

**Experimentelle Bestimmung von Phasenbeziehungen der  
granitischen Nebengesteine der Dora-Maira-Pyrop-Quarzite  
bei 15-45 kbar, Temperaturen von 675-1000°C  
und variablen H<sub>2</sub>O-Gehalten**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum  
angenommene  
Dissertation

von  
Michael Burchard  
aus Bochum  
-1999-

1	<b>Einleitung</b>	1
2	<b>Geologischer Überblick</b>	3
3	<b>Stand der Forschung</b>	5
3.1	<b>Petrologie der Biotit-Phengit-Gneise</b>	5
3.2	<b>Petrologie der Metagranite</b>	7
3.2.1	Pseudomorphosen	7
3.2.2	Reaktionen an Phasengrenzen	8
3.3	<b>Schmelzexperimente</b>	9
3.3.1	Binäre Systeme Albit-H <sub>2</sub> O und SiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O	9
3.3.2	granitische Modellsysteme	13
3.3.3	Natürliche granitische Systeme	13
4	<b>Zielsetzung</b>	15
5	<b>Experimentelle Methoden</b>	17
5.1	<b>Präparation des Ausgangsmaterials</b>	17
5.2	<b>Hochdruckapparaturen</b>	19
5.2.1	Stempel-Zylinder-Pressen	19
5.2.2	Multi-Anvil-Pressen	22
5.3	<b>Präparation der Versuchsprodukte</b>	22
5.4	<b>Optische Untersuchungen</b>	22
5.5	<b>Röntgenographische Untersuchungen</b>	23
5.5.1	Röntgenaufnahmen am Philips-Pulverdiffraktometer	23
5.5.2	Automatisches Pulverdiffraktometer	23
5.6	<b>Elektronenstrahlmikrosonde (EMS)</b>	24
5.6.1	Punkt-Analysen mit der EMS	24
5.6.2	Fehler der EMS-Analytik	26
5.6.3	Erstellung von Elementverteilungs-Bildern (X-Map)	28
5.6.4	Erstellung von „Back-Scattered-Electron“ BSE-Bildern	29
5.7	<b>Elektronenstrahlrastermikroskopie</b>	29
6	<b>Berechnung von Mineralformeln</b>	30
7	<b>Definition der Mineralkomponenten</b>	32
7.1	<b>Glimmer:</b>	32
7.2	<b>Granat</b>	32
7.3	<b>Epidotphase</b>	33
7.4	<b>Titanit</b>	33
7.5	<b>Kalifeldspathydrat</b>	33
7.6	<b>Pyroxene</b>	33
8	<b>Ausgewählte Aspekte der Petrologie der Biotit-Phengit-Gneise</b>	35
8.1	<b>Neu gefundene Phasen in Schriff 17685</b>	35
8.2	<b>Eigenschaften der Klinopyroxene</b>	36
8.3	<b>Eigenschaften des Amphibols</b>	36
8.4	<b>Eigenschaften der grobkörnigen Phengite</b>	36
8.5	<b>Granattypen in den Biotit-Phengit-Gneisen</b>	38
8.6	<b>Minerale der Epidotgruppe</b>	39
9	<b>Experimentelle Ergebnisse</b>	41
9.1	<b>Elektronenmikroskopie und optische Mikroskopie</b>	43

<b>9.2</b>	<b>Phasenbestand der Versuchsprodukte</b>	<b>56</b>
9.2.1	Phasenbestand der Versuchsreihen I-IV (15-45 kbar, 675-1000°C, 1.9-9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O)	56
9.2.2	Phasenbestand der Umkehrversuche (Versuchsreihen V)	66
9.2.3	Phasenbestand Versuchen mit mehr als 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O (Versuchsreihe VI)	67
9.2.4	Phasenbestand der Versuche mit großem Probenvolumen (Versuchsreihen VII)	67
9.2.5	Phasenbestand der Multi-Anvil-Versuch (Versuchsreihen VIII)	67
<b>9.3</b>	<b>Chemie der Produktphasen</b>	<b>68</b>
9.3.1	Chemische Zusammensetzung der Produktphasen in den Versuchsreihen I-IV (15-45 kbar, 675-1000°C, 1.9-9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O)	69
9.3.2	Quenchprodukte der Fluidphase	79
9.3.3	Chemische Zusammensetzung der Produktphasen in den Umkehrversuchen (Versuchsreihen V)	104
9.3.4	Chemische Zusammensetzung der Produktphasen bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten in den Versuchen	106
9.3.5	Chemische Zusammensetzung der Produktphasen bei großem Probenvolumen	107
9.3.6	Chemische Zusammensetzung der Produktphasen der Multi-Anvil-Versuche	108
<b>9.4</b>	<b>Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse</b>	<b>109</b>
9.4.1	Druck-Temperatur-Felder der Produktphasen	109
9.4.2	Paragenesen in den Versuchsprodukten	112
9.4.3	Chemische Variationen der Phengite und Fluidphase	117
<b>10</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>123</b>
10.1	Vergleich mit den Experimenten von Huang & Wyllie an S-Typ granitischen Gesteinen	123
10.2	Lokale Gleichgewichte bei erniedrigten H <sub>2</sub> O-Gehalten	125
10.3	Fluidphasen und Magmengenese aus granitoiden Gesteinen	127
10.4	Kristallchemie der Phengite im granitischen System	128
10.5	Anwendung der experimentelle Beobachtungen auf die Interpretation der Biotit-Phengit-Gneise von Dora Maira	132
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>139</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>141</b>

I	Abkürzungen der Phasen und Komponenten	148
II	Phasenbestand der Versuchsprodukte	151
III	Berechnung von Mineralformeln	155
IV	Anmerkungen zu den Analysen	164
V	Phengite der Versuchsprodukte mit 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	165
VI	Phengite der Versuchsprodukte mit 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	172
VII	Phengite der Versuchsprodukte mit 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	179
VIII	Phengite der Versuchsprodukte mit 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	186
IX	Phengite bei hohen H <sub>2</sub> O-Gehalten	193
X	Phengite der UHP-Versuche ,der Umkehrversuche und der Versuche mit großem Volumen	194
XI	Zonierter Phengit des Biotit-Phengit-Gneises 17685	195
XII	Phengite des Biotit-Phengit-Gneises 17685	206
XIII	Biotite verschiedener Versuchsreihen	213
XIV	Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	214
XV	Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	221
XVI	Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	225
XVII	Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	228
XVIII	Quenchprodukte bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalt oder großem Probenvolumen	230
XIX	Quenchprodukte der Umkehrversuche	231
XX	Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	232
XXI	Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	233
XXII	Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	237
XXIII	Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	243
XXIV	Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten	250
XXV	Albite bei 15-20 kbar	251
XXVI	Apatite bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	252
XXVII	Apatite bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	254
XXVIII	Apatite bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	258

XXIX	Apatite bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	262
XXX	Apatite bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten	265
XXXI	Titanit bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	266
XXXII	Titanit bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	268
XXXIII	Titanit bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	271
XXXIV	Titanit bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	274
XXXV	Titanit bei höheren H <sub>2</sub> O-Gehalten	277
XXXVI	Epidot bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	278
XXXVII	Allanit bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	279
XXXVIII	Allanit bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	280
XXXIX	Epidot bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	282
XL	Allanit bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	283
XLI	Epidot bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	285
XLII	Allanit bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	287
XLIII	Epidot bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten	289
XLIV	Epidote der Biotit-Phengit-Gneise	290
XLV	Allanite der Biotit-Phengit-Gneise	292
XLVI	Klinopyroxen bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	293
XLVII	Klinopyroxen bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	296
XLVIII	Klinopyroxen bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	302
XLIX	Klinopyroxen bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	307
L	Klinopyroxen der Versuche mit erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten	313
LI	Klinopyroxen der Umkehrversuche und Hochdruckversuche	314
LII	Klinopyroxen der Biotit-Phengit-Gneise	315
LIII	Amphibole der Biotit-Phengit-Gneise	316
LIV	neugebildete Granate bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	317
LV	neugebildete Granate bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	320
LVI	neugebildete Granate bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	322
LVII	neugebildete Granate bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	324
LVIII	Zonierter Granate bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O, 25kbar und 900°C	326
LIX	Granatrelikte und Kerne bei 9.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	332
LX	Granatrelikte und Kerne bei 5.6 Gew.% H <sub>2</sub> O	335
LXI	Granatrelikte und Kerne bei 3.8 Gew.% H <sub>2</sub> O	338

LXII	Granatrelikte und Kerne bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	341
LXIII	Aus Biotit gebildete Granat bei 1.9 Gew.% H <sub>2</sub> O	344
LXIV	Granate bei erhöhten H <sub>2</sub> O-Gehalten, hohen Drücken und großem Volumen.	345
LXV	Granate der Biotit-Phengit-Gneise	346
LXVI	Excel-Tabelle und Makro zur Phengitberechnung	352
LXVII	Excel-Tabelle und Makro zur Biotitberechnung	357
LXVIII	Excel-Tabelle und Makro zur Klinopyroxenberechnung	362
LXIX	Excel-Tabelle und Makros zur Granatberechnung	367
LXX	Excel-Tabelle und Makros zur Epidotberechnung	373
LXXI	Excel-Tabelle und Makros zur Titanitberechnung	379
LXXII	Excel-Tabelle zur Feldspat- und Feldspathydratberechnung	383
LXXIII	Excel-Tabelle zur Apatitberechnung	387
LXXIV	Excel-Tabelle zur Normierung von Quenchprodukten	390
LXXV	Excel-Tabelle zur Berechnung von Quenchprodukten	393
LXXVI	Das CARLO-Programm	395
LXXVII	Quellcode des CARLO-Programms	397

## 1 Einleitung

Von Chopin wurde 1984 im Dora Maira Massiv der West-Alpen ein Gestein beschrieben, in dem Coesit als metamorphe Phase auftritt. Dieses Gestein war somit höheren Drücken als 25 kbar ausgesetzt. Die Entdeckung dieser coesitführenden Pyrop-Quarzite führte in den folgenden Jahren zu weiteren Beschreibungen ähnlich tief subduzierter Gesteine. Bei vielen dieser Ultrahochdruck(UHP)-Metamorphite ist zu beobachten, daß die sie umgebenden Rahmengesteine oft nur Hinweise auf erheblich geringere Metamorphose-Drücke aufweisen. Dies führte in solchen Fällen zu der kontroversen Debatte, ob die Rahmengesteine ohne Relikte einer UHP-Metamorphose und die UHP-Metamorphite gemeinsam oder getrennt den Metamorphose-Prozeß durchlaufen haben (Smith, 1988; Griffin, 1986; Cuthbert & Carswell, 1990). Eine besondere Schwierigkeit tritt bei Rahmengesteinen mit granitischer Zusammensetzung auf. In ihnen können Anzeichen für die UHP-Metamorphose besonders leicht durch eine folgende, retrograde Metamorphose ausgelöscht werden (Heinrich 1982; Biino & Compagnoni, 1992). Bei den Biotit-Phengit-Gneisen, den granitischen Rahmengesteinen der Pyrop-Quarzite, kommt, als eine weitere Schwierigkeit die Möglichkeit der Bildung von partiellen Schmelzen hinzu. Thermodynamische Berechnungen von Gleichgewichten, an denen Schmelzen teilnehmen, sind zur Zeit nicht sinnvoll, da die Unsicherheiten in bezug auf die thermodynamischen Eigenschaften von Schmelzen oder überkritischen Fluidphasen zu groß sind. Somit war es naheliegend, für die granitischen Nebengesteine der Dora-Maira UHP-Metamorphite mit experimentellen Methoden die koexistierenden Phasen und deren chemische Zusammensetzung unter den Druck- und Temperaturbedingungen der UHP-Metamorphose zu bestimmen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse

---

sollten außerdem, so wurde gehofft, neue Kriterien zur Erkennung von UHP-metamorphen granitischen Gesteinen ergeben.



## 2 Geologischer Überblick

Das Dora Maira Massiv besteht nach Vialon (1966), lithologisch gesehen, aus drei Einheiten. Die unterste Einheit, die aus Graphit-Schiefern und Meta-Areniten gebildet wird, ist die Pinerolo-Einheit. Die sie überlagernde, polymetamorphe Einheit, ist geprägt durch granitische Intrusionen. Über dieser polymetamorphen Einheit befindet sich eine durch saure Vulkanite gekennzeichnete permo-karbonische bis permo-triassische-Einheit.

Chopin et al. (1991) unterteilten die polymetamorphe Einheit nach Vialon in ein coesitführendes Basement, eine darüberliegende „kalte“-Eklogit-Einheit und die Oberste, aus Metapeliten, Metapsammiten und Gneisen bestehende, polymetamorphe Einheit (im eigentlichen Sinne).

Sowohl die coesitführenden Pyrop-Quarzite, als auch ihre Rahmengesteine, die Biotit-Phengit-Gneise, sind Bestandteil der eklogitfaziellen coesitführenden Einheit. Dies gilt auch für die undeformierten Metagranite, die stufenlos in deformierte Gneise übergehen. Die Pyrop-Quarzite können nach Schertl & Schreyer (1996b) durch Metasomatose aus den granitischen Nebengesteinen hervorgegangen sein. Es erscheint aber auch möglich, daß es sich bei den Pyrop-Quarziten um Meta-Evaporite handelt (Chopin et al. 1991). Das Metamorphose-Maximum liegt für die Pyrop-Quarzite bei 37 kbar und 800 °C (Schertl et al., 1991). Für die Biotit-Phengit-Gneise konnte dagegen nur ein Druck von ca. 15 kbar und eine Temperatur von 630°C nachgewiesen werden (Schertl 1992). Zwar gibt es auch unsichere Anzeichen für eine ältere UHP-Metamorphose, wie z.B. die mögliche Paragenese Rutil-Grossular-Klinozoisit-Titanit-Coesit-H<sub>2</sub>O (Chopin et al., 1991), jedoch stehen diese Phasen nicht im Kornkontakt. Für die undeformierten Metagranite von Brossasco fanden Biino & Compagnoni (1992) zwar

ebenfalls Hinweise, die auf eine UHP-Metamorphose dieser Gesteine hindeuten, einen eindeutigen Beweis gibt es jedoch nicht.

Für den Zeitpunkt der Intrusion des Protoliths, des Ausgangsmaterials der Biotit-Phengit-Gneise, geben Tilton et al. (1991) und Paquette (pers. com. in Chopin et al. 1991) ein an Zirkonen gemessenes Alter von 304 Ma bzw. 303 Ma an. Gebauer et al. (1997) geben ein an Zirkonen, mit der Ionensonde gemessenes Alter von 275 Ma an. Das Alter der Ultrahochdruck-Metamorphose der Coesit-Pyrop-Quarzite wird von Tilton et al. (1991) mit 31-38 Ma und von Gebauer et al. (1997) mit ca. 35 Ma angegeben. Für den Biotit-Phengit-Gneis wurde für das Unterschreiten der 290°C Isotherme ein Alter von ca. 30 Ma an Spaltpuren in Zirkonen bestimmt (Gebauer et al., 1997).

