	0,06	0,07	0,02	0,06	0,07	0,03	0,04	0,02	0,04	0,00	0,11
Al ₂ O ₃	22,93	22,65	21,99	23,02	23,28	22,79	22,58	22,64	22,47	22,84	22,63
Cr ₂ O ₃	0,03	0,06	0,02	0,08	0,07	0,12	0,11	0,08	0,07	0,14	0,09
Fe ₂ O ₃	1,80	2,13	1,43	1,34	1,56	1,33	2,07	1,28	3,20	3,66	0,77
FeO	17,15	16,05	16,74	16,61	16,24	15,77	15,89	15,92	14,62	14,81	17,31
MnO	0,50	0,46	0,53	0,49	0,46	0,46	0,43	0,47	0,50	0,52	0,49
MgO	12,91	13,43	13,41	13,35	13,60	13,53	13,91	13,66	13,86	14,13	12,71
CaO	5,72	5,82	5,45	5,90	5,78	5,66	5,44	5,18	5,29	5,13	5,71
Σ	101,19	100,69	99,84	101,33	101,45	100,60	100,95	98,85	99,00	100,58	99,88
Si	2,95	2,95	2,99	2,96	2,95	2,95	2,96	2,96	2,91	2,90	2,97
Al IV	0,05	0,05	0,01	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,09	0,10	0,03
Al VI	1,94	1,92	1,92	1,95	1,95	1,95	1,92	1,96	1,90	1,88	1,98
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,10	0,12	0,08	0,07	0,09	0,11	0,07	0,07	0,18	0,20	0,04
Fe ²⁺	1,06	0,99	1,04	1,02	0,99	0,97	1,02	0,98	1,00	0,92	1,08
Mn ²⁺	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Mg	1,42	1,48	1,49	1,46	1,48	1,51	1,53	1,52	1,55	1,55	1,41
Ca	0,45	0,46	0,44	0,46	0,45	0,45	0,43	0,42	0,42	0,41	0,46
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	47,94	49,97	49,62	49,1	50,14	49,77	51,54	51,39	53	53,48	47,42
Almandin	35,73	33,5	34,77	34,29	33,58	32,87	33,05	33,6	31,38	31,44	36,22
Spessartin	1,06	0,97	1,11	1,02	0,96	1,03	0,96	0,9	1,1	1,12	1,05
Grossular	10,32	9,61	10,48	11,71	10,93	9,59	11,3	10,27	5,69	3,88	12,93
Andradit	4,86	5,78	3,98	3,64	4,19	5,19	5,63	3,53	8,65	9,69	2,12
Uwarowit	0,1	0,16	0,05	0,24	0,21	0,34	0,09	0,22	0,19	0,4	0,27
XMG	0,57	0,6	0,59	0,59	0,6	0,61	0,59	0,61	0,63	0,63	0,57

Tabelle 24

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Punkte im Abstand 21,93 µm																	
	Rand	Rand	Rand	Kern	Rand	Rand	Rand	Rand	Rand	Rand	Rand	Kern	Kern	Kern				
	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-2	34-1-3	34-1-3	34-1-3	
SiO ₂	40,17	38,97	39,28	40,7	40,54	39,96	40,64	39,99	40,62	40,77	38,76	40,53	40,42	40,37	40,08	38,02	40,58	40,51
TiO ₂	0,06	0,01	0,06	0,04	0,08	0,06	0,05	0,06	0,12	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,08	0,04	0,04	0,06
Al ₂ O ₃	22,84	22,83	23	22,66	22,48	22,99	22,75	22,7	22,5	22,51	22,7	22,55	22,65	22,69	22,88	22,67	22,62	22,75
Cr ₂ O ₃	0,02	0,11	0,1	0	0,08	0	0,06	0,03	0,05	0,07	0	0	0,05	0,03	0,03	0,08	0,07	0,00
Fe ₂ O ₃	2,19	3,39	2,85	1,26	0,46	2,08	0,85	1,04	2	1,34	0,31	3,79	0,92	1,73	2,5	4,29	2,01	0,00
FeO	15,15	14,61	15,81	15,36	15,54	14,93	15,17	14,37	15,3	15,93	13,6	15,84	16,28	16,63	14,64	15,12	14,85	17,86
MnO	0,47	0,5	0,46	0,36	0,34	0,43	0,48	0,47	0,49	0,44	0,32	0,46	0,46	0,58	0,5	0,60	0,52	0,49
MgO	14,54	13,81	13,37	14,75	14,45	15,01	14,5	14,8	14,62	14,45	14,45	14,16	13,71	13,72	14,8	12,80	14,7	14,51
CaO	5,11	5,37	5,4	5,24	5,39	5,24	5,17	5,29	5,33	5,22	5,25	5,43	5,37	5,17	5,05	5,43	5,46	5,52
Σ	100,55	99,6	100,33	100,37	99,36	100,71	98,09	100,15	100,37	99,78	98,94	99,94	100	100,97	100,6	99,05	100,85	101,70
Si	2,95	2,90	2,91	2,98	3,00	2,95	2,98	2,95	2,98	3,01	2,89	2,99	2,99	2,97	2,94	2,87	2,97	2,94
Al IV	0,05	0,10	0,09	0,02	0,00	0,05	0,01	0,02	0,02	0,00	0,11	0,01	0,01	0,03	0,06	0,13	0,03	0,06
Al VI	1,92	1,90	1,92	1,94	1,96	1,93	1,95	1,93	1,93	1,96	1,89	1,95	1,97	1,93	1,91	1,88	1,91	1,88
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ₃₊	0,12	0,19	0,16	0,07	0,03	0,11	0,05	0,06	0,07	0,02	0,21	0,05	0,04	0,10	0,14	0,24	0,11	0,16
Fe ₂₊	0,93	0,91	0,98	0,94	0,96	0,88	0,94	0,89	0,94	0,98	0,85	0,98	1,03	1,02	0,90	0,95	0,91	0,92
Mn ²⁺	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
Mg	1,59	1,53	1,48	1,61	1,59	1,63	1,62	1,61	1,60	1,59	1,61	1,56	1,51	1,50	1,62	1,44	1,60	1,57
Ca	0,40	0,43	0,43	0,41	0,43	0,41	0,42	0,41	0,42	0,41	0,42	0,43	0,43	0,41	0,40	0,44	0,43	0,43
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	53,88	52,82	50,66	53,95	53,05	55,3	54,03	53,86	53,52	52,74	55,51	52,04	50,52	50,64	54,97	50,15	53,93	53,23
Almandin	31,51	31,34	33,62	31,53	32,01	29,93	31,2	31,19	31,44	32,64	29,3	32,65	34,3	34,42	30,51	33,23	30,57	31,19
Spessartin	1	1,08	1	0,74	0,71	0,89	0,92	1,01	1,01	0,92	0,69	0,96	1,43	1,23	1,05	1,35	1,09	1,02
Grossular	7,64	5,42	6,82	10,32	12,71	8,29	11,28	11	10,19	12,62	10,11	11,81	12,64	8,9	6,67	3,64	8,76	6,56
Andradit	5,91	9,05	7,62	3,46	1,29	5,58	2,39	2,87	3,68	0,86	4,39	2,54	0,96	4,72	6,71	11,41	5,45	8
Uwarowit	0,07	0,3	0,28	0,01	0,24	0,01	0,19	0,08	0,16	0,22	0,01	0,01	0,15	0,1	0,1	0,23	0,21	0
XMG	0,63	0,63	0,6	0,63	0,62	0,65	0,63	0,63	0,63	0,62	0,65	0,61	0,6	0,6	0,64	0,6	0,64	0,63