### 3 Stand der Forschung

#### 3.1 Petrologie der Biotit-Phengit-Gneise

Die Biotit-Phengit-Gneise der Lokalität Parigi wurden von Schertl et al. (1991) beschrieben. Sie bestehen vorwiegend aus Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas mit 96-98% Albitanteil, Biotit, Phengit, Granat sowie Epidot/Allanit. Akzessorien sind Chlorit, Apatit, Titanit, Turmalin, Zirkon und Rutil. Epidot, Biotit und Chlorit treten als Abbauprodukt von Granat auf. Es existieren zwei Granat-Generationen. In der Matrix befinden sich grossular-almandinbetonte Granate, deren  $\text{Fe}^{2+}$ -Gehalt vom Kern zum Rand hin zunimmt, während ihr Grossulargehalt abnimmt. Als Einschlüsse in Plagioklas findet man Granate mit bis zu 85% Grossularanteil. Die Phengite könne in drei Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe besteht aus grobkörnigen Phengiten mit höheren Si- und Fe-Gehalten als die zweite, später gebildete, feinkörnige Gruppe (Abb. 3.1).

In Zirkon eingeschlossene Phengite bilden die dritte Gruppe. Diese Phengite zeigen einen ähnlichen Si-Gehalt wie die Kerne der grobkörnigen Phengite, jedoch einen höheren Mg-Gehalt und niedrigere Fe-Gehalte.

Schertl (1992) bestimmte für die kritische Paragenese Biotit, Quarz, Kalifeldspat und mit dem Rand der Phengite einen Druck von 5kbar und eine Temperatur von 450°C. Falls es nicht zur Bildung partieller Schmelzen kam, und Biotit zusammen mit Quarz, Kalifeldspat und den siliziumreichen Kernen der großen Phengite koexistierte, ergibt dies nach Schertl (1992) bei Temperaturen von  $\leq 630^\circ\text{C}$  einen Druck von 15 kbar.

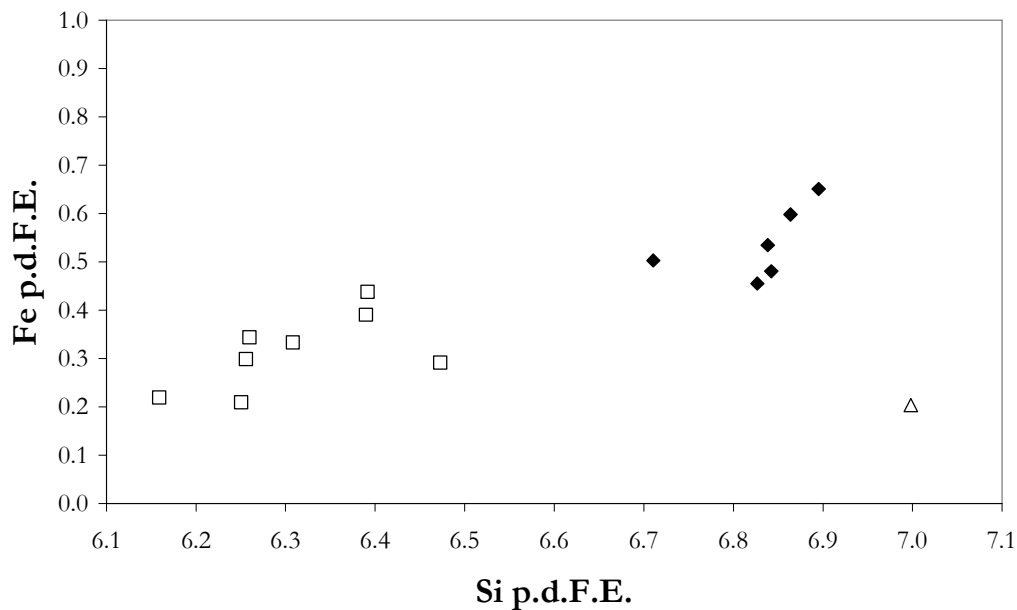
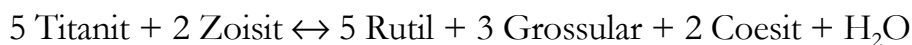


Abb. 3.1 Eisen in Abhängigkeit von Silizium pro doppelter Formeleinheit (p.d.F.E.;  $K_2(M^{2+}, Al)_{2-3}[Al_{0-2}, Si_{6-8}](OH, F)_4$ ) in Hellglimmern der Biotit-Phengit-Gneisen nach Schertl (1992). Signaturen: ◆ grobkörnige Phengite, □ feinkörnige Phengite, △ Phengiteinschluß in Zirkon

Als Anzeichen für noch höhere Drücke führten Chopin et al. (1991) die mögliche Koexistenz von Rutil, Klinozoisit, Titanit, Coesit, grossularreichem Granat und  $H_2O$  an. Grossularreicher Granat war von Chopin et al. (1991) als Einschluß in Epidot und von Schertl et al. (1991) als Einschluß in Plagioklas beobachtet worden. Rutil kommt sowohl als Einschluß in Granat, als auch mit einem retrograd gebildeten Saum aus Titanit in der Matrix vor. Chopin et al. (1991) führt aus, daß die Reaktion



bei Grossularaktivitäten von größer 0.5 im Coesitfeld liegt.

Geochemisch gesehen haben die Biotit-Phengit-Gneise die Zusammensetzung eines S-Typ Granits (Tilton et al., 1991). Die Gehalte des Biotit-Phengit-Gneises an Seltenen-Erdenelementen wurden von Beckmann

(1993) untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich eine direkte Verwandtschaft der Pyrop-Quarzite und der Biotit-Phengit-Gneise.

Die Analysen von Tilton (1991) befinden sich zusammen mit Gesamtgesteinsanalysen aus dieser Arbeit in Tabelle 5.2 im Kapitel 5.1.

### 3.2 Petrologie der Metagranite

Diese metamorph überprägten, granitoiden Gesteine des Dora-Maira-Massivs zeigen oft ein fast vollständig erhaltenes magmatisches Gefüge. Solche Gesteine werden deshalb in der Literatur als undeformierte Metagranite bezeichnet. Die Petrographie und Petrologie solcher Metagranite wurde eingehend von Biino & Compagnoni (1992) beschrieben. Nach der Intrusion bestand der Granit aus Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Biotit, Apatit, Zirkon und einer unbekanntenen Fe-Ti-Phase. Biino & Compagnoni (1992) zeigten in Ihrer Arbeit, daß im Metagranit höchstens lokale Gleichgewichte zwischen den koexistierenden Phasen erreicht wurden. Sie teilten die beobachteten Reaktionen in zwei Untergruppen: Reaktionen die Pseudomorphosen bildeten (pseudomorphic reactions) und solche, die entlang von Phasengrenzen auftreten (corona reactions).

#### 3.2.1 Pseudomorphosen

- Kalifeldspat: Der ehemalige primär magmatische Kalifeldspat hatte eine Zusammensetzung von 70-75 Mol% Kalifeldspat und 30-25 Mol% Albit. Im Kalifeldspat gibt es Entmischungslamellen von Albit und vereinzelt Nadeln von Zoisit. Der metamorph gebildete Kalifeldspat besteht aus 80 Mol% Kalifeldspat und 20 Mol% Albit. Entlang von Deformationszonen existiert eine metamorphe Generation mit der Zusammensetzung 90 Mol% Kalifeldspat und 10 Mol% Albit.

- Plagioklas: Während der UHP-Metamorphose wurde Plagioklas in Jadeit, Zoisit,  $\text{SiO}_2 \pm$  Granat umgewandelt. Jadeit, Zoisit,  $\text{SiO}_2$ , Kalifeldspat und Granat reagierten aber retrograd zu Oligoklas ( $\text{An}_{10-12}$ ), Phengit und Klinozoisit.
- Quarz: Die Quarze bilden Pseudomorphosen nach idiomorphen, magmatischen Kristallen. Die polykristallinen, granoblastischen Aggregate wurden von Biino & Compagnoni (1992), in Anlehnung an Smith (1988) und Okay et al. (1989), als Folge der Umwandlung von Coesit zu Quarz interpretiert.
- Biotit: Der magmatische Biotit wandelte sich unter UHP-Bedingungen in titanreichen Phengit, Granat und Rutil um. Der Granat bildete dabei einen Reaktionssaum um den ehemaligen Biotit. Unter den Bedingungen der retrograden amphibolitfaziellen Metamorphose, reagierten Granat und Phengit zurück zu rotem Biotit und Quarz. Dabei wurde der während der UHP-Metamorphose gebildete Rutil nicht vollständig abgebaut.

### 3.2.2 Reaktionen an Phasengrenzen

- Entlang der Korngrenzen von Plagioklas-Kalifeldspat, Quarz-Plagioklas und Quarz-Kalifeldspat wird ein schmaler Rand von Albit beobachtet.
- Biotit-Quarz-Kontakt: Es bildeten sich direkt um den Biotit Granatränder mit einem Almandinanteil von ca. 77%.
- Biotit-Kalifeldspat- bzw. Biotit-Plagioklas-Kontakt: Entlang dieser Korngrenzen kann eine „doppelte Korona“ beobachtet werden. Sie besteht auf der Seite des Biotits aus Granat und auf der Seite des Kalifeldspats aus einer Quarz-Phengit-Paragenese. Granat und

Phengit werden während der retrograden Metamorphose teilweise wieder in roten Biotit umgewandelt.

Biino und Compagnoni (1992) schlossen insbesondere aus den Quarzgefügen, der Paragenese Jadeit + SiO<sub>2</sub> + almandinreicher Granat, der Bildung von Phengit aus Kalifeldspat sowie aus dem vollständigen Abbau von Biotit, daß die Metagranite die UHP-Metamorphose erlebt haben. Sie konnten jedoch keine konkreten Druck-Temperatur-Daten ableiten.

Im Gegensatz zu Biino und Compagnoni (1992) berichten Tilton et al. (1997) von erhaltenen primären magmatischen Biotiten, die nur von einem dünnen Reaktionssaum umgeben sind.

### 3.3 Schmelzexperimente

Die experimentellen Arbeiten über die Bildung von Schmelzen in granitischen System lassen sich in zwei Bereiche gliedern:

- Versuche in einfachen Randsystemen wie z.B. Albit-Kalifeldpat
- Versuche an natürlichen Gesteinen wie z.B. S-Typ Graniten.

Im Mittelpunkt der meisten Experimente stand die Frage nach den Änderungen der Phasenbeziehungen in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Zusammensetzung. Modellsysteme haben dabei den Nachteil, daß ihre Phasenbeziehungen aufgrund fehlender Elemente (z.B. Eisen und Magnesium) stark von der Natur abweichen. Aus diesem Grund sind hier nur drei für diese Arbeit wichtige Themenkomplexe dargestellt.

#### 3.3.1 Das Binäre Systeme Albit-H<sub>2</sub>O

Insbesondere im Bereich des Übergangs von einer Paragenese aus festen Phasen und einer wässrigen Lösung in eine Paragenese mit einer Schmelze

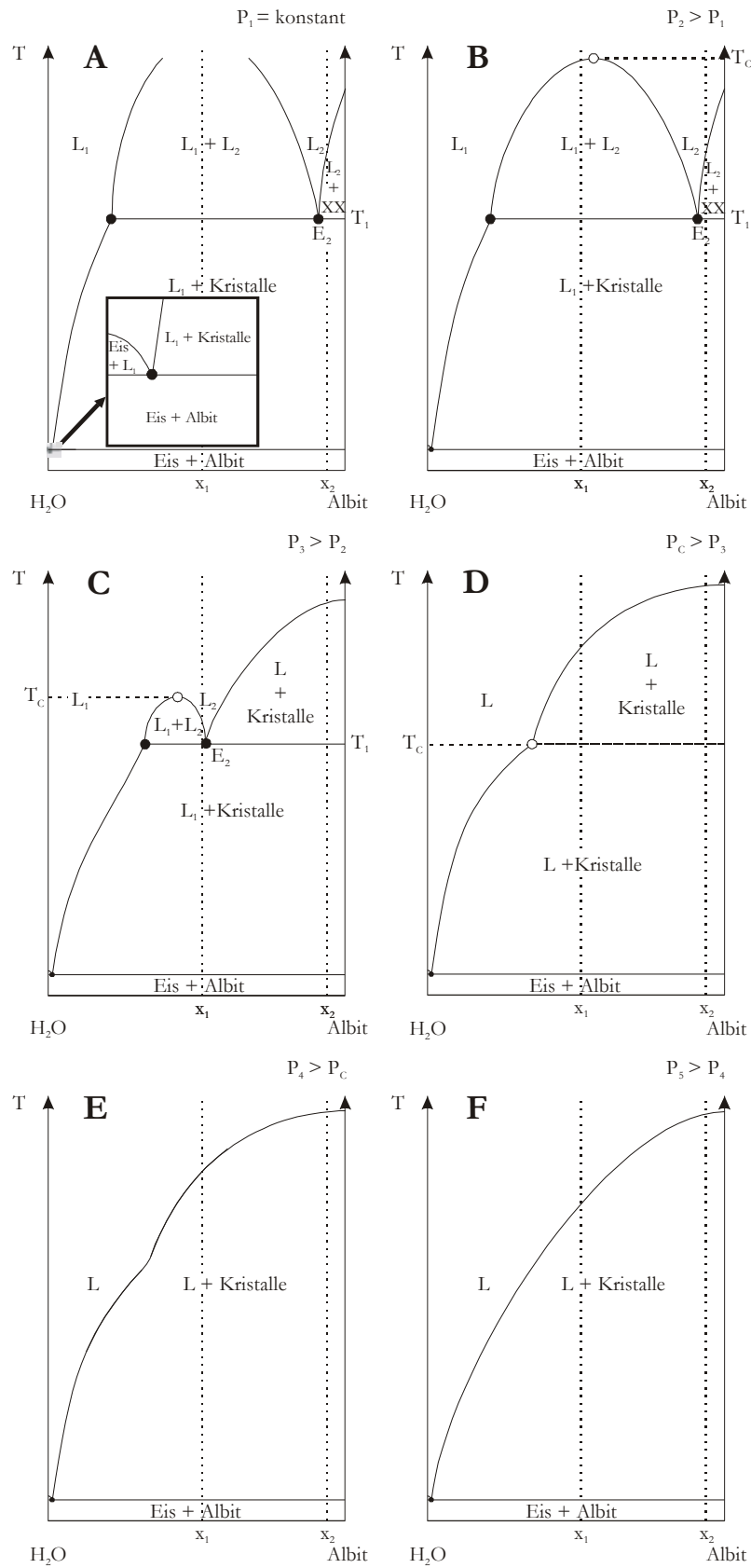


Abb. 3.2: A-D vereinfachte TX-Schnitte für verschiedene Drücke des Systems Albit-H<sub>2</sub>O (schematisch nach Shen & Keppler (1997), Paillat et al. (1992), Tuttle & Bowen (1958))



sind diverse Fragen offen. Diese beziehen sich besonders auf den Subsolidusbereich. Aus den bisherigen Arbeiten können die folgenden Zusammenhänge abgeleitet werden.

Im Allgemeinen wird der  $\text{H}_2\text{O}$ -gesättigte Solidus so definiert, daß sich aus fester Materie im Beisein von  $\text{H}_2\text{O}$  eine erste Schmelze bildet. Betrachtet man einen vereinfachten schematischen T-X-Schnitt (Abb. 3.2 A) für das System  $\text{H}_2\text{O}$ -Albit, so wird jedoch deutlich, daß am klassischen Solidus bei einer Temperatur  $T_1$  eine wässrige Lösung  $L_1$  (Albit in  $\text{H}_2\text{O}$ ) mit Albit zu einer silikatischen Schmelze  $L_2$  der Zusammensetzung  $E_2$  reagiert. Die wässrige Lösung und die silikatische Schmelze sind hierbei durch einen Solvus getrennt, dieser schließt sich jedoch bei einer höheren Temperaturen  $T_C$ . Steigt der Druck an, so sinkt der Wert der Temperatur  $T_C$  und der Solvus wird kleiner (Abb. 3.2 B + C). Für einen bestimmten Druck  $P_C$  und eine Temperature  $T_C$  kann der Solvus durch einen Punkt dargestellt werden. Dieser Punkt wird als zweiter kritischer Endpunkt bezeichnet und bildet gleichzeitig das Ende des klassischen Solidus. Der zweite kritische Endpunkt bildet außerdem eine Unstetigkeit auf der Grenze zwischen dem Feld-"L" und dem Feld "L + Kristalle" (Abb. 3.2 D). Die Grenze zwischen diesen beiden Felder nimmt mit steigendem Druck in eine ideale Form an (Abb. 3.2 E + F).

Die  $P$ - $T_C$ -Punkte des Solvus bilden vom zweiten kritischen Endpunkt  $T_C$ - $P_C$  im  $P$ - $T$ -Diagramm eine kritische Kurve (Abb. 3.3). Oberhalb dieser Kurve existiert nur noch eine homogene flüssige Phase, im folgenden als Fluid oder überkritisches Fluid bezeichnet. Unterhalb dieser Kurve ist die Koexistenz einer wässrigen Lösung und einer silikatischen Schmelze möglich. Für das System Albit- $\text{H}_2\text{O}$  haben Shen & Keppler (1997) die Existenz eines solchen überkritischen Fluids nachgewiesen, und die Lage der kritischen Kurve bestimmt. Hierdurch wurden auch die in der Arbeit von Paillat et al. (1992)

entwickelten Vorstellungen über die Topologie des Phasendiagramms Albit-H<sub>2</sub>O bestätigt. Bureau & Keppler (1999) zeigten auch für weitere System, unter anderem auch für eine haplogranitische Zusammensetzung, daß sich der Solvus zwischen wässriger Fluidphase und silikatischer Schmelze bei ausreichend hohen Drücken und Temperaturen schließt.

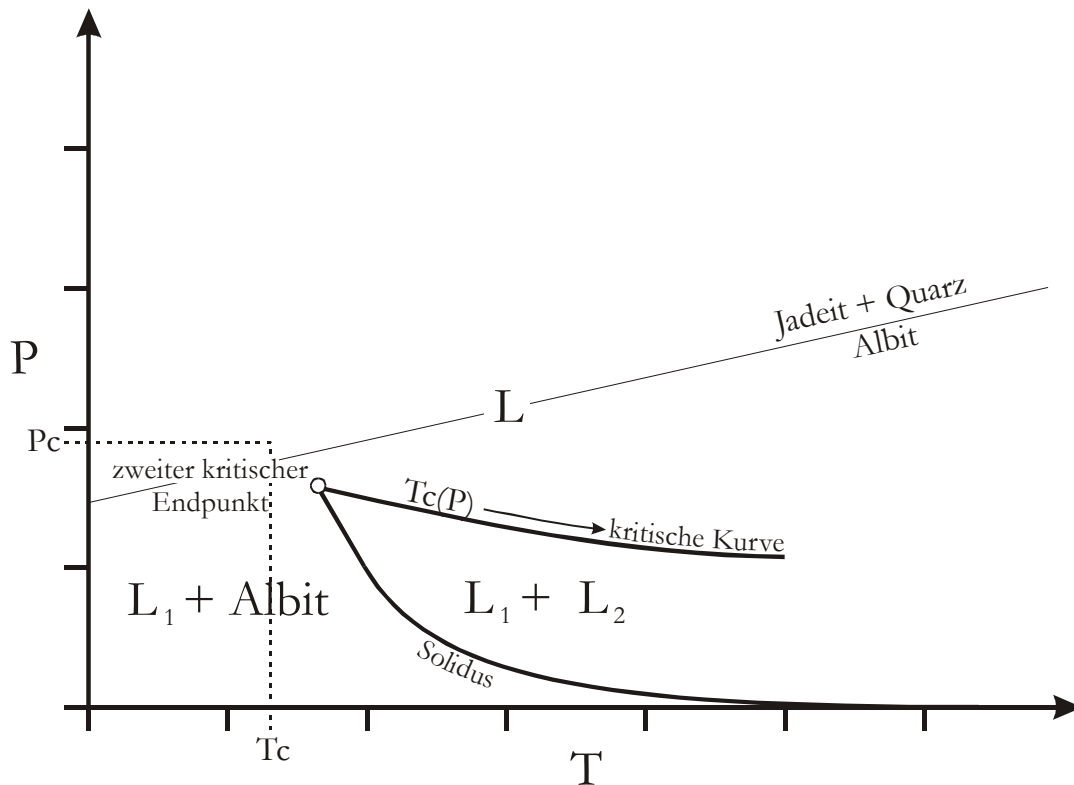


Abb. 3.3: Schematisches Druck-Temperatur Diagramm des Systems Albit-H<sub>2</sub>O. (nach Schreyer(1999)).

Dies bedeutet für das Verhalten silikatischer Systeme unter hohen Drücken, daß kein Solidus existiert. Somit kann sich die überkritische „wässrige Lösung“ mit steigenden Temperaturen kontinuierlich zu einer überkritische „silikatische Schmelze“ entwickeln. (Abb. 3.2 E). Die Verwendung der Begriffe „silikatische Schmelze“ bzw. „wässrige Lösung“ sind im Zusammenhang mit einer solchen kontinuierlichen Veränderung jedoch irreführend, da es sich um eine homogene Phase mit wechselnden Zusammensetzungen handelt. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der

Begriff Fluidphase bzw. überkritische Fluidphase für diesen überkritischen Zustand unabhängig von seiner chemischen Zusammensetzung verwendet.

### *3.3.2 Granitische Modellsysteme*

Zwar gibt es im Bereich der granitischen Schmelzen zahlreiche Experimente in Modellsystemen, jedoch ohne Berücksichtigung von Eisen und Magnesium: Das physikalisch-chemische Verhalten von z.B. Klinopyroxenen und Phengiten ist jedoch entscheidend von den zur Verfügung stehenden Mengen an Eisen und Magnesium im Ausgangsmaterial abhängig. Aus diesem Grund kann kein direkter Nutzen aus den Experimenten in Modellsystemen für die Fragestellung dieser Arbeit gezogen werden.

### *3.3.3 Natürliche granitische Systeme*

Die wesentlichen Arbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Hochdruckpetrologie natürlicher granitischer Gesteine stammen von Boettcher & Wyllie (1968), Robertson & Wyllie (1971 a, b), Huang & Wyllie (1973, 1981) und Stern & Wyllie (1973, 1981).

Die Untersuchungen von S-Typ Graniten bis 35 kbar (Huang & Wyllie 1981) zeigen deutlich, daß phengitischer Hellglimmer im granitischen System eine wichtige stabile Phase bei hohen Drücken ist. In derselben Arbeit konnten Huang und Wyllie nachweisen, daß eine H<sub>2</sub>O-haltige Phase wie Phengit auch aus stark H<sub>2</sub>O-untersättigten Schmelzen kristallisieren kann. Bei Experimenten mit sehr hohen H<sub>2</sub>O-Gehalten dominieren die folgenden Phasen: Quarz/Coesit, Jadeit, Muskovit (Phengit), Kyanit und Schmelze.

Beim Vergleich der Arbeit von Huang & Wyllie (1981) an einem S-Typ Granit mit der von Stern & Wyllie (1981) an einem kalziumreicheren und aluminiumärmeren I-Typ Granit wird deutlich, daß die Bildung von Phengit aus der Schmelze vom Aluminium-Gehalt des Ausgangsmaterials abhängt.

Die dominierenden Phasen in den Schmelzexperimenten des I-Typ Granits sind: Quarz/Coesit, Jadeit, Kyanit und Schmelze.

In beiden Arbeiten wurde die von Seki & Kennedy (1964) beschriebene Reaktion von Kalifeldspat und  $H_2O$  zu K-Cymrit (Kalifeldspathydrat) bei Drücken ab 30 kbar beobachtet.

## 4 Zielsetzung

Hauptziel dieser Arbeit ist die Klärung der Frage, aus welchen Phasen der Biotit-Phengit-Gneis als direktes Nebengestein der coesitführenden Pyrop-Quarzite des Dora-Maira Massivs während einer möglichen UHP-Metamorphose bestanden haben könnte. Neben der bei diesen Bedingungen stabilen Paragenese liegt die zentrale Fragestellung auf der Zusammensetzung der koexistierenden Phasen. Diese beiden Punkte sind von extremer Wichtigkeit, um die Frage zu beantworten, ob die Biotit-Phengit-Gneise zusammen mit den Pyrop-Quarziten die Druck-Temperatur-Bedingungen der UHP-Metamorphose durchlaufen haben oder nicht.

In dieser Arbeit sollten somit drei wesentliche Schritte durchlaufen werden:

- Durchführung einer ausreichenden Anzahl von Versuchen bei UHP-Metamorphosebedingungen und die Analyse der jeweils koexistierenden Phasen;
- Die Zusammenstellung einer Datenbasis von koexistierenden Mineralparagenesen des Biotit-Phengit-Gneises aus der Literatur und durch eigene Untersuchungen;
- Der Vergleich der aus Natur und Experiment gewonnenen Daten.

Durch direkten Vergleich der experimentellen Phasenbeziehungen kann somit nach möglichen Hochdruckparagenesen oder Relikten im natürlichen Gestein gesucht werden. Da jedoch solche Hochdruckparagenesen während der retrograden Metamorphose meist umgewandelt wurden, und Hochdruckphasen oft nur isoliert als Einschluß vorliegen, kommt der Mineralchemie der Phasen eine besondere Bedeutung zu. Hochdruckphasen können durch das Vorhandensein spezifischer Komponenten (z.B. Jadeit-Komponente in Klinopyroxen) charakterisiert sein.

---

Des Weiteren sollte geklärt werden, welche Zusammensetzungen die bei niedrigen Temperaturen und hohen Drücken zu erwartenden überkritischen Fluidphase im System Granit-H<sub>2</sub>O als Funktion von Druck und Temperatur besitzen.

## 5 Experimentelle Methoden

### 5.1 Präparation des Ausgangsmaterials

Als Ausgangsmaterial für die Hochdruckversuche diente der in Parigi, Dora Maira Massiv, West-Alpen, Italien gesammelte Biotit-Phengit-Gneis (Probe 17684 des Instituts für Mineralogie in Bochum; Gegenstück der von Schertl (1992) bearbeiteten Probe 17685). Die Probe wurde mit einem Backenbrecher zerkleinert und in der Kugelschwingmühle gemahlen. Um die Probe zu homogenisieren, wurde sie während dieses Prozesses mehrfach geteilt und systematisch wieder gemischt, so daß eine maximale Durchmischung gewährleistet war. Anschließend wurden das Ausgangsmaterial in einem Achatmörser auf eine Korngröße von 2-5  $\mu\text{m}$  gemahlen.

Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials wurde mit der Hilfe der RFA, der ICP und einiger Titrationsmethoden bestimmt. Die Bestimmungsmethoden für die einzelnen Elemente sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Die von Tilton et al. (1991) für die Probe 17684 bestimmte Zusammensetzung konnte weitgehend innerhalb des Meßfehlers reproduziert werden. Eine signifikante Abweichung wurde lediglich beim  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}_{\text{tot}}$ -Verhältniss und beim Zinkgehalt beobachtet. Die Ergebnisse von Tilton et al. (1991) und dieser Arbeit sind in den Tabellen 5.2 und 5.3 dargestellt.

Tabelle 5.1 Analysemethoden für die gemessenen Elemente

Si, Ti, Al, $\text{Fe}_{\text{Total}}$ , Mn, Mg, Ca, Na, K, P, As, Ba, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Hf, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr, Ce, La, Nd	Röntgenfluoreszens
$\text{Fe}^{3+}$ , S, $\text{H}_2\text{O}$	Titrationmethoden
Be, Li, Te, W, B	ICP-MS

Tabelle 5.2 Chemische Analyse der Probe 17684: Hauptelemente

Oxide	diese Arbeit	Tilton et al. (1991)
SiO <sub>2</sub>	71.86	73.00
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.48	13.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.89	0.54
FeO	1.15	1.46
MnO	0.04	0.04
MgO	0.28	0.36
CaO	0.84	0.83
Na <sub>2</sub> O	2.98	3.10
K <sub>2</sub> O	5.84	5.49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.14
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.22	0.16
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.67	0.66
CO <sub>2</sub>	0.10	-
SO <sub>3</sub>	0.00	-
F	0.11	-
Σ	98.73	99.55

Tabelle 5.3 Chemische Analyse der Probe 17684: Spurenelemente

	ppm	ppm
Ba	200	175
Co	39	-
Cr	0	13
Cu	8	≤2
Ga	22	-
Li	90	-
Nb	21	24
Ni	0	≤2
Rb	274	285
Sn	29	-
Sr	54	62
V	1	13
Y	38	49
Zn	742	55
Zr	219	227
B	90	-
Ce	86	-
Nd	50	-



## 5.2 Hochdruckapparaturen

### 5.2.1 Stempel-Zylinder-Pressen

Alle Experimente im Bereich bis 45 kbar wurden in Hochdruckpressen durchgeführt, die den bei Boyd & England (1960) beschriebenen Systemen entsprechen. Der eigentliche Hochdruckbehälter besteht aus ineinander gepreßten Stahlringen von ca. 3 cm Stärke. Diese stabilisieren mittels eines Vordruckes den Wolframcarbiddkern, der in einer 1/2" Bohrung die Salzzelle mit dem Ofen und den Proben enthält. Die Versuche wurden mit drei unterschiedlichen Ofentypen durchgeführt.

Der Ofenaufbau A (5.1) besteht aus einem Stahlrohr, das von einem ca. 2 mm starken NaCl-Mantel umgeben ist. Zum Stempel hin ist der Ofen mit einem Zylinder aus NaCl gefüllt. Direkt an diesen Zylinder grenzt ein NaCl-Zylinder mit 4 symmetrisch kreisförmig angeordneten Bohrungen und einer Bohrung für das Thermoelement in der Mitte. Die vier Bohrungen nehmen jeweils eine Probenkapsel auf. Der Teil des Ofens zwischen den Kapseln und dem Baseplug ist zur Fixierung der Probe mit einem Zylinder aus gebranntem Pyrophyllit gefüllt. Der Aufbau ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Der Aufbau B setzt sich aus einem Graphitofen und einer Probenkammer mit azentrischer Bohrung für eine Probe und einer azentrischen Bohrung für das Thermoelement zusammen. Sonst entspricht das Prinzip des Aufbaus dem des Aufbaus A.