Tabelle 25
Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Rand ←		Kern →				Rand →		Rand
	34-1-3 3b	34-1-3 4b	34-1-3 7b	34-1-3 8b	34-1-3 9b	34-1-3 10b	34-1-3 12b		
SiO ₂	38,98	40,31	39,32	38,95	38,43	39,36	39,76		
TiO ₂	0,03	0,09	0,04	0,07	0,07	0,09	0,07		
Al ₂ O ₃	23,03	22,22	23,15	23,05	23,11	23,01	22,98		
Cr ₂ O ₃	0,06	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,1		
Fe ₂ O ₃	3,03	0	3,43	3,95	4,08	2,66	2,15		
FeO	14,9	15,57	13,27	12,76	12,6	14,23	15,36		
MnO	0,51	0,42	0,54	0,51	0,47	0,4	0,52		
MgO	13,81	14,26	14,84	14,85	14,63	14,45	14,19		
CaO	5,17	5,16	5,29	5,37	5,36	5,28	5,02		
Σ	99,5	98,05	99,91	99,54	98,78	99,53	100,16		
Si	2,90	3,02	2,90	2,88	2,87	2,92	2,93		
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00		
Al/Al IV	0,10	0,00	0,10	0,12	0,14	0,09	0,07		
Al VI	1,92	1,96	1,91	1,89	1,90	1,92	1,93		
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01		
Fe ₃₊	0,17	0,00	0,19	0,22	0,23	0,15	0,12		
Fe ₂₊	0,93	0,98	0,82	0,79	0,79	0,88	0,95		
Mn ₂₊	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		
Mg	1,53	1,59	1,63	1,64	1,63	1,60	1,56		
Ca	0,41	0,41	0,42	0,43	0,43	0,42	0,40		
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
Pyrop	52,77	52,94	56,21	56,77	56,66	54,61	53,13		
Almandin	31,94	32,41	28,21	27,35	27,38	30,18	32,26		
Spessartin	1,1	0,89	1,17	1,11	1,04	0,86	1,11		
Grossular	5,94	13,68	5,27	4,3	4,1	7,04	7,42		
Andradit	8,09	0	9,05	10,39	10,75	7,12	5,8		
Uwarowit	0,16	0,08	0,1	0,08	0,07	0,19	0,29		
XMg	0,62	0,62	0,67	0,68	0,67	0,64	0,62		

Tabelle 27
Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Rand ← Kern		Kern → Rand		Erzkorn		Rand Richtung Kern zu Gleiche Stelle		Kern	Rand zu Cpx	Rand
	34-3-4	34-3-4	34-3-4	34-3-4	34-3-4	34-3-4	34-3-4	34-3-4			
Analyse	5	1	2	4	3	14	15	16	17	20	21
SiO ₂	40,12	40,35	40,45	40,24	38,08	39,07	38,87	40,79	39,19	40,51	40,60
TiO ₂	0,13	0,11	0,07	0,13	0,01	0,06	0,09	0,05	0,09	0,01	0,03
Al ₂ O ₃	22,95	22,97	23,12	22,96	22,55	23,24	23,30	23,04	23,51	22,25	22,67
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,13	0,17	0,15	0,04	0,06	0,02	0,00	0,08	0,11
Fe ₂ O ₃	0,02	0,96	1,55	1,30	5,55	4,14	4,60	1,51	4,38	0,76	1,35
FeO	15,21	14,59	14,56	14,58	11,62	12,97	12,13	14,87	12,26	16,90	16,21
MnO	0,48	0,46	0,44	0,48	0,51	0,48	0,46	0,43	0,55	0,70	0,60
MgO	14,34	14,71	14,79	14,83	14,90	14,68	15,15	14,78	15,22	13,38	13,96
CaO	5,33	5,51	5,52	5,26	5,35	5,59	5,43	5,60	5,46	5,47	5,37
Σ	98,62	99,66	100,63	99,95	98,72	100,27	100,09	101,09	100,66	100,06	100,90
Si	2,99	2,97	2,96	2,96	2,85	2,87	2,86	2,97	2,86	3,00	2,98
Ti	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Al/Al IV	0,02	0,03	0,05	0,04	0,15	0,13	0,14	0,03	0,14	0,00	0,02
Al VI	2,00	1,96	1,95	1,95	1,83	1,89	1,88	1,94	1,89	1,95	1,94
Cr	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ₃₊	0,00	0,05	0,09	0,07	0,31	0,23	0,25	0,08	0,24	0,04	0,08
Fe ₂₊	0,95	0,90	0,89	0,90	0,73	0,80	0,75	0,91	0,75	1,05	0,99
Mn	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
Mg	1,59	1,61	1,61	1,62	1,66	1,61	1,66	1,60	1,66	1,48	1,53
Ca	0,43	0,44	0,43	0,41	0,43	0,44	0,43	0,44	0,43	0,44	0,42
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	53,15	54,23	54,42	54,79	58,31	55,93	58	53,94	57,79	49,21	51,22
Almandin	31,63	30,19	30,06	30,22	25,51	27,72	26,06	30,47	26,12	34,87	33,37
Spessartin	1,01	0,97	0,91	1,01	1,15	1,05	1	0,9	1,18	1,46	1,26
Grossular	14,05	11,96	10,08	9,95	0,15	4,4	2,88	10,57	3,6	12,13	10,15
Andradit	0,05	2,64	4,16	3,54	14,48	10,8	11,9	4,06	11,3	2,12	3,69
Uwarowit	0,1	0,01	0,37	0,49	0,41	0,1	0,17	0,06	0,01	0,22	0,31
XMg	0,63	0,64	0,64	0,64	0,7	0,67	0,69	0,64	0,69	0,59	0,61