Der Aufbau C läßt sich aus dem Aufbau A direkt ableiten, in dem der zentrale Teil mit den Proben gegen eine „Large Volume“-Kapsel mit einem Mantel aus gebranntem Pyrophyllit ausgetauscht wird. Zum Thermoelement hin ist die Kapsel mit einer ca. 0.5 mm dicken Scheibe aus gebranntem

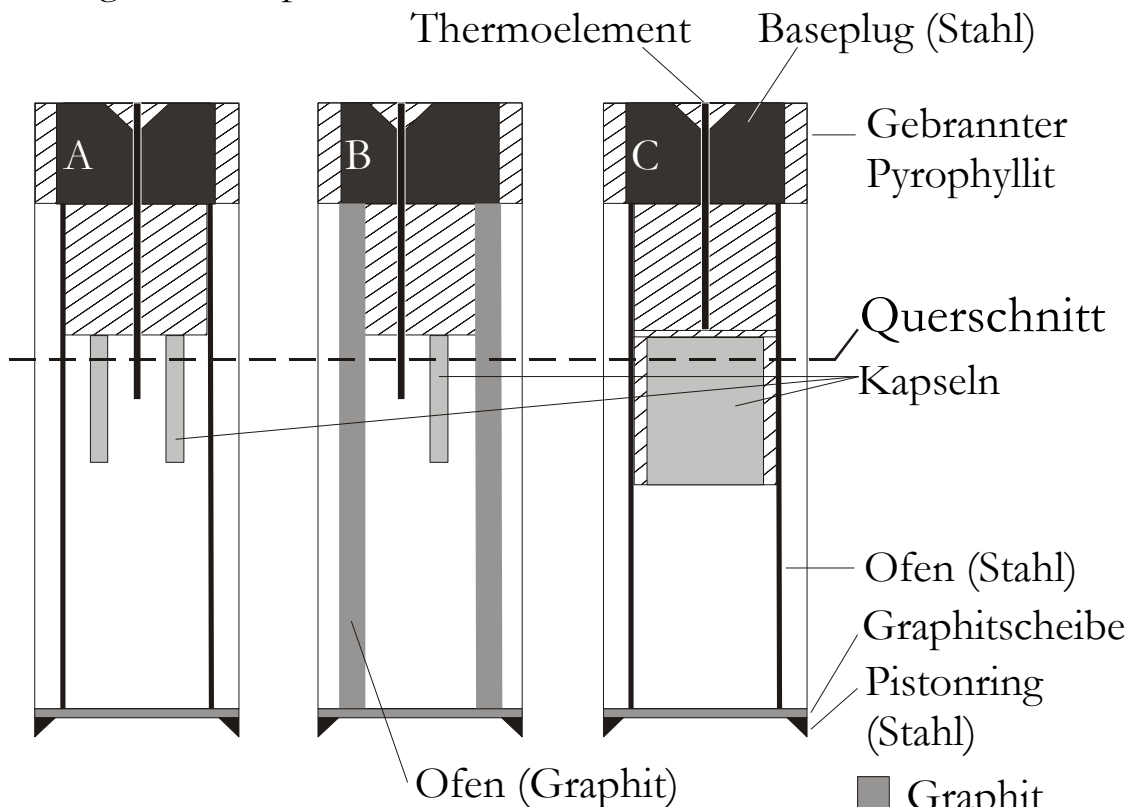
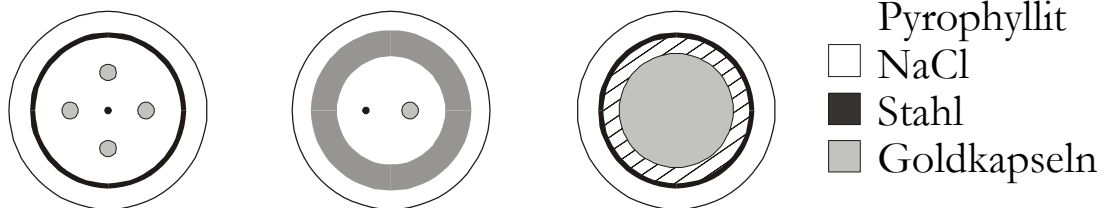
Längsschnitte parallel zur OfenachseQuerschnitte senkrecht zur Ofenachse

Abb. 5.1 Schematischer Aufbau der benutzten Öfen A-C (siehe Text)

Pyrophyllit abgedeckt. Das Thermoelement sitzt also über, und nicht wie beim Aufbau A und B, neben der Probe.

In allen Aufbauten wurden die Proben so plaziert, daß sie nach Leistner (1979) in einem Bereich mit geringem thermischen Gradienten lagen. Der Fehler für die Temperatur wird wie folgt abgeschätzt:

Fehlerquellen und daraus resultierende Fehlertoleranzen:

- Thermoelement ca. 1%
- Regler ca. 1%
- Ausgleichsleitung ca. 0.5%
- Positionierung der Probe und des Thermoelements ca. 2%

Mit diesen Werten ergibt sich aus dem Gaußschen-Fehlerquadrat ein Gesamtfehler für die Temperatur von ca. 2.5%.

Da NaCl als Druckmedium genutzt wird, ist der Druckverlust durch Reibung zu vernachlässigen (Mirwald & Massonne, 1980). Es kommt jedoch zu Fehlern aufgrund von Veränderungen der Geometrie der Wolframcarbidmatrize unter hohen Drücken. Deshalb muß der Druck um 0.4% zu geringeren Werten korrigiert werden (Massonne & Schreyer, 1986). Nach Massonne & Schreyer (1986) beträgt der gesamte Fehler ca. 1%.

Für alle Versuche mit einem Ofen des Typs A wurden vier Goldröhrchen von ca. 15 mm Länge und 2 mm Durchmesser mit 20 mg Ausgangsmaterial und verschiedenen H<sub>2</sub>O-Gehalten von: 0.2 mg, 0.6 mg, 1 mg und 2 mg H<sub>2</sub>O vorbereitet. Anschließend wurde die Kapsel mit einer Knallgasflamme verschweißt und in einer zylindrischen Matrize mit 2 mm Durchmesser auf ca. 10 mm Länge gestaucht. Im Ofentyp B wurden auf gleiche Weise hergestellte Kapseln eingesetzt.

Die im Ofentyp C eingesetzten „Large Volume“-Kapseln wurden mit 300-400mg Ausgangsmaterial und H<sub>2</sub>O gefüllt. Anschließend wurde die Kapsel durch kaltes Zuschmieden geschlossen.

Das Gewicht der Kapseln wurde vor und nach dem Versuch geprüft.

### 5.2.2 Multi-Anvil-Press

Die Experimente bei 80 und 100 kbar wurden im Bayerischen Geoinstitut (Bayreuth) an einer Multi-Anvil-Press durchgeführt. Die Presse basiert auf einer Oktaeder-Geometrie. Die oktaederische Druckzelle wird durch die gekappten Ecken von acht Wolframcarbid-Würfeln begrenzt. Die genaue Funktionsweise wird von Ito et al. (1984) beschrieben. Nach Canil (pers. Mitt., 1994) beträgt der  $2\sigma$  Bereich für die Druckmessung  $\pm 5$  kbar. Für die Temperaturmessung beträgt der  $2\sigma$  Bereich  $\pm 50^\circ\text{C}$ . Die Versuche wurden mit Goldkapseln von 3 mm Länge und einem Durchmesser von ca. 2 mm durchgeführt.

## 5.3 Präparation der Versuchsprodukte

Die Kapseln mit den Versuchsprodukten wurden auf zwei Arten präpariert. Bei den Versuchen mit der Kennung GN01-GN18 wurde die Kapsel geöffnet und die Versuchsprodukte mit der Präpariernadel in größeren Bruchstücken entnommen. Ein Teil der Bruchstücke wurde zur Herstellung von Anschliffen, ein anderer Teil für Röntgenuntersuchungen verwendet.

Bei allen anderen Versuchen wurden die Kapsel senkrecht zur Kapselachse in zwei Hälften zersägt. Aus einer Hälfte wurde ein Anschliff hergestellt, wobei die Kapselhälfte als Ganzes bearbeitet wurde. Das Material aus der anderen Hälfte wurde entfernt und für Röntgenuntersuchungen verwendet.

Von den Versuchsprodukten aus „Large-Volume“-Kapseln wurden zusätzlich Dünnschliffe angefertigt.

## 5.4 Optische Untersuchungen

Vor der Untersuchung an der Mikrosonde wurden die Präparate an einem Polarisationsmikroskop und einem Auflichtmikroskop untersucht. Es

wurden das Gefüge, der Phasenbestand und der Zustand des Kapselmaterials dokumentiert.

## 5.5 Röntgenographische Untersuchungen

### 5.5.1 Röntgenaufnahmen am Philips-Pulverdiffraktometer

Um die wichtigsten Phasen eines Versuchsproduktes eindeutig bestimmen zu können, wurden Röntgenaufnahmen zur Phasenidentifikation mit einem Pulverdiffraktometer der Firma Philips Typ PW 1710 erstellt. Das Gerät ist mit einem Graphitmonochromator ausgestattet. Da in allen Versuchen Glas als mögliche Phase in Frage kam, wurden die Aufnahmen mit einem Quarz-Träger durchgeführt.

Die Aufnahmebedingungen wurden wie folgt gewählt:

- Strahlung: Cu  $K\alpha$
- Filter: Nickel
- Monochromator: Graphit
- Generatoreinstellung: 40 kV und 20 mA
- Winkelbereich:  $65^\circ$ - $5^\circ$   $2\theta$
- Winkelgeschwindigkeit:  $1^\circ$   $2\theta$ /Minute
- Papiergeschwindigkeit: 10 cm/ $1^\circ$   $2\theta$
- Zählrate: je nach Versuchsprodukt 400-1000 cps
- Zeitkonstante: 1 sec

### 5.5.2 Automatisches Pulverdiffraktometer

Zur Bestimmung von Gitterkonstanten und der Erstellung von Röntgenaufnahmen zur Phasenidentifikation mit größerer Auflösung diente

ein automatisches Pulverdiffraktometer (APD) der Firma Siemens vom Typ D 500. Da es sich bei allen Produkten um mehrphasige Gemische handelte, wurde kein Standard verwendet. Statt dessen diente der in allen Proben vorhandene Quarz bzw. Coesit als interner Standard. Die Aufnahmebedingungen wurden wie folgt gewählt:

- Strahlung: Cu  $K\alpha$
- Monochromator: Graphit
- Generatoreinstellung: 45 kV und 25 mA
- Winkelbereich  $5^\circ$ - $80^\circ$  bzw.  $5^\circ$ - $75^\circ$   $2\theta$
- Winkelschrittweite:  $0.01^\circ$   $2\theta$
- Meßzeit pro Schritt: 6 sec
- Rotation des Probenträgers

Zur Bestimmung der Peak-Positionen aus den Rohdaten wurde das Programm ADM benutzt. Die Gitterkonstantenverfeinerung erfolgte mit Hilfe des Programms LCLSQ (Burham, 1963).

## 5.6 Elektronenstrahlmikrosonde (EMS)

### 5.6.1 Punkt-Analysen mit der EMS

Die Analysen wurden an den in 5.3 beschriebenen Anschliffen und Dünnschliffen durchgeführt. Zur Erstellung der Analysen diente eine Cameca-SX50-Elektronenmikrosonde mit 4 Spektrometern.

Die Bedampfung bestand bei allen Proben und den Standards aus leitendem Kohlenstoff. Die Meßbedingungen wurden nach Messungen der Intensität als Funktion der Meßzeit, der Beschleunigungsspannung und des Strahlstroms auf die angegebenen Werte festgelegt:

- Strahlstrom : 5nA
- Beschleunigungsspannung : 15 kV
- Meßzeit : 10 sec
- einseitige Untergrundmessung

Die Werte bilden einen Kompromiß zwischen einer ausreichenden Zählrate und der Schädigung von Gläsern und wasserhaltigen Phasen durch den Elektronenstrahl. Insbesondere zeigte sich, daß der gemessene Kalium-Gehalt von Glimmer dem idealen Kalium-Gehalt wesentlich näher kommt, wenn die angegebene Einstellung verwendet wird. Einen weiteren Vorteil bildet die bessere Auflösung beim Messen durch einen feineren Strahl.

Tabelle 5.4 Zur Messung der Elemente auf der Elektronenstrahlmikrosonde benutzte Standards und Kristalle

Element	Spektrometerkristall	Standard
Magnesium	TAP	Pyrop
Aluminium	TAP	Pyrop
Silizium	TAP	Pyrop
Natrium	TAP	Jadeit
Fluor	PCO	Topaz
Eisen	LIF	Andradit
Mangan	LIF	Spessartin
Chrom	LIF	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Nickel	LIF	NiO
Zink	LIF	ZnO
Kalium	PET	Kalium-Glas
Calcium	PET	Andradit
Phosphor	PET	AlPO <sub>4</sub>
Barium	PET	Barium-Glas
Titan	PET	TiO <sub>2</sub>
Chlor	PET	NaCl
Zirkonium	PET	ZrO <sub>2</sub>
Cer	PET	SEE3
Lanthan	PET	SEE3

Von Nachteil ist, daß der Fehler bei der Impulsmessung aufgrund der geringeren Zählraten erhöht ist. Geringe Elementkonzentrationen sind aus diesem Grund als unsicher zu betrachten. Dieser Nachteil läßt sich aber durch die Messung von mehreren Körnern kompensieren, falls die Möglichkeit hierfür besteht. In Tabelle 5.4 sind die gemessenen Elemente, die verwendeten Spektrometerkristalle und Standards aufgeführt.

### 5.6.2 Fehler der EMS-Analytik

Der Fehler einer EMS-Analyse kann nur auf statistischer Basis ermittelt werden. Neben der eingeschränkten Möglichkeit, an einem Punkt mehrere Messungen durchzuführen und aus den Ergebnissen den Mittelwert und seinen mittleren Fehler zu bestimmen, kann der methodische, statistische Fehler auch aus der Zählstatistik abgeleitet werden. Der methodische, statistische Fehler setzt sich aus der Kalibrierung und der eigentlichen Messung der Probe zusammen.

Bei der Kalibrierung an der Elektronenstrahlmikrosonde werden in der Regel sechs 20 Sekunden dauernde, unabhängige Impulsmessungen vorgenommen, deren Standardabweichung maximal ca. 1% beträgt. Der mittlere Fehler des Mittelwerts der Kalibrierung definiert sich durch:

$$m = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

mit  $s = 1\%$  (Standardabweichung) und  $n = 6$  (Anzahl der unabhängigen Versuche). Es ergibt sich somit ein mittlerer Fehler von: 0.4%.

Der mittlere Fehler der Impulsmessung jedes einzelnen Elements auf der Probe läßt sich nur aus der Zählstatistik abschätzen. Hierfür kann der eigentliche Zählvorgang bei der Messung als Meßreihe betrachtet werden. Dabei läßt sich  $n$  (Anzahl der unabhängigen Versuche) in erster Näherung



aus dem Verhältnis des Strahlstroms, der Meßdauer und der Konzentration bei der Probenmessung und der Kalibrierung abschätzen. Die zur Bestimmung des mittleren Fehlers nötigen Größen können wie folgt abgeschätzt werden: Die Standardabweichung der Messung und der Kalibrierung für ein Element sind identisch:

$$s_{\text{Kalibration}} = s_{\text{Messung}}$$

Das Verhältnis Meßstrom zu Kalibrierungsstrom beträgt:

$$v_{\text{Strom}} = 5\text{nA} / 15\text{nA} = 1/3$$

Das Verhältnis der Meßzeit (10 sec) zur Kalibrierungszeit beträgt:

$$v_{\text{Zeit}} = 10\text{sec} / 6 \cdot 20\text{sec} \text{ (6 Messungen a 20 Sekunden)} = 1/12$$

Das Verhältnis der Konzentrationen in der Probe und im Standard geht als

$v_{\text{Konzentration}}$  in die Berechnung ein. Die Größe  $n_{\text{Messung}}$  läßt sich aus  $n_{\text{Kalibrierung}}$

$v_{\text{Konzentration}}$ ,  $v_{\text{Strom}}$  und  $v_{\text{Zeit}}$  bestimmen:

$$n_{\text{Messung}} = n_{\text{Kalibrierung}} \cdot v_{\text{Konzentration}} \cdot v_{\text{Strom}} \cdot v_{\text{Zeit}} \quad (5.2)$$

Für die Berechnung des mittleren Fehlers ergibt sich im Allgemeinen somit die Gleichung:

$$m_{\text{Messung}} = \frac{s_{\text{Kalibrierung}}}{\sqrt{n_{\text{Kalibrierung}} \cdot v_{\text{Konzentration}} \cdot v_{\text{Strom}} \cdot v_{\text{Zeit}}}} \quad (5.3)$$

In dieser Arbeit errechnen sich die mittleren Fehler für die Messungen auf der Probe aus den Beziehungen:

$$m_{\text{Messung}} = \frac{2.45}{\sqrt{v_{\text{Konzentration}}}} \quad \text{für 5nA Analysen und} \quad (5.4)$$

$$m_{\text{Messung}} = \frac{1.73}{\sqrt{v_{\text{Konzentration}}}} \quad \text{für 10nA Analysen.} \quad (5.5)$$

Der Gesamtfehler  $m_{\text{Gesamt}}$  ergibt sich durch Anwendung des Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetzes:

$$m_{\text{Gesamt}} = \sqrt{m_{\text{Messung}}^2 \cdot m_{\text{Kalibrierung}}^2} \quad (5.6)$$

Die mittleren Fehler für einige ausgewählte Minerale sind in Tabelle 5.5 dargestellt.

Tabelle 5.5 Genäherte mittlere Fehler von EMS-Analysen für einige ausgewählte Mineralzusammensetzungen. Die mittleren Fehler wurden mit Hilfe der Formeln 5.5 und 5.3 bzw. 5.4 errechnet.

Beispiel Minerale	Element	Standard	Gesamtfehler % 5nA	Gesamtfehler % 10nA
Quarz / Coesit	Si	Pyrop	1.69	1.22
Kalifeldspat	Si	Pyrop	2.07	1.49
Kalifeldspat	Al	Pyrop	2.91	2.07
Kalifeldspat	K	K-Glas	2.11	1.51
Albit	Na	Jadeit	2.48	1.78
Jadeit	Si	Pyrop	2.16	1.55
Jadeit	Al	Pyrop	2.82	2.01
Jadeit	Na	Jadeit	2.48	1.78
Pyrop	Mg	Pyrop	2.48	1.78
Granat~7% Prp	Mg	Pyrop	9.27	6.55
Granat~33% Alm	Fe	Andradit	3.47	2.47
Granat~33% Grs	Ca	Andradit	4.04	2.86

### 5.6.3 Erstellung von Elementverteilungsbildern (X-Map)

Auf einer Mikrosonde des Typs Camebax der Firma Cameca wurden mit der Hilfe des Programms XMAP Elementverteilungsbilder von ausgesuchten Mineralkörnern erstellt. Dabei handelte es sich um Kurzzeitmessungen ohne Korrekturrechnung, die in einem frei wählbaren Raster ausgeführt werden

können. Aus den Rohdaten wurde mit Hilfe des PC-Programms XMAP ein Falschfarbenbild errechnet.

#### *5.6.4 Erstellung von „Back-Scattered-Electron“ BSE-Bildern*

Von den Versuchsprodukten wurden BSE-Bilder erstellt. Dabei handelte es sich in der Regel um Übersichtsaufnahmen mit 300-500facher Vergrößerung. In einigen Fällen wurden jedoch auch Detailaufnahmen mit 1000-4000facher Vergrößerung angefertigt. Die Bilder wurden über einen Videoprinter ausgegeben und anschließend mit einem Scanner digitalisiert.

Die teilweise geringe Qualität der Bilder ist auf den niedrigen Kontrast zwischen den beobachteten Phasen und den daraus resultierenden Einstellungen zurückzuführen.

### **5.7 Elektronenstrahlrastermikroskopie**

Um BSE Bilder mit einer höheren Auflösung zu erhalten, wurden neben den BSE-Bildern an der Elektronenstrahlmikrosonde, auch Aufnahmen mit einem Rasterelektronenmikroskop der Firma Cambridge Instruments vom Typ Steroscan MK 3 angefertigt.

Aufgrund der zu geringen Kontraste zwischen den Produktphasen und dem charakteristisch geringeren Strahlstrom des Rasterelektronmikroskops konnten jedoch keine Verbesserungen in der Auflösung der einzelnen Phasen erzielt werden.

## 6 Berechnung von Mineralformeln

Für die Berechnung von Druck-Temperatur-Daten, zur Bestimmung von thermodynamischen Daten und zur Interpretation des physikalisch-chemischen Verhaltens von Mineralien ist es wichtig, deren Analysen in Mineralendgliedkomponenten zu zerlegen.

Die Berechnung von Mineralformeln gliedert sich immer in zwei Teile, erstens die Berechnung der in einer Mineralformel enthaltenen Atome (auch Normierung genannt), sowie zweitens die Berechnung der Relation der Endgliedkomponenten in einem Mineral aus den Atomgehalten.

Die strukturellen Eigenschaften eines Minerals (z.B. Besetzung der Positionen) sind ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des Normierungsalgorithmus. Es gibt drei wichtige Algorithmen zur Normierung von Mineralanalysen.

- Normierung auf Kationenvalezenzen
- Normierung auf Kationenanzahl
- Normierung auf Anzahl bestimmter Atompositionen

Für die Berechnung von Endgliedern gibt es drei wichtige Methoden, die alle die Berechnung von Wertigkeiten mit iterativen Algorithmen erlauben:

- Berechnung von Endgliedern auf der Basis charakteristischer Elementverhältnisse (z.B. Alkali/Erdalkali-Position in Feldspäten)
- Berechnung durch serielle, lineare Zerlegung
- Berechnung der Endglieder durch Lösung eines linearen Gleichungssystems

Die in dieser Arbeit für die einzelnen Phasen genutzten Methoden zur Formelberechnung sind in Tabelle 6.1 zusammengefaßt. Die Berechnungsmethoden werden im Anhang III detailliert dargestellt.

Tabelle 6.1 Normen und Zerlegungsverfahren zur Berechnung von Mineralformeln und Komponenten. Zusammensetzung der Komponenten siehe Anhang I.

Mineral	Norm	Berechnung der Komponenten
Apatit $Y_5[(ZO_4)_3(F,Cl,OH)]$	$Ca+M^{3+}+M^{2+}+Ti = 5$ ; (wegen möglichem Einbau von Kohlenstoff)	lineares Gleichungssystem
Biotit $X_2Y_6[Z_8O_{20}](F,Cl,OH)_4$	Kationenvalenzen=42; (doppelte Formeleinheit; K, Na, $\frac{1}{2}Ca$ und $\frac{1}{2}Ba$ bleiben bei der Normierung wegen zu hoher Meßfehler unberücksichtigt)	lineares Gleichungssystem $Fe^{3+}$ wurde nicht berechnet. $Na_2O$ und $K_2O$ wurden nach der Berechnung korrigiert.
Chlorit $Y_{12}[Z_8O_{20}](OH)_{16}$	Kationenvalenzen=56	lineares Gleichungssystem Summe der Komponenten ergibt $\approx 1.000$ als Kriterium für die Berechnung von $Fe^{3+}$
Epidot $X_2Y_3[Si_2O_7/SiO_4/O/OH]$	Silizium=3; (wegen möglicher REE-Gehalte)	lineares Gleichungssystem; Lücken als Basis für die Berechnung des Allantitgehalts
Feldspäte $X[AlSi_3O_8]$	Kationenvalenzen=16	Molbruch von K, Na Ca und Ba.
Granat $X_3Y_2[ZO_4]_3$	Kationenvalenzen=24	lineares Gleichungssystem Summe der Komponenten ergibt $\approx 1.000$ als Kriterium für die Berechnung von $Fe^{3+}$
Kalifeldspathydrat $XAlSi_3O_8 \cdot H_2O$	Kationenvalenzen=16	keine Zerlegung
Phengite $X_2Y_{4-6}[Z_8O_{20}](F,Cl,OH)_4$	Kationenvalenzen=42; (doppelte Formeleinheit; K, Na, $\frac{1}{2}Ca$ und $\frac{1}{2}Ba$ bleiben bei der Normierung wegen evt. Meßfehler unberücksichtigt)	lineares Gleichungssystem $Fe^{3+}$ wurde nicht berechnet. $Na_2O$ und $K_2O$ wurden nach der Berechnung korrigiert.
Pyroxen $Y_2[Z_2O_6]$	Kationenvalenzen = 12	lineares Gleichungssystem Summe der Komponenten ergibt $\approx 1.000$ als Kriterium für die Berechnung von $Fe^{3+}$
Titanit $CaTi_{1-x}Al_x[SiO_5](OH,F)_x$	Silizium=1, (wegen möglicher REE-Gehalte)	lineares Gleichungssystem

## 7 Definition der Mineralkomponenten

Im Verlauf dieses Kapitels werden Mineral- bzw. Komponentenbezeichnungen und ihre Zusammensetzung für Phasen definiert, die in der Literatur zum Teil nicht gebräuchlich oder nicht hinreichend exakt definiert sind. Eine Übersicht aller verwendeten Endglieddefinitionen und Abkürzungen ist im Anhang I abgedruckt. Die Definitionen wurden in der Regel der Arbeit von Holland & Powell (1996) entnommen. Eigene Definitionen werden durch kursive Schrifttypen dargestellt. Wurden andere Quellen genutzt, werden die Autoren explizit nach der Definition angegeben.

### 7.1 Glimmer:

Aluminiumseladonit (AlCel)	$K_2Mg_2Al_2[Si_8O_{20}](OH,F)_4$ Rieder et al. (1998)
Ferro-Aluminiumseladonit (FeAlCel)	$K_2Fe^{2+}_2Al_2[Si_8O_{20}](OH,F)_4$ Rieder et al. (1998)
<i>Mono-dioktaedrischer Glimmer (MDO)</i>	$K_2Al_{3,333}[Si_8O_{20}](OH,F)_4$
<i>Di/Tri oktaedrischer Fe-Glimmer (FDT)</i>	$K_2Fe^{2+}_5[Si_8O_{20}](OH,F)_4$
Di/Tri oktaedrischer Mg-Glimmer (MDT)	$K_2Mg_5[Si_8O_{20}](OH,F)_4$ Seifert & Schreyer (1965)
<i>Ti-Muskovit (TiMs)</i>	$K_2Ti^{4+}_3[Al_2Si_6O_{20}](OH,F)_4$
Aspidolit (Asp)	$Na_2Mg_6[Al_2Si_6O_{20}](OH,F)_4$ Rieder et al. (1998)

### 7.2 Granat

Hydrogrossular (HGrS)	$Ca_3Al_2[SiO_4]_2(OH)_4$
Flourgrossular (FGrS)	$Ca_3Al_2[SiO_4]_2F_4$

Skiagit (Ski)	$\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$
Ti-Na-Granat (TNG)	$\text{Na}_2\text{CaTi}^{4+}_2[\text{SiO}_4]_3$ (Bishop et al., 1978)
P-Na-Granat (PNG)	$\text{Na}_3\text{Al}_2[\text{PO}_4]_3$ (Thompson, 1975)

### 7.3 Epidotphase

Epidot i.e.S. (Ep)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}[\text{O}/(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{11}]$
Klinozoisit (Czo)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}[\text{O}/(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{11}]$

Zur Definition des Endgliedes Allanit wurde die Substitution  $\text{REE}^{3+} + \text{Fe}^{2+} \Leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$  zur herangezogen.

Allanit (Aln)	$\text{Ca}(\text{REE})\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2[\text{O}/(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
---------------	---

### 7.4 Titanit

Titanit (Ttn)	$\text{CaTi}[\text{O}/\text{SiO}_4]$
Al-Titanit (AlTtn)	$\text{CaAl}[(\text{OH},\text{F})/\text{SiO}_4]$

### 7.5 Kalifeldspathydrat

Kalifeldspathydrat (Khy)	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\cdot\text{H}_2\text{O}$
--------------------------	--

### 7.6 Pyroxene

Ca-Tschermaks-Pyroxen	$\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$
Eskola-Pyroxen	$\text{Ca}_{0,5}\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Die folgenden Komponenten werden für eine einfache Komponentendarstellung der Klinopyroxene dieser Arbeit benötigt, da die Verwendung der gebräuchlichen Komponenten wie Hedenbergit, Diopsid, Eskola-Pyroxen und Ca-Tschermaks-Pyroxen zu Problemen bei den

Berechnungen führte. Im kristallchemischen Sinne sind diese Basiskomponenten aber keine realen Endglieder.

Ca-Pyroxen-Basis (Wollastonit)  $\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ,  
 Morimoto (1989)  
*Hedenbergit* =  
 $\frac{1}{2}\text{Ca-Pyroxen-Basis} + \frac{1}{2}\text{Ferrosilit}$   
*Diopsid* =  
 $\frac{1}{2}\text{Ca-Pyroxen-Basis} + \frac{1}{2}\text{Enstatit}$

*Tschermaks-Basis*  $\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{O}_6]$   
*Ca-Tschermaks-Pyroxen* =  
 $\frac{1}{2}\text{Tschermaks-Basis} + \frac{1}{2}\text{Ca-Pyroxen-Basis}$

*Eskola-Basis*  $\text{Al}_{1,33}[\text{Si}_2\text{O}_6]$   
 $4 \text{ Eskola-Pyroxen} =$   
 $3 \text{ Eskola-Basis} + \text{Ca-Pyroxen-Basis}$



## 8 Ausgewählte Aspekte der Petrologie der Biotit-Phengit-Gneise

Um Daten des Biotit-Phengit-Gneises zu erhalten, die denen der Analysen der Versuchsprodukte vergleichbar sind, wurde der Schliff 17685 (Schertl, 1992) nochmals bearbeitet. Dabei wurden die gleichen Einstellungen an der Elektronenstrahlmikrosonde verwendet wie bei der Analyse der Versuchsprodukte. Schwerpunkt war dabei die Charakterisierung der Phengite.

### 8.1 Neu gefundene Phasen in Schliff 17685

Neben den von Schertl (1992) beschriebenen Phasen (Quarz, Kalifeldspat, Albit, Biotit, Phengit, Granat, Epidot/Allanit., Chlorit, Apatit, Titanit, Turmalin, Zirkon und Rutil) wurden bei der erneuten Bearbeitung jadeithaltiger Pyroxen und ferropargasitischer Amphibol gefunden. Der jadeithaltige Klinopyroxen (Analysen im Anhang 1054+1055) ist gemeinsam mit Granat (Analysen 1306-1307), Phengit (Analysen 354-357) und einer SiO<sub>2</sub> Phase in einem Zirkon eingeschlossen (Abb. 8.1).

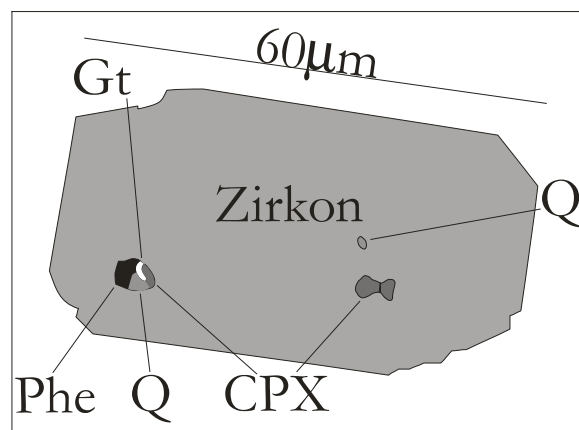


Abb. 8.1 Skizze der beobachteten Einschlüsse von Klinopyroxen, Granat, Phengit und SiO<sub>2</sub> in einem Zirkon des Dünnschliffs 17685 / I. Abkürzungen: Phe: Phengit, Gt: Granat, CPX: Klinopyroxen, Q: SiO<sub>2</sub>.