Tabelle 28

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Rand zu Quarzeinschluß													
	Kern		Rand		Kern		Rand		Kern					
	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-1	34-11-2	34-11-2	34-11-2	34-11-2				
SiO ₂	40,48	40,61	40,73	40,15	40,32	40,53	40,70	40,27	40,15	38,65	39,53	39,28	40,53	38,89
TiO ₂	0,09	0,05	0,06	0,08	0,12	0,04	0,07	0,05	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	22,82	22,90	22,41	22,77	22,86	23,01	22,66	22,83	23,06	22,98	23,14	23,03	22,96	23,15
Cr ₂ O ₃	0,01	0,04	0,01	0,11	0,00	0,00	0,06	0,04	0,05	0,05	0,08	0,04	0,02	0,00
Fe ₂ O ₃	0,44	1,15	0,44	1,08	1,12	1,30	0,20	1,39	2,17	4,16	2,63	3,33	1,36	2,93
FeO	15,80	16,21	17,02	16,34	16,99	16,02	16,34	15,83	15,92	13,72	14,47	13,87	16,13	14,19
MnO	0,47	0,51	0,49	0,49	0,55	0,61	0,48	0,53	0,49	0,49	0,52	0,44	0,49	0,43
MgO	14,30	14,08	13,81	13,72	13,56	14,14	14,08	13,86	13,84	14,16	14,45	14,66	14,70	14,11
CaO	5,25	5,28	5,17	5,31	5,15	5,20	5,32	5,57	5,47	5,34	5,17	5,13	5,24	5,25
Σ	99,66	100,83	100,14	100,05	100,67	100,85	99,91	100,37	101,24	99,65	100,08	99,85	100,42	98,95
Si	2,99	2,98	3,01	2,97	2,97	2,97	3,00	2,97	2,94	2,87	2,92	2,90	2,97	2,90
Ti	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Al/Al IV	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,06	0,13	0,09	0,10	0,03	0,10
Al VI	1,98	1,95	1,95	1,96	1,96	1,96	1,97	1,95	1,93	1,88	1,93	1,91	1,95	1,94
Cr	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,02	0,06	0,02	0,06	0,06	0,07	0,01	0,08	0,12	0,85	0,15	0,19	0,08	0,17
Fe ²⁺	0,98	0,99	1,05	1,01	1,05	0,98	1,01	0,98	0,98	0,23	0,89	0,86	0,99	0,89
Mn	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Mg	1,57	1,54	1,52	1,51	1,49	1,54	1,55	1,52	1,51	1,57	1,59	1,61	1,54	1,57
Ca	0,42	0,42	0,41	0,42	0,41	0,41	0,42	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41	0,41	0,42
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	52,58	51,64	50,49	50,84	50,04	51,96	51,49	51,26	51,29	54,53	54,37	55,56	51,93	54,09
Almandin	32,59	33,36	34,91	33,97	35,16	33,02	33,52	32,83	33,1	29,63	30,55	29,5	33,22	30,51
Spessartin	0,98	1,07	1,01	1,04	1,16	1,27	0,99	1,11	1,04	1,08	1,11	0,96	1,03	0,94
Grossular	12,62	10,68	12,35	10,87	10,58	10,21	13,24	10,88	8,62	3,64	6,74	5,04	10,08	6,62
Andradit	1,21	3,13	1,23	2,96	3,06	3,54	0,56	3,81	5,81	10,98	7	8,83	3,7	7,84
Uwarowit	0,03	0,11	0,02	0,33	0,01	0,01	0,19	0,12	0,15	0,14	0,23	0,12	0,04	0,01
XMg	0,62	0,61	0,59	0,6	0,59	0,61	0,61	0,61	0,61	0,64	0,64	0,65	0,61	0,64

Tabelle 29

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Kern		Rand		Kern		Rand		Kern		Rand	
	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1
Analyse	1	2	3	4	6	7	9					
SiO ₂	40,00	38,60	39,19	36,60	39,88	39,46	38,97					
TiO ₂	0,13	0,13	0,08	0,08	0,14	0,07	0,07					
Al ₂ O ₃	22,33	22,37	21,37	22,27	21,92	22,14	21,81					
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,05	0,04	0,03	0,06	0,03					
Fe ₂ O ₃	1,09	3,33	0,00	5,79	1,84	1,72	2,61					
FeO	19,92	18,11	21,63	17,62	19,69	21,43	21,79					
MnO	0,43	0,38	0,51	0,45	0,36	0,46	0,57					
MgO	11,59	11,71	10,11	10,65	11,66	10,33	9,67					
CaO	5,41	5,39	5,26	5,30	5,45	5,41	5,51					
Σ	100,91	100,04	98,20	98,80	100,96	101,07	101,04					
Si	2,98	2,91	3,02	2,82	2,98	2,97	2,95					
Ti	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00					
Al/Al IV	0,02	0,09	0,00	0,18	0,02	0,04	0,05					
Al VI	1,94	1,89	1,94	1,84	1,90	1,93	1,89					
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Fe ³⁺	0,06	0,19	0,00	0,34	0,10	0,10	0,15					
Fe ²⁺	1,24	1,14	1,40	1,13	1,23	1,35	1,38					
Mn	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04					
Mg	1,29	1,31	1,16	1,22	1,30	1,16	1,09					
Ca	0,43	0,44	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45					
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00					
Pyrop	43,09	45,10	38,42	43,28	43,46	38,98	36,93					
Almandin	41,55	39,14	46,13	40,19	41,19	45,36	46,69					
Spessartin	0,91	0,83	1,09	1,05	0,76	0,99	1,24					
Grossular	11,39	5,87	14,20	-0,01	9,38	9,72	7,80					
Andradit	3,03	9,05	0,00	15,38	5,12	4,79	7,26					
Uwarowit	0,03	0,01	0,16	0,11	0,10	0,17	0,08					
XMG	0,51	0,54	0,45	0,52	0,51	0,46	0,44					

Tabelle 30
Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Kern					Rand					Kern				
	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-1	34-19-3	34-19-3	34-19-3	34-19-3	34-19-3
SiO ₂	39,69	39,96	39,54	38,20	40,04	40,16	38,79	38,59	38,42	38,86	38,42	38,86	38,86	39,25	39,25
TiO ₂	0,16	0,15	0,12	0,18	0,09	0,10	0,11	0,10	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,12	0,12
Al ₂ O ₃	21,83	21,72	22,22	22,27	21,90	22,09	22,16	22,08	21,99	22,47	21,99	22,47	22,47	22,25	22,25
Cr ₂ O ₃	0,07	0,03	0,00	0,03	0,09	0,07	0,02	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05
Fe ₂ O ₃	1,16	1,18	2,25	4,60	1,59	1,32	3,15	3,36	4,64	4,10	4,64	4,10	4,10	3,40	3,40
FeO	20,73	20,60	20,00	17,77	20,06	20,19	18,46	21,96	19,44	18,25	19,44	18,25	18,25	19,01	19,01
MnO	0,40	0,50	0,37	0,35	0,42	0,35	0,42	0,61	0,52	0,38	0,52	0,38	0,38	0,47	0,47
MgO	11,01	11,09	11,31	11,67	11,56	11,59	11,65	9,28	10,86	11,91	10,86	11,91	11,91	11,63	11,63
CaO	5,35	5,50	5,36	5,39	5,36	5,38	5,33	5,55	5,22	5,20	5,22	5,20	5,20	5,34	5,34
Σ	100,39	100,73	101,17	100,48	101,11	101,25	100,09	101,54	101,24	101,26	101,24	101,26	101,26	101,51	101,51
Si	2,99	3,00	2,95	2,87	2,99	2,99	2,92	2,92	2,89	2,90	2,89	2,90	2,90	2,92	2,92
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Al/Al IV	0,01	0,00	0,05	0,13	0,02	0,01	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08
Al VI	1,92	1,92	1,91	1,85	1,91	1,92	1,89	1,88	1,84	1,87	1,84	1,87	1,87	1,87	1,87
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₃₊	0,07	0,07	0,13	0,26	0,09	0,07	0,18	0,19	0,26	0,23	0,26	0,23	0,23	0,19	0,19
Fe ₂₊	1,31	1,29	1,25	1,12	1,25	1,26	1,16	1,39	1,22	1,14	1,22	1,14	1,14	1,18	1,18
Mn	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Mg	1,24	1,24	1,26	1,31	1,29	1,29	1,31	1,05	1,22	1,32	1,22	1,32	1,32	1,29	1,29
Ca	0,43	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,45	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	41,22	41,24	42,52	45,39	42,98	42,95	44,68	35,78	42,05	45,64	42,05	45,64	45,64	44,05	44,05
Almandin	43,55	42,99	42,21	38,77	41,83	41,98	39,71	47,5	42,25	39,22	42,25	39,22	39,22	40,41	40,41
Spessartin	0,85	1,06	0,79	0,78	0,88	0,73	0,92	1,34	1,16	0,83	1,16	0,83	0,83	1	1
Grossular	10,89	11,28	8,29	2,69	9,63	10,47	6,03	6,14	1,95	3,31	1,95	3,31	3,31	5,22	5,22
Andradit	3,28	3,34	6,19	12,29	4,43	3,67	8,6	9,18	12,45	10,92	12,45	10,92	10,92	9,17	9,17
Uwarowit	0,22	0,08	0,01	0,09	0,25	0,2	0,05	0,07	0,14	0,08	0,14	0,08	0,08	0,14	0,14
XMG	0,49	0,49	0,5	0,54	0,51	0,51	0,53	0,43	0,5	0,54	0,5	0,54	0,54	0,52	0,52

Kumulatgabbros : Granat

Tabelle 31

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Rand														Kern			
	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-1	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	34-18-2	16	15	14
SiO ₂	38,53	38,82	39,29	38,74	38,83	38,12	39,54	38,70	39,24	38,70	39,24	39,42	39,42	39,32	39,32	39,42	39,42	39,32
TiO ₂	0,04	0,20	0,04	0,47	0,09	3,62	0,06	0,15	0,28	0,15	0,28	0,28	0,28	0,36	0,36	0,28	0,28	0,36
Al ₂ O ₃	19,69	20,45	20,32	20,28	21,04	20,11	20,95	20,37	20,79	20,37	20,79	20,75	20,75	20,81	20,81	20,75	20,75	20,81
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03
Fe ₂ O ₃	0,48	0,79	0,71	0,87	2,85	0,00	1,67	1,20	2,85	1,20	1,41	1,12	1,12	1,43	1,43	1,12	1,12	1,43
FeO	26,73	23,16	23,13	22,65	21,75	22,31	22,60	25,19	22,87	25,19	22,87	22,99	22,99	22,83	22,83	22,99	22,99	22,83
MnO	1,78	0,90	0,79	0,76	0,72	0,69	0,75	0,98	0,75	0,98	0,90	0,77	0,77	0,81	0,81	0,90	0,77	0,81
MgO	5,14	7,95	8,31	8,31	8,89	8,37	8,82	6,78	8,64	6,78	8,64	8,71	8,71	8,20	8,20	8,64	8,71	8,20
CaO	6,57	6,52	6,47	6,64	6,40	6,30	6,44	6,36	6,23	6,36	6,23	6,32	6,32	7,10	7,10	6,23	6,32	7,10
Σ	98,97	98,78	99,06	98,72	100,58	99,53	100,85	99,73	100,36	99,73	100,36	100,37	100,37	100,89	100,89	100,36	100,37	100,89
Si	3,06	3,03	3,05	3,02	2,97	2,96	3,01	3,02	3,01	3,02	3,01	3,02	3,02	3,00	3,00	3,01	3,02	3,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,21	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al/Al IV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al VI	1,84	1,88	1,86	1,86	1,86	1,78	1,88	1,87	1,88	1,87	1,88	1,87	1,87	1,87	1,87	1,88	1,87	1,87
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₃₊	0,03	0,05	0,04	0,05	0,16	0,00	0,10	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08
Fe ₂₊	1,78	1,51	1,50	1,48	1,39	1,45	1,44	1,64	1,47	1,64	1,47	1,47	1,47	1,46	1,46	1,47	1,47	1,46
Mn	0,12	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
Mg	0,61	0,92	0,96	0,97	1,01	0,97	1,00	0,79	0,99	0,79	0,99	0,99	0,99	0,93	0,93	0,99	0,99	0,93
Ca	0,56	0,55	0,54	0,55	0,52	0,52	0,53	0,53	0,51	0,53	0,51	0,52	0,52	0,58	0,58	0,51	0,52	0,58
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	19,88	30,41	31,49	31,69	34,07	32,43	33,19	26,02	32,65	26,02	32,65	32,74	32,74	30,85	30,85	32,74	32,74	30,85
Almandin	57,98	49,71	49,19	48,46	46,75	48,51	47,76	54,29	48,48	54,29	48,48	48,51	48,51	48,21	48,21	48,48	48,51	48,21
Spessartin	3,9	1,95	1,7	1,64	1,56	1,51	1,61	2,14	1,94	2,14	1,94	1,65	1,65	1,73	1,73	1,94	1,65	1,73
Grossular	16,63	15,53	15,42	15,59	9,5	17,53	12,56	13,94	12,81	13,94	12,81	13,78	13,78	14,96	14,96	12,81	13,78	14,96
Andradit	1,54	2,4	2,19	2,62	8,07	0	4,83	3,61	4,11	3,61	4,11	3,31	3,31	4,15	4,15	4,11	3,31	4,15
Uwarowit	0,08	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,11	0,01	0,01	0,11
XMg	0,26	0,38	0,39	0,4	0,42	0,4	0,41	0,32	0,4	0,32	0,4	0,4	0,4	0,39	0,39	0,4	0,4	0,39

Tabelle 32

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	34-18-3		34-18-3		34-18-3		34-18-4		34-18-4		34-18-4		34-18-4		34-18-4	
	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern	Rand	Kern
Analysel	38	39	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
SiO ₂	37,76	39,62	39,24	39,26	39,17	39,34	39,22	38,87	39,47	39,47	37,87	38,42	38,33	38,42	38,42	38,33
TiO ₂	0,16	0,19	0,27	0,28	0,29	0,10	0,26	0,28	0,26	0,26	0,08	0,24	0,29	0,24	0,24	0,29
Al ₂ O ₃	19,93	20,02	19,85	19,27	19,35	20,54	20,18	20,50	20,22	20,22	21,70	21,40	21,37	21,40	21,40	21,37
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ₂ O ₃	4,34	1,94	1,65	1,42	1,38	1,82	1,74	1,73	1,38	1,38	1,42	1,95	2,65	1,95	1,95	2,65
FeO	19,91	22,57	22,18	22,66	22,36	22,50	22,31	21,60	22,81	22,81	24,95	23,32	21,64	23,32	23,32	21,64
MnO	0,88	0,85	0,86	0,93	0,92	1,02	1,00	0,95	1,04	1,04	1,04	0,99	1,12	0,99	0,99	1,12
MgO	9,15	8,90	8,88	8,91	9,01	8,77	8,74	8,96	8,83	8,83	6,52	7,87	8,62	7,87	7,87	8,62
CaO	6,40	6,45	6,47	6,03	6,05	6,21	6,42	6,40	6,11	6,11	6,04	6,10	6,20	6,10	6,10	6,20
Σ	98,54	100,57	99,41	98,75	98,55	100,31	99,90	99,30	100,13	100,13	99,61	100,29	100,24	100,29	100,29	100,24
Si	2,95	3,03	3,03	3,06	3,05	3,01	3,02	3,00	3,03	3,03	2,96	2,96	2,94	2,96	2,96	2,94
Ti	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Al/Al IV	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06
Al VI	1,78	1,81	1,81	1,77	1,78	1,86	1,83	1,87	1,83	1,83	1,95	1,90	1,87	1,90	1,90	1,87
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,26	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,11	0,15	0,11	0,11	0,15
Fe ²⁺	1,30	1,44	1,43	1,48	1,46	1,44	1,44	1,39	1,47	1,47	1,63	1,50	1,39	1,63	1,50	1,39
Mn	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07
Mg	1,06	1,01	1,02	1,03	1,05	1,00	1,00	1,03	1,01	1,01	0,76	0,90	0,99	0,76	0,90	0,99
Ca	0,54	0,53	0,54	0,50	0,51	0,51	0,53	0,53	0,50	0,50	0,51	0,50	0,51	0,51	0,50	0,51
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	35,99	33,34	33,56	33,63	34,08	33,18	33,07	34,19	33,19	33,19	25,61	30,39	33,34	25,61	30,39	33,34
Almandin	43,94	47,47	47,02	48	47,48	47,75	47,34	46,21	48,09	48,09	55,01	50,52	46,95	55,01	50,52	46,95
Spessartin	1,97	1,82	1,85	1,99	1,99	2,19	2,15	2,07	2,22	2,22	2,31	2,17	2,47	2,31	2,17	2,47
Grossular	5,61	11,49	12,59	11,92	12,1	11,53	12,17	12,47	12,37	12,37	12,97	11,35	9,71	12,97	11,35	9,71
Andradit	12,48	5,8	4,99	4,45	4,33	5,35	5,17	5,06	4,13	4,13	4,1	5,56	7,49	4,1	5,56	7,49
Uwarowit	0,01	0,08	0,01	0,01	0,03	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
XMG	0,45	0,41	0,42	0,41	0,42	0,41	0,41	0,43	0,41	0,41	0,32	0,38	0,42	0,32	0,38	0,42