## 8.2 Eigenschaften der Klinopyroxene

Klinopyroxen (Jadeit 60-62 Mol%, Diopsid 8-9 Mol%, Hedenbergit 21-22 Mol%, Anhang 1054+1055) wurde in zwei Einschlüssen in einem Zirkon des Schliffes 17685 gefunden (Abb. 8.1). Aufgrund der Korngröße war die Bearbeitung der Einschlüsse mit mikroskopischen Methoden nicht möglich. Auf BSE-Bildern konnten aber die einzelnen Phasen in den Einschlüssen unterschieden werden. Die chemische Zusammensetzung konnte durch die Verwendung eines niedrigen Strahlstroms bei der Elektronenstrahlmikrosondenanalytik bestimmt werden.

## 8.3 Eigenschaften des Amphibols

Hypidiomorpher Amphibol (Ferropargasit 51-63 Mol%, Ferrohornblende 24-12 Mol%, Magnesiohornblende 5-2 Mol%, Pargasit 8-12 Mol%; Analysen 1056-1058) wurde als Einschluß in einem Albit gefunden. Der Amphibol koexistiert dort mit Biotit und Quarz.

## 8.4 Eigenschaften der grobkörnigen Phengite

Die grobkörnigen Phengite zeigen hypidiomorphe Kornformen. Unregelmäßige Auslöschung deutet daraufhin, daß nach dem Wachstum der Phengite das Gestein eine Deformation erlebt hat. Es treten oft Einschlüsse von Titanit, Apatit, Zirkon und Epidot mit und ohne Allanitkomponente auf, wobei der Epidotsaum um den Allanitkern im Phengit meist nur sehr schmal ausgebildet ist. Die chemische Zusammensetzung der grobkörnigen Phengite in den Randbereichen entspricht der Zusammensetzung der feinkörnigen Phengite (Schertl, 1992). Bei einigen grobkörnigen Phengiten wird in den Elementverteilungsbildern ein scharf begrenzter Kernbereich sichtbar (Abb. 8.2). Zum Kern hin steigt der Silizium und Eisengehalt der grobkörnigen Phengite an (Abb. 8.3), während die feinkörnigen Phengite nur

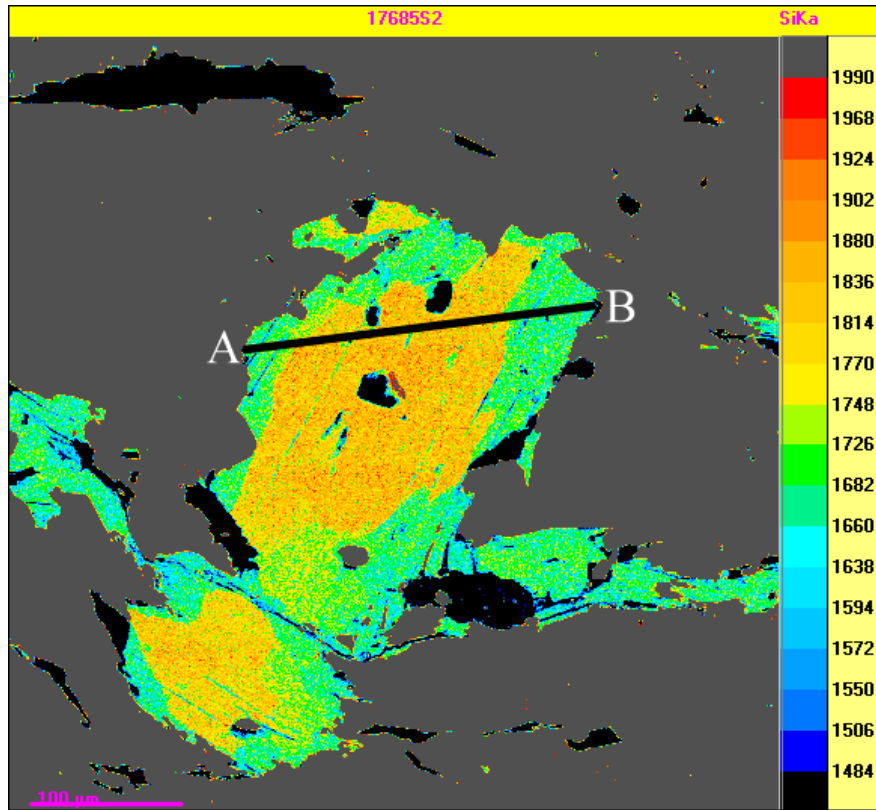
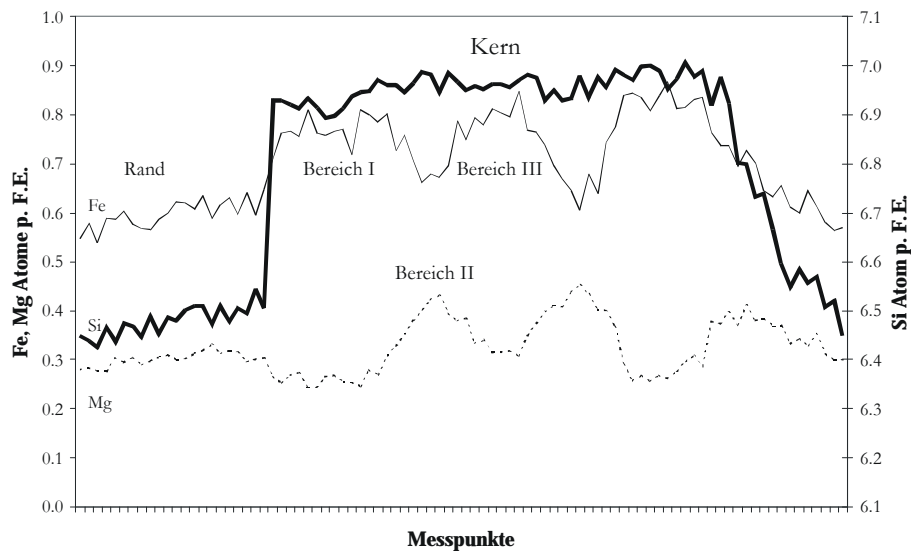


Abb. 8.2 Elementverteilungsbilder eines grobkörnigen Phengits mit scharf abgegrenztem Kern. Das Bild wurde aus den Zählraten für das Element Silizium errechnet. Die Linie A-B markiert den Verlauf des Scans in Abb. 8.3.



B

A

Abb. 8.3 “Großer” Phengit aus dem Dünnschliff 17685 / I mit einseitig erhaltener scharfer Si-Zonierung (Seite B in 8.2). Die Fe- und Mg-Zonierungen unterteilen den Kern in drei weitere Bereiche. Analysen 220-307

sehr geringfügig zониert sind. Der Kernbereich wird durch einen Ring mit maximalem Magnesiumgehalt in drei Bereiche geteilt (Abb. 8.3). Die Grenze in Abbildung 8.2 trennt zwei unterschiedliche Reihen von Phengit-zusammensetzungen; dies wird insbesondere deutlich, wenn man die Zusammensetzungen in einem Dreiecksdiagramm darstellt (Abb. 8.4). Die Trends der Zusammensetzung von Kern und Rand zeigen keine direkte Beziehung zu einander (Abb. 8.4). Die Kern- und Randanalysen bilden somit jeweils eine unabhängige Gruppe.

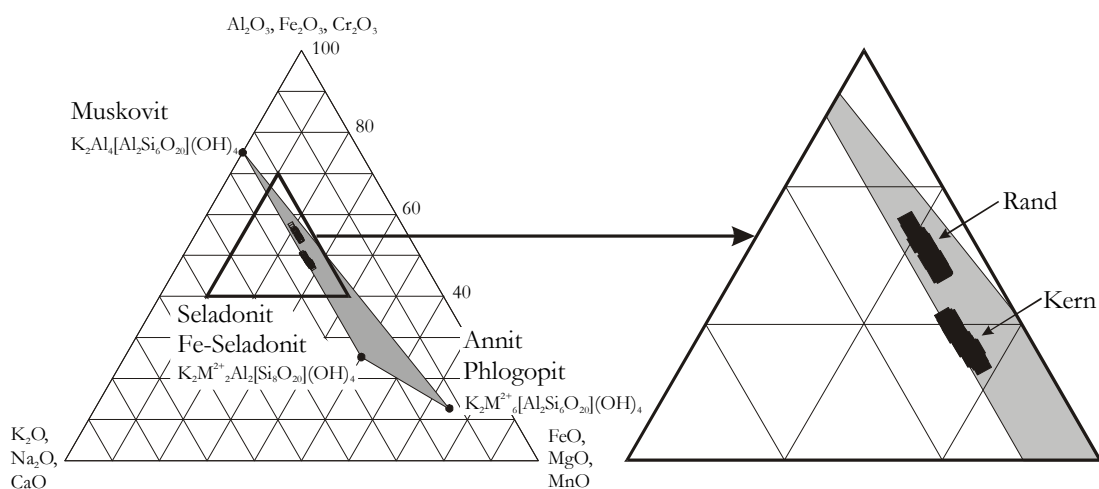


Abb. 8.4 Chemische Zusammensetzung eines scharf zonierten Phengits aus der Probe 17685 (vergleiche auch Abb. 8.2 u. Abb. 8.3). Projektion von  $\text{SiO}_2$ , und  $\text{H}_2\text{O}$ .

### 8.5 Granattypen in den Biotit-Phengit-Gneisen

Die Granate treten sowohl xenomorph als auch idiomorph auf. Die xenomorphen, schwach zonierten Granate enthalten 35-49 Mol% Grossular, 36-41 Mol% Almandin, 4-9 Mol% Andradit und 4-7 Mol% Spessartin. Granate, die nicht in anderen Phasen eingeschlossen sind, besitzen meist einen Saum aus Biotit, Phengit, Titanit und  $\pm$  Epidot. Idiomorphe Titanite werden häufig im und am äußeren Rand der xenomorphen Granate beobachtet. Die idiomorphen Granate (Grossular 47-49 Mol%, Almandin 32-48 Mol%, Andradit 5-8 Mol%, Spessartin 7-10 Mol%; Analysen 1263-1307)

können als Einschluß in Kalifeldspat und Albit auftreten. Diese eingeschlossenen Granate weisen auf Rissen oft Chlorit als Abbauprodukt auf. In einem Zirkon wurde Almandin-reicher Granat (Grossular 32-35 Mol%, Almandin 53-55 Mol%, Spessartin bis 2 Mol%, Pyrop 8-9 Mol%; Analysen 354-357) in Paragenese mit Klinopyroxen, Phengit und einer SiO<sub>2</sub>-Phase beobachtet (Abb. 8.1). Grossularreicher Granat (Grossular ~80 Mol%) ist von Chopin et al. (1991) als Einschluß in Epidot und von Schertl et al. (1991) in Plagioklas beschrieben worden.

### 8.6 Minerale der Epidotgruppe

Die Zusammensetzung von Kern und Rand der Epidotphasen unterscheidet sich erheblich. Während es sich bei den Rändern um Klinozoisit bis Epidot (Klinozoisit 43-54 Mol%, Epidot 44-54 Mol%; vgl. S. 32; Analysen 880-891) handelt, bestehen die Kerne aus einer allanitführenden Epidotphase<sup>1</sup> (Klinozoisit 4-24 Mol%, Epidot 33-41 Mol%, Allanit 37-53 Mol%; vgl. S. 32; Analysen 892-895). Besonders auffällig ist dabei, daß die Auslöschung des

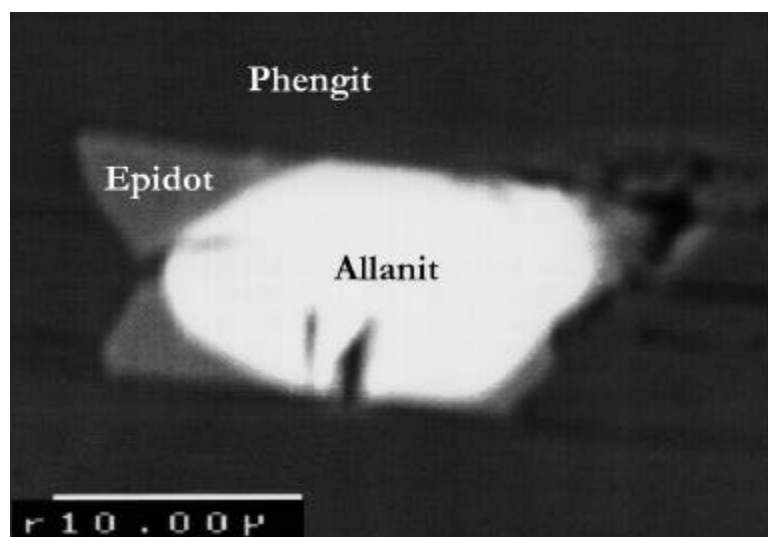


Abb. 8.5 BSE-Bild eines Allanits mit kleinen Bereichen von aufwachsendem Epidot als Einschluß in einem großem Phengit.

<sup>1</sup> im weiteren Verlauf als Allanit bezeichnet

allanitreichen Kerns von der des Randes extrem abweicht und zwischen Kern und Rand eine scharfe Grenze existiert. Die mit Epidotsäumen umgebenen Kristalle zeigen überwiegend eine idiomorphe Kornform. Die Kerne hingegen sind alle gerundet. Im Phengit treten Einschlüsse von Allanit mit sehr kleinen Körnern von aufgewachsenem Epidot auf (Abb. 8.5).

## 9 Experimentelle Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 238 Versuche erfolgreich durchgeführt. 223 von diesen Versuchen bilden 4 Versuchsgruppen zu je 55 bzw. 58 Experimenten mit absoluten H<sub>2</sub>O-Gehalten von 1.9 Gew.%, 3.8 Gew.%, 5.6 Gew.% und 9.9 Gew.% (Versuchsreihen I-IV, Abb. 9.1). Diese Experimente fanden bei Temperaturen von 675°C bis 900°C und Drücken von 15 kbar bis 45 kbar statt. Die Versuchsreihe III mit 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt wurde durch 3 Hochtemperaturexperimente bei 1000°C / 25 kbar, 1000 °C / 35 kbar und 1000°C / 40 kbar ergänzt.