Tabelle 33
Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Rand ←										Kern →										Rand			
	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	74	76	92	91	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5	34-18-5				
Analyse	69	70	71	72	73	74	76	92	91	90	89	88	69	70	71	72	73	74	76	92	91	90	89	88
SiO ₂	37,63	37,44	37,65	38,06	37,73	38,08	36,14	38,42	38,82	38,36	38,72	38,64	37,63	37,44	37,65	38,06	37,73	38,08	36,14	38,42	38,82	38,36	38,72	38,64
TiO ₂	0,15	0,23	0,26	0,19	0,23	0,20	0,25	0,28	0,30	0,28	0,30	0,23	0,15	0,23	0,26	0,19	0,23	0,20	0,25	0,28	0,30	0,28	0,30	0,23
Al ₂ O ₃	20,93	21,20	21,13	21,25	21,30	21,27	21,45	20,24	20,50	21,20	20,67	20,48	20,93	21,20	21,13	21,25	21,30	21,27	21,45	20,24	20,50	21,20	20,67	20,48
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04
Fe ₂ O ₃	2,28	2,96	2,12	1,90	2,29	3,12	5,74	1,01	1,16	1,86	0,96	0,97	2,28	2,96	2,12	1,90	2,29	3,12	5,74	1,01	1,16	1,86	0,96	0,97
FeO	25,43	21,74	22,05	22,23	21,87	22,35	19,44	23,65	23,90	23,17	23,97	25,18	25,43	21,74	22,05	22,23	21,87	22,35	19,44	23,65	23,90	23,17	23,97	25,18
MnO	1,33	0,83	0,78	0,82	0,74	0,73	0,71	0,67	0,76	0,72	0,98	1,15	1,33	0,83	0,78	0,82	0,74	0,73	0,71	0,67	0,76	0,72	0,98	1,15
MgO	5,33	7,75	7,81	7,99	8,06	7,99	8,19	7,65	7,65	7,67	7,21	6,33	5,33	7,75	7,81	7,99	8,06	7,99	8,19	7,65	7,65	7,67	7,21	6,33
CaO	6,91	6,70	6,63	6,55	6,51	6,54	6,79	6,42	6,54	6,67	6,83	6,86	6,91	6,70	6,63	6,55	6,51	6,54	6,79	6,42	6,54	6,67	6,83	6,86
Σ	99,98	98,85	98,43	98,98	98,72	100,29	98,71	98,35	99,63	99,93	99,68	99,89	99,98	98,85	98,43	98,98	98,72	100,29	98,71	98,35	99,63	99,93	99,68	99,89
Si	2,96	2,92	2,95	2,96	2,94	2,93	2,83	3,02	3,01	2,96	3,01	3,02	2,96	2,92	2,95	2,96	2,94	2,93	2,83	3,02	3,01	2,96	3,01	3,02
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Al/Al IV	0,05	0,08	0,05	0,04	0,06	0,07	0,17	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,08	0,05	0,04	0,06	0,07	0,17	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Al VI	1,89	1,88	1,90	1,91	1,90	1,86	1,81	1,87	1,87	1,90	1,89	1,88	1,89	1,88	1,90	1,91	1,90	1,86	1,81	1,87	1,87	1,90	1,89	1,88
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₃₊	0,14	0,17	0,13	0,11	0,13	0,18	0,34	0,06	0,07	0,11	0,06	0,06	0,14	0,17	0,13	0,11	0,13	0,18	0,34	0,06	0,07	0,11	0,06	0,06
Fe ₂₊	1,67	1,42	1,44	1,45	1,43	1,44	1,27	1,55	1,55	1,50	1,56	1,64	1,67	1,42	1,44	1,45	1,43	1,44	1,27	1,55	1,55	1,50	1,56	1,64
Mn	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,08
Mg	0,62	0,90	0,91	0,93	0,94	0,92	0,96	0,90	0,89	0,88	0,84	0,74	0,62	0,90	0,91	0,93	0,94	0,92	0,96	0,90	0,89	0,88	0,84	0,74
Ca	0,58	0,56	0,56	0,55	0,54	0,54	0,57	0,54	0,54	0,55	0,57	0,57	0,58	0,56	0,56	0,55	0,54	0,54	0,57	0,54	0,54	0,55	0,57	0,57
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	21,03	30,7	30,78	31,16	31,69	31,16	33,59	29,53	29,22	29,64	27,61	24,3	21,03	30,7	30,78	31,16	31,69	31,16	33,59	29,53	29,22	29,64	27,61	24,3
Almandin	56,35	48,34	48,72	48,65	48,26	48,89	44,75	51,2	51,18	50,24	51,47	54,26	56,35	48,34	48,72	48,65	48,26	48,89	44,75	51,2	51,18	50,24	51,47	54,26
Spessartin	2,99	1,86	1,74	1,81	1,65	1,62	1,64	1,46	1,64	1,59	2,14	2,5	2,99	1,86	1,74	1,81	1,65	1,62	1,64	1,46	1,64	1,59	2,14	2,5
Grossular	13,01	10,65	12,61	12,88	11,83	9,54	4,34	14,72	14,49	13,17	15,89	15,89	13,01	10,65	12,61	12,88	11,83	9,54	4,34	14,72	14,49	13,17	15,89	15,89
Andradit	6,62	8,44	6,12	5,48	6,56	8,78	15,67	3,07	3,46	5,36	2,85	2,92	6,62	8,44	6,12	5,48	6,56	8,78	15,67	3,07	3,46	5,36	2,85	2,92
Uwarowit	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,13	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,13
XMG	0,27	0,39	0,39	0,39	0,4	0,39	0,43	0,37	0,36	0,37	0,35	0,31	0,27	0,39	0,39	0,39	0,4	0,39	0,43	0,37	0,36	0,37	0,35	0,31

Tabelle 34

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Kern				Kern				Rand zu Cpx Einschluf					
	Rand	Rand	Rand	Rand	23	24	1b	4b	5b	Rand	Rand	Rand	Rand	
Analyse	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1	34-20-1
SiO ₂	39,22	39,52	38,62	39,36	39,20	39,20	38,14	36,93	38,58	37,28				
TiO ₂	0,22	0,17	0,00	0,12	0,10	0,10	0,10	0,12	0,13	0,16				
Al ₂ O ₃	21,67	21,83	20,94	21,97	21,66	21,66	21,92	21,66	21,11	21,54				
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01				
Fe ₂ O ₃	0,88	0,23	1,01	1,96	1,15	1,15	4,06	3,64	1,23	2,27				
FeO	21,10	21,64	25,32	21,22	21,22	21,22	19,46	21,64	23,98	22,71				
MnO	0,48	0,55	0,74	0,53	0,62	0,62	0,57	0,54	0,55	0,75				
MgO	8,77	8,57	6,03	8,21	8,07	8,07	8,67	6,93	6,77	6,37				
CaO	7,71	7,76	7,31	8,42	8,37	8,37	7,95	7,59	7,53	7,74				
Σ	100,07	100,29	99,98	101,82	100,39	100,39	100,87	99,06	99,95	98,83				
Si	2,99	3,01	3,01	2,96	2,99	2,99	2,90	2,89	2,99	2,93				
Ti	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01				
Al/Al IV	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,10	0,11	0,01	0,07				
Al VI	1,94	1,96	1,92	1,91	1,93	1,93	1,86	1,88	1,92	1,92				
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00				
Fe ³⁺	0,05	0,01	0,06	0,11	0,07	0,07	0,23	0,21	0,07	0,13				
Fe ²⁺	1,35	1,38	1,65	1,34	1,35	1,35	1,24	1,42	1,55	1,49				
Mn	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05				
Mg	1,00	0,97	0,70	0,92	0,92	0,92	0,98	0,81	0,78	0,75				
Ca	0,63	0,63	0,61	0,68	0,68	0,68	0,65	0,64	0,63	0,65				
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00				
Pyrop	33,18	32,20	23,27	31,03	30,64	30,64	33,84	27,91	26,08	25,37				
Almandin	44,81	45,66	54,82	44,98	45,19	45,19	42,59	48,89	51,85	50,78				
Spessartin	1,04	1,18	1,63	1,15	1,33	1,33	1,27	1,23	1,20	1,70				
Grossular	18,36	20,25	17,28	17,32	19,56	19,56	11,25	11,77	17,05	15,64				
Andradit	2,52	0,66	2,99	5,47	3,28	3,28	11,05	10,19	3,58	6,49				
Uwarowit	0,09	0,06	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24	0,04				
XMG	0,43	0,41	0,30	0,41	0,40	0,40	0,44	0,36	0,34	0,33				

Tabelle 35

Tabelle 35

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Richtung Kern von												Rand zu Fsp		
	Megakrist.														
	Rand	1	2	3	5	8	9	1c	2c	3c	4c	5c	Rand	Kern	
Analyse	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2	34-20-2
SiO ₂	38,85	37,57	38,54	38,7	37,34	38,87	38,85	39,29	38,54	38,5	39,15	38,87	38,87	38,87	38,87
TiO ₂	0,14	0,26	0,24	0,31	0,18	0,13	0,18	0,17	0,15	0,16	0,13	0,09	0,09	0,09	0,09
Al ₂ O ₃	21,59	21,47	21,77	21,77	21,45	21,61	21,53	21,66	21,46	21,59	21,46	21,5	21,5	21,5	21,5
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,04	0,01	0	0	0,04	0	0	0,02	0,01	0	0	0,01	0
Fe ₂ O ₃	1,17	3,47	2,66	2,45	4,41	1,23	2,63	2,3	2,06	1,6	1,09	2,21	2,21	1,09	2,21
FeO	22,43	20	21,04	21,17	19,25	21,62	21,56	21	20,8	21,21	23,28	22,28	22,28	23,28	22,28
MnO	0,74	0,7	0,65	0,59	0,57	0,62	0,61	0,68	0,61	0,66	0,78	0,76	0,76	0,78	0,76
MgO	7,95	8,02	8,22	8,32	8,48	8,13	7,8	8,32	7,95	7,59	7,11	7,27	7,27	7,11	7,27
CaO	7,2	7,93	7,76	7,78	7,7	7,69	8,23	8,3	8,31	8,4	7,96	8,24	8,24	7,96	8,24
Σ	100,08	99,43	100,92	101,08	99,37	99,92	101,44	101,71	99,88	99,74	100,97	101,22	101,22	100,97	101,22
Si	2,98	2,91	2,93	2,94	2,89	2,98	2,95	2,96	2,96	2,96	2,99	2,97	2,97	2,99	2,97
Ti	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al/Al IV	0,02	0,1	0,07	0,06	0,12	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,01	0,04
Al VI	1,93	1,86	1,89	1,89	1,84	1,93	1,88	1,89	1,9	1,92	1,93	1,9	1,9	1,93	1,9
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃₊	0,07	0,2	0,15	0,14	0,26	0,07	0,15	0,13	0,12	0,09	0,06	0,13	0,13	0,06	0,13
Fe ₂₊	1,44	1,29	1,34	1,34	1,24	1,39	1,37	1,32	1,34	1,37	1,49	1,42	1,42	1,49	1,42
Mn	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mg	0,91	0,92	0,93	0,94	0,98	0,93	0,88	0,94	0,91	0,87	0,81	0,83	0,83	0,81	0,83
Ca	0,59	0,66	0,63	0,63	0,64	0,63	0,67	0,67	0,68	0,69	0,65	0,67	0,67	0,65	0,67
Σ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Pyrop	30,44	31,64	31,65	31,84	33,75	31,1	29,81	31,45	30,63	29,3	26,99	27,83	27,83	26,99	27,83
Almandin	48,15	44,28	45,44	45,47	42,96	46,4	46,25	44,55	44,99	45,93	49,61	47,84	47,84	49,61	47,84
Spessartin	1,6	1,58	1,42	1,28	1,29	1,36	1,33	1,45	1,34	1,45	1,69	1,66	1,66	1,69	1,66
Grossular	16,4	12,76	13,96	14,56	9,84	17,62	15,11	16,12	17,18	18,67	18,55	16,43	16,43	18,55	16,43
Andradit	3,37	9,72	7,42	6,84	12,17	3,53	7,38	6,43	5,86	4,59	3,14	6,24	6,24	4,59	6,24
Uwarowit	0,04	0,02	0,11	0,02	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,06	0,03	0,01	0,01	0,06	0,03
XMg	0,39	0,42	0,41	0,41	0,44	0,4	0,39	0,41	0,41	0,39	0,35	0,37	0,37	0,35	0,37