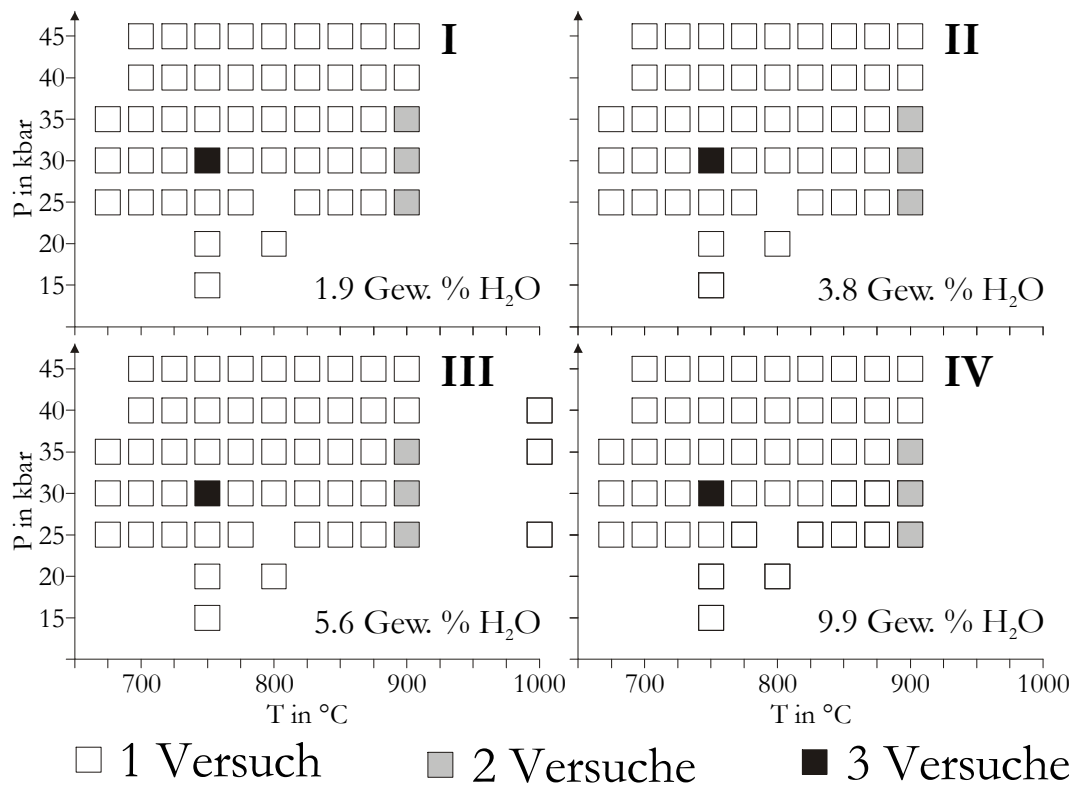


Abb. 9.1 Druck-Temperatur-Bedingungen der Versuchsreihen I-IV.

Um die Möglichkeit der Bildung von metastabilen Phasen beurteilen zu können, wurden 2 Umkehrexperimente bei 30 kbar / 750 °C / 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O und 35kbar / 750°C / 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O durchgeführt (Versuchsreihe V). Bei diesen beiden Experimenten wurde das Material zuerst bei 1050 °C

und 25 kbar 24 Stunden lang weitgehend aufgeschmolzen, und dann 6 Tage lang bei den angegebenen Versuchsbedingungen getempert.

Zum Studium der Phasen bei niedrigen Temperaturen wurden 9 Experimente mit H<sub>2</sub>O-Gehalten von 17.4 Gew.% bis 23.8 Gew.% bei Drücken von 20-40 kbar und Temperaturen von 600-650 °C durchgeführt (Versuchsreihe VI).

Zwei Experimente mit „Large Volume“-Kapseln bei 25 kbar, 750 °C, ca. 5 Gew.% H<sub>2</sub>O und 35 kbar, 900 °C, ca. 6 Gew.% H<sub>2</sub>O dienen zur Untersuchung der Homogenität der Schmelzen, zur räumlichen Verteilung der Produktphasen und zur Herstellung von Dünnschliffen (Versuchsreihe VII).

Die Versuche wurden als „cold piston out“-Versuche durchgeführt, wobei der angestrebte Druck vor dem Einschalten des Heizstroms um 5 kbar überschritten wurde. Die Versuchsdauer bei den Versuchsreihen I-VII betrug mindestens 7 Tage, die genauen Versuchsbedingungen sind in den Tabellen II.1 bis II.4 im Anhang angegeben.

Die Versuchsprodukte der Multi-Anvil-Versuche bei 80 kbar, 900°C, 4 Gew.% H<sub>2</sub>O und 100 kbar, 800°C, 4 Gew.% H<sub>2</sub>O zeigen einen heterogenen Phasenbestand. Dieser geht zurück auf die kurzen Versuchszeiten (16-24h), die in Multi-Anvil-Pressen zur Verfügung stehen. Beim 100 kbar Versuch besteht außerdem der Verdacht, daß Magnesium aus dem Druckmedium die Probe kontaminiert hat. Aus diesem Grund werden nur zwei zuverlässig gemessene und neugebildete Phasen im Kap. 9.3 für kristallchemische Vergleiche beschrieben.

Im folgenden Kapitel 9.1 werden die in den Versuchen mit der Elektronenmikroskopie zu beobachtenden Gefüge und Vorgänge beschrieben. Im Kapitel 9.2 ist der Phasenbestand aller Versuchsprodukte in



Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt auf der Basis aller Untersuchungsmethoden dargestellt. Die Chemie der Produktphasen wird in Kapitel 9.3 behandelt. Kapitel 9.4 faßt die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Alle in dieser Arbeit verwendeten Abkürzungen befinden sich auf einem Faltblatt am Ende der Arbeit.

## 9.1 Elektronenmikroskopie und optische Mikroskopie

Das Gefüge der meisten Versuchsprodukte wird, wie Abbildung 9.1 zeigt, aus Kristallen von Phengit, Klinopyroxen, Quarz oder Coesit zusammen mit den Abschreckungsprodukten (Quenchprodukt) der Fluidphase gebildet. Bei niedrig temperierten Versuchen kommen Kalifeldspat (Abb. 9.2) und Kalifeldspathydrat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , Abb. 9.3) als weitere wichtige Phasen hinzu, während die Menge der Fluidphase zurückgeht. Niedrige H<sub>2</sub>O-Gehalte begünstigen das Auftreten von Kalifeldspat auch bei höheren Temperaturen. Erhöhte Temperaturen begünstigen unterhalb von 40 kbar das Wachstum von Granat unter Abnahme von Phengit und Klinopyroxen (Abb. 9.4). Grundsätzlich bilden sich bei höheren Temperaturen und H<sub>2</sub>O-Gehalten von allen Phasen häufiger idiomorphe bzw. hypidiomorphe Körner. Versuche mit niedrigen H<sub>2</sub>O-Gehalten zeigen dagegen überwiegend unregelmäßige Kornformen. Über diese allgemeinen Aussagen hinaus lassen sich im Detail die im Folgenden zusammengestellten Beobachtungen machen.

### 9.1.1 *Quarz, Coesit, Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat*

Coesit tritt meist hypidiomorph oder idiomorph auf, während Quarz gerundete Kornformen zeigt. Gerundete Körner sind auch typisch für das Auftreten von Kalifeldspat (Abb. 9.2 u. 9.4) und Kalifeldspathydrat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , Abb. 9.3). Eine Ausnahme bilden hier Versuche unterhalb von 30 kbar, in denen idiomorphe Feldspäte zu beobachten sind.

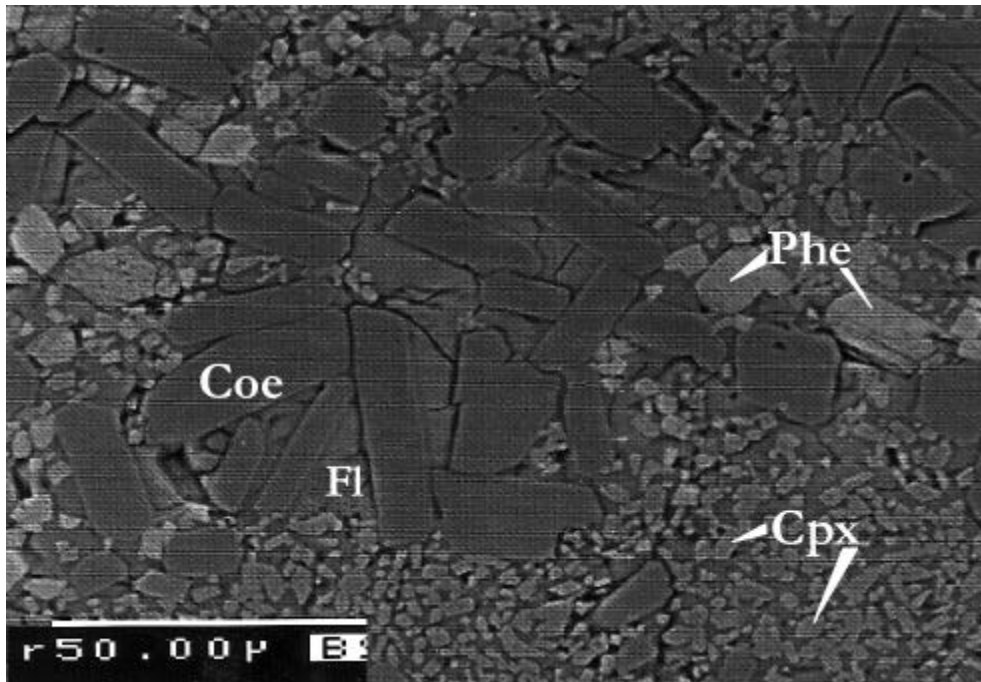


Abb. 9.1 BSE-Bild: Gefüge aus Fluidphase, Coesit, Phengit und Klinopyroxen (40kbar, 1000°C, 5.6% Gew.% H<sub>2</sub>O).

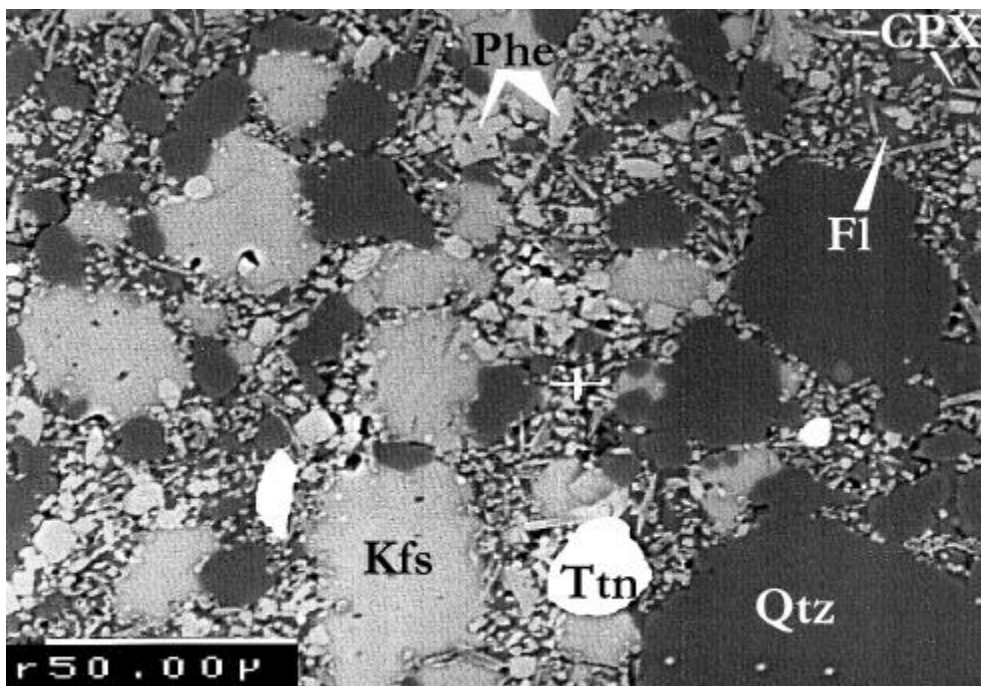


Abb. 9.2 BSE-Bild: Gefüge aus korodiertem Kalifeldspat, gerundetem Quarz, Phengit, Klinopyroxen, Titanit und Fluidphase. (30 kbar, 825°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O).

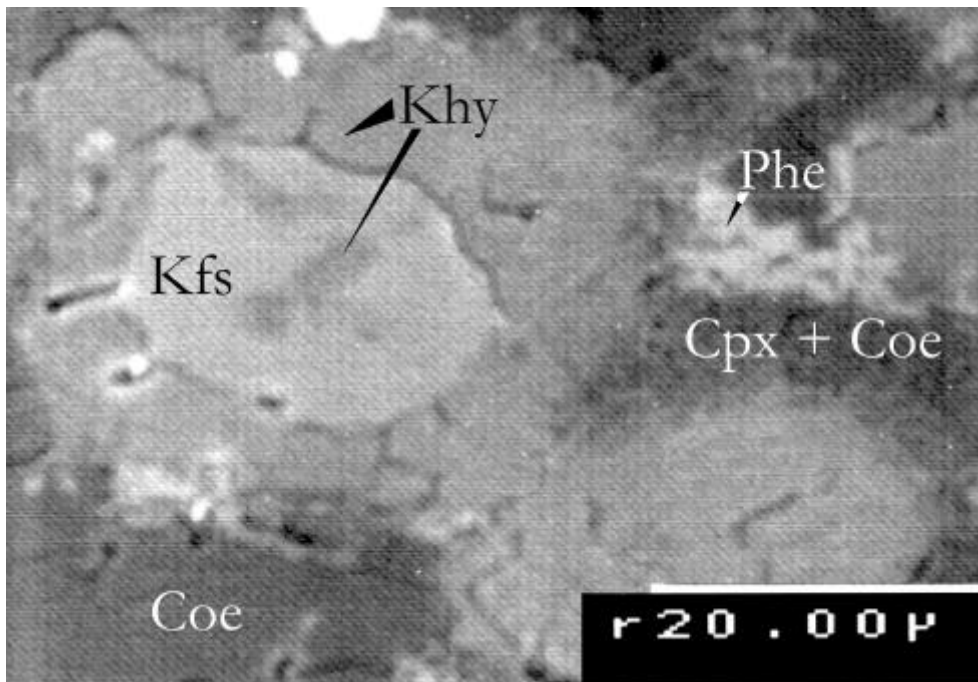


Abb. 9.3 BSE-Bild: Gefüge aus Kalifeldspat umgeben von Kalifeldspathydrat, Coesit, Phengit, Klinopyroxen. Bei höherer Vergrößerung wäre zwischen den kristallinen Phasen auch das Quenchprodukt eines Fluids sichtbar. (45 kbar, 800°C, 1.8 Gew.% H<sub>2</sub>O).

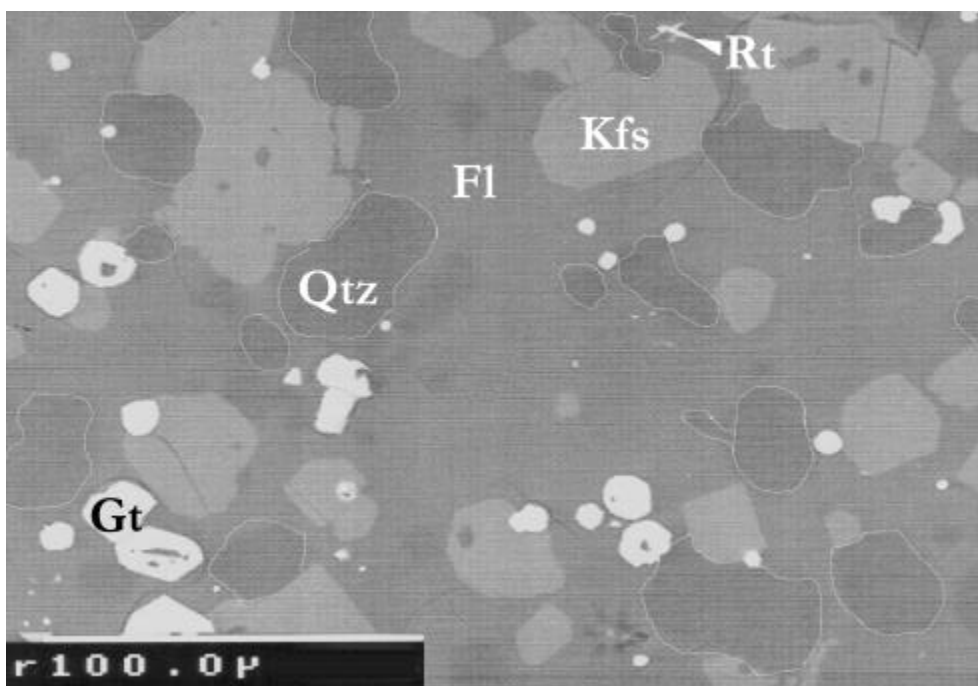


Abb. 9.4 BSE-Bild: Gefüge aus Kalifeldspat, gerundetem Quarz, Granat und Fluidphase. (25 kbar, 900°C, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O). Die Phasengrenzen von Quarz wurden zur Verdeutlichung hervorgehoben.