Tabelle 36
Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Rand				Kern				Rand				Kern											
	17	18	19	20	23	28	18c	19c	20c	21c	22c	23c	24c	34-20-3	34-20-3	34-20-3	34-20-4	34-20-4	34-20-4	46	47	48		
SiO ₂	37,71	36,60	37,05	38,29	38,64	38,31	38,99	39,07	36,45	38,30	38,59	38,55	37,67	37,85	37,85	38,31	39,00							
TiO ₂	0,09	0,14	0,17	0,13	0,11	0,17	0,18	0,16	0,23	0,29	0,23	0,18	0,13	0,21	0,21	0,30	0,26							
Al ₂ O ₃	21,33	21,67	21,49	21,69	21,59	21,47	21,75	21,70	21,56	21,52	21,60	21,24	21,27	21,68	21,68	21,52	21,47							
Cr ₂ O ₃	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	0,00	0,07	0,01	0,15	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03							
Fe ₂ O ₃	2,90	5,02	4,10	2,88	1,49	1,51	2,43	0,49	4,64	2,15	0,57	1,26	1,29	2,55	2,55	1,37	0,16							
FeO	22,06	19,63	20,32	22,03	23,62	23,39	21,79	22,64	19,88	21,51	22,82	23,46	23,67	23,31	23,31	21,64	21,78							
MnO	0,63	0,58	0,56	0,57	0,65	0,80	0,54	0,48	0,67	0,72	0,69	0,93	0,98	0,78	0,78	0,62	0,51							
MgO	8,00	8,61	8,60	8,67	7,58	7,46	9,04	8,59	8,16	8,36	7,93	7,32	6,67	5,98	5,98	7,23	7,87							
CaO	6,42	6,51	6,43	6,12	6,64	6,61	6,50	6,58	6,78	6,96	6,78	6,88	6,71	8,34	8,34	8,53	8,23							
Σ	99,18	98,80	98,73	100,40	100,34	99,73	101,29	99,73	98,53	99,80	99,22	99,88	98,39	100,69	100,69	99,52	99,31							
Si	2,93	2,85	2,88	2,93	2,97	2,97	2,95	3,00	2,85	2,95	2,99	2,98	2,97	2,93	2,93	2,96	3,01							
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02							
Al/Al IV	0,07	0,15	0,12	0,07	0,03	0,03	0,05	0,00	0,15	0,05	0,02	0,02	0,03	0,07	0,07	0,04	0,00							
Al VI	1,89	1,84	1,86	1,89	1,93	1,93	1,89	1,96	1,84	1,90	1,95	1,92	1,94	1,90	1,90	1,92	1,95							
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Fe ³⁺	0,17	0,29	0,24	0,17	0,09	0,09	0,14	0,03	0,27	0,12	0,03	0,07	0,08	0,15	0,15	0,08	0,01							
Fe ²⁺	1,43	1,28	1,32	1,41	1,52	1,51	1,38	1,45	1,30	1,38	1,48	1,52	1,56	1,51	1,51	1,40	1,40							
Mn	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03							
Mg	0,93	1,00	1,00	0,99	0,87	0,86	1,02	0,98	0,95	0,96	0,92	0,84	0,78	0,69	0,69	0,83	0,90							
Ca	0,53	0,54	0,54	0,50	0,55	0,55	0,53	0,54	0,57	0,57	0,56	0,57	0,57	0,69	0,69	0,71	0,68							
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00							
Pyrop	31,56	34,95	34,48	33,67	29,17	28,91	34,45	32,66	33,21	32,36	30,51	28,21	26,33	23,45	23,45	27,97	29,93							
Almandin	48,83	44,72	45,72	48,00	51,03	50,89	46,58	48,32	45,40	46,70	49,24	50,71	52,43	51,29	51,29	46,95	46,48							
Spessartin	1,42	1,33	1,27	1,25	1,42	1,77	1,18	1,04	1,56	1,59	1,50	2,03	2,20	1,73	1,73	1,37	1,11							
Grossular	9,87	5,13	7,05	8,97	14,06	14,07	10,82	16,52	6,60	13,25	17,07	15,20	15,27	16,34	16,34	19,77	21,92							
Andradit	8,22	13,73	11,40	8,06	4,27	4,35	6,79	1,42	12,79	6,10	1,67	3,67	3,77	7,19	7,19	3,94	0,48							
Uwarowit	0,11	0,15	0,08	0,06	0,05	0,01	0,19	0,04	0,45	0,01	0,01	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09							
XMG	0,39	0,44	0,43	0,41	0,36	0,36	0,43	0,40	0,42	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0,31	0,37	0,39							

Tabelle 37

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe Analyse	Rand ←			Kern					→ Rand		
	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1	34-22-1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
SiO ₂	40,34	39,97	40,20	40,30	39,58	40,33	40,15	40,09	39,92		
TiO ₂	0,03	0,09	0,08	0,11	0,12	0,13	0,07	0,09	0,10		
Al ₂ O ₃	22,41	22,50	22,41	22,13	22,00	22,28	22,27	22,11	22,09		
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00		
Fe ₂ O ₃	0,00	0,64	0,48	0,66	0,33	1,50	1,07	0,04	1,08		
FeO	19,14	18,25	17,67	16,75	16,98	16,84	17,29	18,56	19,32		
MnO	0,87	0,56	0,55	0,42	0,45	0,53	0,56	0,63	0,82		
MgO	10,65	11,42	11,99	12,42	11,92	12,28	11,94	11,17	10,57		
CaO	6,67	6,78	6,68	6,99	6,84	7,08	6,98	6,95	6,88		
Σ	100,11	100,23	100,05	99,80	98,20	101,00	100,32	99,68	100,78		
Si	3,03	2,99	3,00	3,00	3,00	2,98	2,99	3,01	2,99		
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01		
Al/Al IV	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01		
Al VI	1,98	1,97	1,97	1,94	1,97	1,92	1,94	1,96	1,94		
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Fe ³⁺	0,00	0,04	0,03	0,04	0,02	0,08	0,06	0,00	0,06		
Fe ²⁺	1,20	1,14	1,10	1,04	1,08	1,04	1,08	1,17	1,21		
Mn	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05		
Mg	1,19	1,27	1,33	1,38	1,35	1,35	1,33	1,25	1,18		
Ca	0,54	0,54	0,53	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55		
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
Pyrop	39,93	42,53	44,38	45,86	44,78	45,29	44,26	41,47	39,41		
Almandin	40,26	38,13	36,70	34,70	35,79	34,83	35,97	38,65	40,40		
Spessartin	1,85	1,19	1,15	0,89	0,96	1,11	1,17	1,33	1,75		
Grossular	17,96	16,34	16,42	16,69	17,53	14,53	15,61	18,30	15,40		
Andradit	0,00	1,79	1,35	1,86	0,93	4,16	2,99	0,12	3,04		
Uwarowit	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,01	0,13	0,01		
XMg	0,50	0,53	0,55	0,57	0,56	0,57	0,55	0,52	0,49		

Amphibolitfazielles Stadium der Ferrogabbros: Granat

Tabelle 38

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Rand		Kern										Rand		Σ	
	34-7-1	34-7-2	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1		34-7-2
Analyse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	22	23
SiO ₂	39,20	40,64	39,85	40,94	39,87	38,28	40,82	40,24	40,84	40,23	39,06	39,91	40,69	39,62	38,96	39,67
TiO ₂	0,07	0,15	0,16	0,13	0,11	0,10	0,05	0,13	0,11	0,10	0,07	0,13	0,15	0,12	0,08	0,06
Al ₂ O ₃	21,70	23,28	22,81	22,92	22,62	21,93	23,18	22,67	22,81	22,66	22,11	22,48	22,90	22,04	22,20	22,51
Cr ₂ O ₃	0,05	0,05	0,00	0,05	0,06	0,02	0,09	0,00	0,06	0,06	0,08	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	1,98	1,39	3,45	1,58	3,15	5,21	1,38	2,46	1,54	2,10	2,59	1,28	1,61	0,96	2,04	1,69
FeO	20,63	14,89	13,94	14,77	13,99	12,03	15,04	14,34	15,15	16,32	18,78	20,63	16,72	21,36	19,61	18,16
MnO	1,63	0,50	0,43	0,50	0,50	0,47	0,50	0,41	0,42	0,50	0,97	1,09	0,56	1,56	1,38	0,73
MgO	10,08	14,73	14,78	14,92	14,73	14,78	14,79	14,80	14,84	13,71	11,38	10,73	13,61	9,92	10,58	12,14
CaO	5,23	5,53	5,53	5,63	5,47	5,47	5,42	5,54	5,40	5,42	5,26	5,45	5,66	5,36	5,31	5,43
Σ	100,56	101,16	100,96	101,44	100,49	98,30	101,27	100,59	101,18	101,09	100,29	101,74	101,92	100,96	100,16	100,39
Si	2,97	2,96	2,91	2,97	2,93	2,88	2,97	2,95	2,97	2,95	2,94	2,97	2,96	2,99	2,95	2,96
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Al/Al IV	0,03	0,05	0,09	0,03	0,07	0,12	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,01	0,05	0,04
Al VI	1,91	1,95	1,88	1,93	1,88	1,82	1,95	1,90	1,93	1,92	1,90	1,94	1,93	1,94	1,93	1,94
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₃₊	0,11	0,08	0,19	0,09	0,17	0,30	0,08	0,14	0,09	0,12	0,15	0,07	0,09	0,06	0,12	0,10
Fe ₂₊	1,31	0,91	0,85	0,90	0,86	0,76	0,91	0,88	0,92	1,00	1,18	1,28	1,02	1,35	1,24	1,13
Mn	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07	0,04	0,10	0,09	0,05
Mg	1,14	1,60	1,61	1,61	1,61	1,66	1,60	1,62	1,61	1,50	1,28	1,19	1,48	1,12	1,19	1,35
Ca	0,42	0,43	0,43	0,44	0,43	0,44	0,42	0,43	0,42	0,43	0,42	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Pyrop	38,29	53,88	55,10	54,19	54,98	57,43	53,96	54,71	54,05	50,70	43,37	39,98	49,70	37,24	40,42	45,56
Almandin	43,94	30,56	29,17	30,09	29,29	26,24	30,79	29,73	30,96	33,86	40,14	43,12	34,28	44,98	42,03	38,24
Spessartin	3,51	1,04	0,92	1,02	1,05	1,05	1,03	0,87	0,87	1,05	2,09	2,31	1,17	3,32	2,99	1,55
Grossular	8,56	10,64	5,67	10,30	6,11	1,32	10,26	8,07	9,77	8,54	7,05	10,91	10,42	11,66	8,88	9,98
Andradit	5,58	3,74	9,14	4,26	8,41	13,91	3,70	6,63	4,18	5,69	7,13	3,55	4,36	2,73	5,68	4,66
Uwarowit	0,13	0,15	0,01	0,14	0,16	0,06	0,26	0,01	0,18	0,17	0,23	0,14	0,08	0,08	0,01	0,01
XMg	0,47	0,64	0,65	0,64	0,65	0,69	0,64	0,65	0,64	0,60	0,52	0,48	0,59	0,45	0,49	0,54

Tabelle 40

Mikrosondenanalyse Granat: Lokalität Malinki Khed

Probe	Rand		Rand		Rand		Rand		Rand		Kern		Rand		Rand	
	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-2	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-1	34-7-3	34-7-3	34-7-3	34-7-3	34-7-3	34-7-3	34-7-3	34-7-3
Analyse	1b	2b	8b	13b	14b	50	51	52	53	54	20b	23b				
SiO ₂	40,67	40,12	39,62	38,63	39,27	39,06	40,20	39,44	40,49	41,04	39,43	40,53				
TiO ₂	0,08	0,11	0,17	0,08	0,09	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,02	0,12				
Al ₂ O ₃	22,38	22,33	22,68	22,34	21,81	21,98	22,22	23,33	23,04	22,67	22,61	22,97				
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00				
Fe ₂ O ₃	1,60	23,55	0,91	1,47	1,14	2,76	2,51	2,81	2,37	1,56	2,38	2,22				
FeO	19,94	0,00	19,34	20,16	22,29	19,88	14,79	13,17	14,56	15,20	20,62	16,61				
MnO	0,88	1,17	1,03	1,11	2,11	1,58	0,45	0,53	0,53	0,49	1,64	0,68				
MgO	11,65	11,33	11,52	10,29	8,95	10,43	14,55	14,88	14,82	14,86	10,35	13,54				
CaO	5,55	5,27	5,16	5,18	5,20	5,30	5,49	5,51	5,48	5,46	5,02	5,57				
Σ	102,77	103,88	100,46	99,28	100,86	101,22	100,39	99,81	101,42	101,41	102,11	102,25				
Si	2,98	2,93	2,96	2,95	2,99	2,94	2,96	2,90	2,94	2,98	2,94	2,95				
Ti	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01				
Al/Al IV	0,02	0,08	0,04	0,05	0,02	0,06	0,04	0,10	0,06	0,02	0,06	0,05				
Al VI	1,92	1,84	1,96	1,96	1,94	1,88	1,89	1,93	1,91	1,92	1,92	1,92				
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Fe ³⁺	0,09	0,21	0,05	0,08	0,07	0,16	0,14	0,16	0,13	0,09	0,13	0,12				
Fe ²⁺	1,22	1,22	1,21	1,29	1,42	1,25	0,91	0,81	0,89	0,92	1,29	1,01				
Mn	0,06	0,07	0,07	0,07	0,14	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,10	0,04				
Mg	1,27	1,23	1,29	1,17	1,01	1,17	1,60	1,63	1,61	1,61	1,15	1,47				
Ca	0,44	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,43	0,43	0,40	0,43				
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00				
Pyrop	42,63	41,93	43,21	39,64	33,91	39,68	53,78	56,08	54,43	53,86	39,12	49,69				
Almandin	40,95	41,59	40,69	43,59	47,39	42,42	30,67	27,84	30,00	30,91	43,71	34,19				
Spessartin	1,83	2,46	2,19	2,43	4,54	3,42	0,95	1,14	1,12	1,01	3,52	1,43				
Grossular	10,15	3,62	11,31	10,11	10,91	6,72	7,73	7,50	8,14	9,99	7,07	8,76				
Andradit	4,40	10,39	2,53	4,11	3,25	7,60	6,83	7,43	6,32	4,23	6,47	5,93				
Uwarowit	0,05	0,00	0,07	0,12	0,01	0,17	0,04	0,01	0,01	0,01	0,11	0,01				
XMG	0,51	0,50	0,52	0,48	0,42	0,48	0,64	0,67	0,65	0,64	0,47	0,59				

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Raith für die Aufgabenstellung und Betreuung der Arbeit. Ganz besonders möchte ich mich bei ihm für die Geduld, die er mit mir hatte, bedanken!

Weiter möchte ich auch Frau Dr. B. Spiering für die Betreuung an der Elektronenstrahlmikrosonde und für die Unterstützung bei der Aufbereitung der Daten danken. Frau Anke Zernak danke ich für Rat und Tat beim Bedienen der Mikrosonde

Für Hinweise zur Literatur und sonstigen Rat beim Mikroskopieren bedanke ich mich bei Frau Dr. Nicol Ecke. Ganz herzlich danke ich auch Herrn Christian Didier für Rat und Hilfe beim Mikroskopieren.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet zu haben.

Bonn, den 22.10.2007

Norbert Arndt