Idiomorphe, pseudohexagonale Kalifeldspathydrat-Kristalle konnten nur in Versuchen mit sehr hohem  $\text{H}_2\text{O}$ -Zusatz ( $>15$  Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$ ) beobachtet werden. Ist wenig  $\text{H}_2\text{O}$  im Ausgangsmaterial vorhanden, kann es zur Bildung von Reaktionssäumen aus Kalifeldspathydrat um Kalifeldspat kommen (Abb. 9.3). Quarz bzw. Coesit und Kalifeldspat bilden meist die größten Körner (bis zu  $200 \mu\text{m}$ ) und prägen somit das Gefüge der Versuchsprodukte. Quarz-Coesit Umwandlungsgefüge oder auch nur die Koexistenz von Quarz und Coesit konnten nicht beobachtet werden.

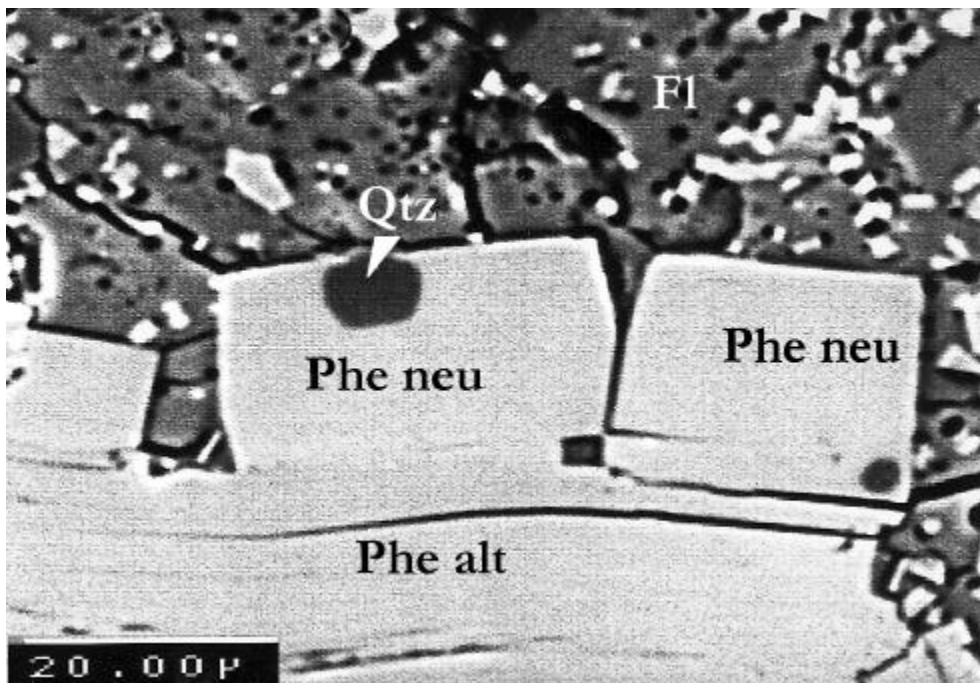


Abb. 9.5 BSE-Bild: Neugebildeter Phengit wächst auf einem Phengit des Ausgangsmaterials auf. (30 kbar,  $750^\circ\text{C}$ , 9.9 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$ ).

### 9.1.2 Phengit

Gegenüber Quarz, Coesit, Kalifeldspathydrat und Kalifeldspat sind die Phengite (bis  $30 \mu\text{m}$ ) und Klinopyroxen (bis  $5 \mu\text{m}$ ) meist feinkörniger (Abb. 9.1 und Abb. 9.2), insbesondere bei niedrigen Temperaturen und  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalten. Sie bilden zusammen mit dem abgeschreckten Fluid die Matrix der Versuchsprodukte. Phengite sind immer idiomorph und treten

oft in größeren Ansammlungen auf. In einigen Fällen konnten noch Reste von primären Phengiten des Ausgangsmaterials gefunden werden, auf deren Rändern eine neue Phengitgeneration aufwächst (Abb. 9.5). Außer in einem Fall (30 kbar, 900 °C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O) konnte bei den Phengiten keine Zonierung beobachtet werden. In Versuchen bei niedrigen Temperaturen bilden sich Reaktionssäume von eisenreichem Granat und Phengit (Phe II in Abb. 9.7) um ehemaligen Biotit. Im Inneren der ehemaligen Biotit selbst bilden sich extrem eisenreiche Phengite (Phe I in Abb. 9.7).

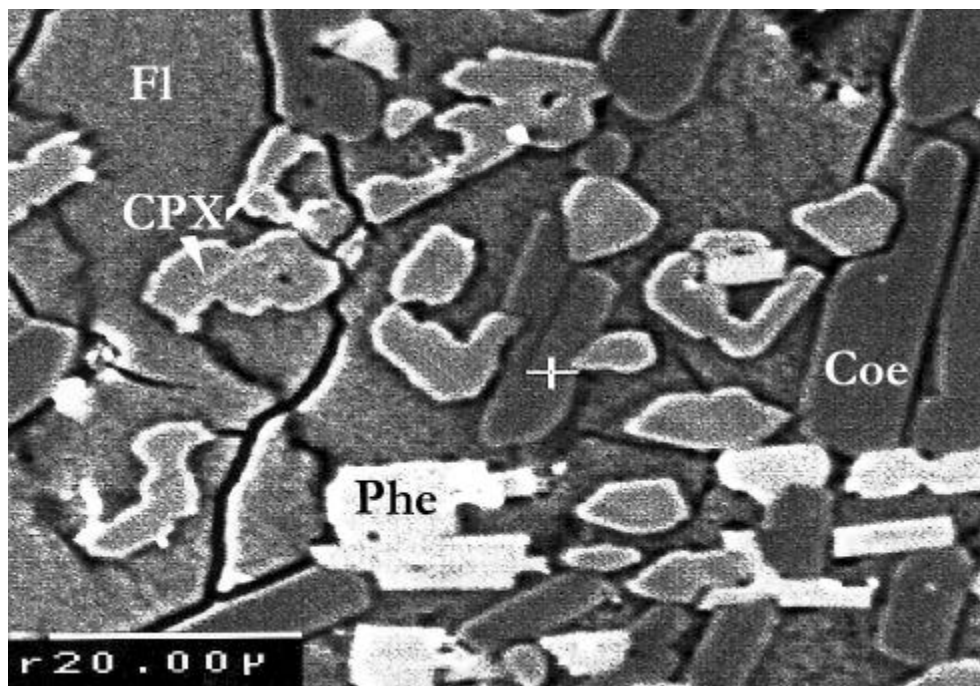


Abb. 9.6 BSE-Bild: Gefüge aus Coesit, Phengit, Klinopyroxen und Fluidphase. Die Klinopyroxene zeigen zum Teil ein skelettäres Wachstum (35kbar, 750°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O, Umkehrversuch).

### 9.1.3 Klinopyroxen

Klinopyroxene bilden meist die kleinste Korngrößenfraktion. Sie erreichen selten Kornquerschnitte von über 3 μm. Die BSE-Bilder zeigen in einigen Fällen eine Zonierung der meist idiomorphen / hypidiomorphen Kristalle. Vereinzelt weisen größere Körner ein skelettäres Wachstum auf (Abb. 9.6).

In Versuchen mit geringem H<sub>2</sub>O-Anteil wird die Bildung von Klinopyroxenen in Kalifeldspäten beobachtet.

#### 9.1.4 Granat

Die Granate sind meist idiomorph und bei hohen Temperaturen fast immer deutlich zoniert. Der Kern von neugebildeten Granaten wird oft von SiO<sub>2</sub>-Körnern gebildet. Bei niedrigen Temperaturen treten nur sehr kleine, jedoch homogen zusammengesetzte Granate auf. Diese kleinen Granate sind oft, gemeinsam mit Phengiten, Teil eines Reaktionssaums um ehemalige Biotite. Die Reaktionssäume bilden sich auch bei höheren Temperaturen, wobei jedoch die Korngrößen zu und der Anteil an Phengit abnimmt (Abb. 9.7).

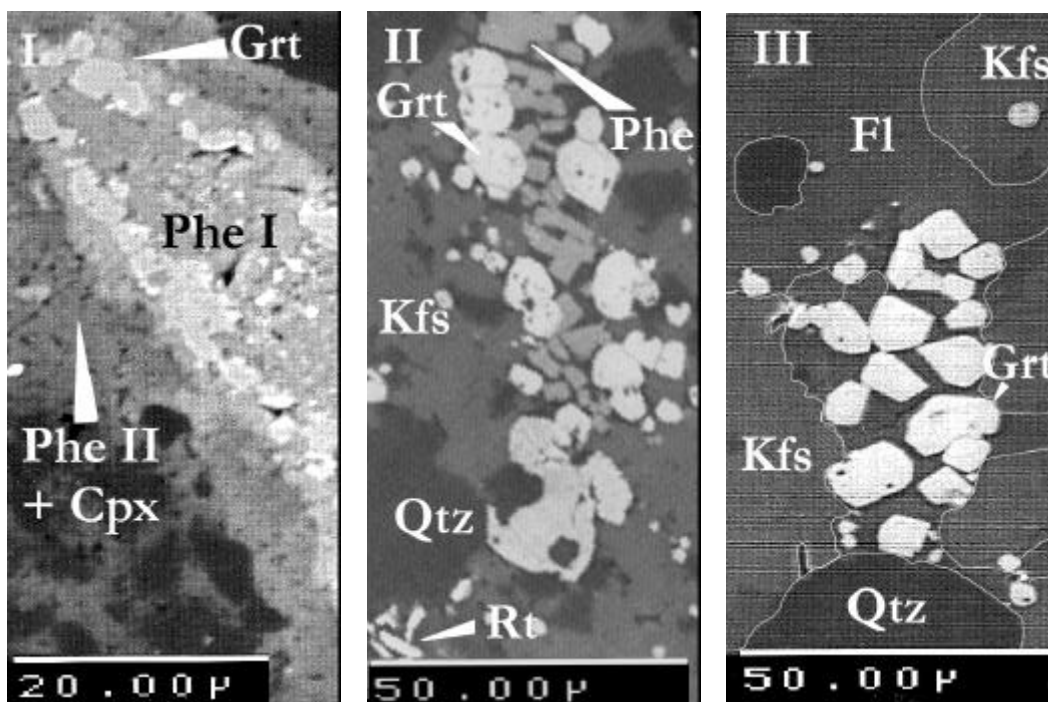


Abb. 9.7 BSE-Bilder: Abbauefuge von Biotit: In Abhängigkeit von Temperatur, Druck und H<sub>2</sub>O-Gehalt bestehen diese aus Granat, Phengit, Klinopyroxen und Fluidphase. Bild I: 35 kbar, 725°C, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O; Bild II: 20 kbar, 750°C, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O; Bild III: 20 kbar, 800°C, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. (Einige Korngrenzen wurden zur Verdeutlichung hervorgehoben.)

Bei Drücken von 40 und 45 kbar und Temperaturen um 700-725°C wurden zwei unterschiedlich zusammengesetzte und orientiert verwachsene Granate

gefunden. Bei verschiedenen Versuchen, deren Produkte solche Granate enthielten, sind auf BSE-Bildern immer deutliche Korngrenzen zwischen den beiden Granattypen zu erkennen (Abb. 9.8)

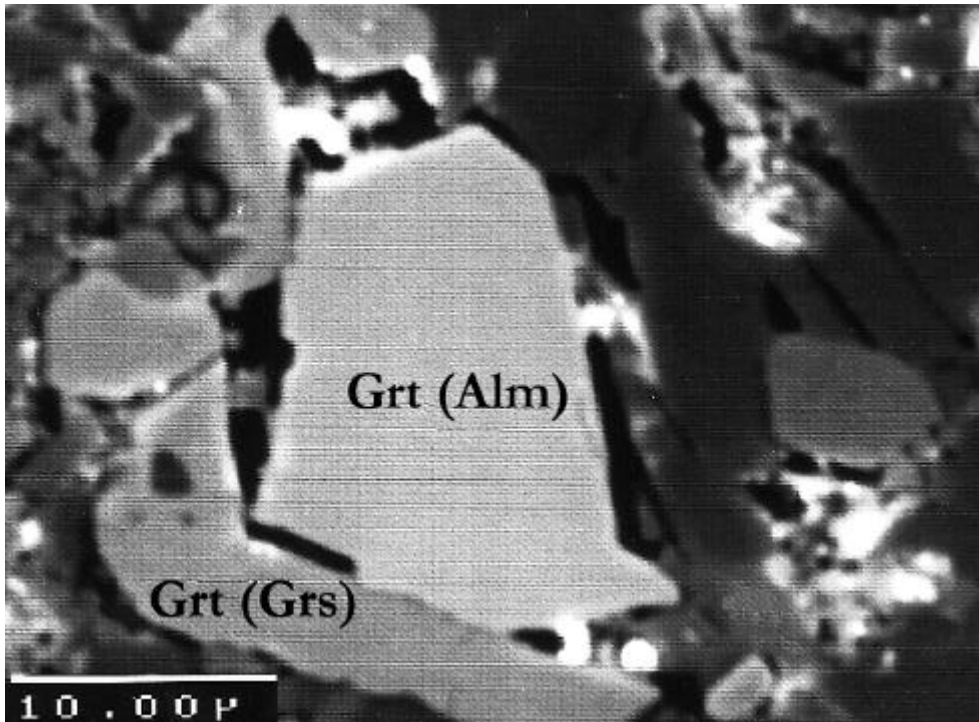


Abb. 9.8 BSE-Bild: Verwachsung von grossularreichem Granat (Grt (Grs)) und almandinreichem Granat (Grt (Alm)), zur Zusammensetzung siehe auch Kap 9.3.1.6). Dieses Bild ist typisch für Versuche bei 35-45kbar 675-725°C.

### 9.1.5 Fluidphase

Die Quenchprodukte der Fluidphase sind aufgrund ihrer geringen Menge bei niedrig temperierten Versuchen mit geringem H<sub>2</sub>O-Gehalt im BSE-Bild oft nur schwer sichtbar (Abb. 9.2). Hinzu kommt, daß die Quenchprodukte im BSE-Bild einen ähnlichen Kontrast wie SiO<sub>2</sub> haben können, was ihre Identifikation erschwert. Bei niedrig temperierten Versuchen mit hohem H<sub>2</sub>O-Gehalt treten oft Blasen in den Quenchprodukten der Fluidphase auf. Die Häufigkeit dieser Blasen und ihre Größe nehmen mit steigender Temperatur und steigendem Druck ab. Ansammlungen einer Fluidphase



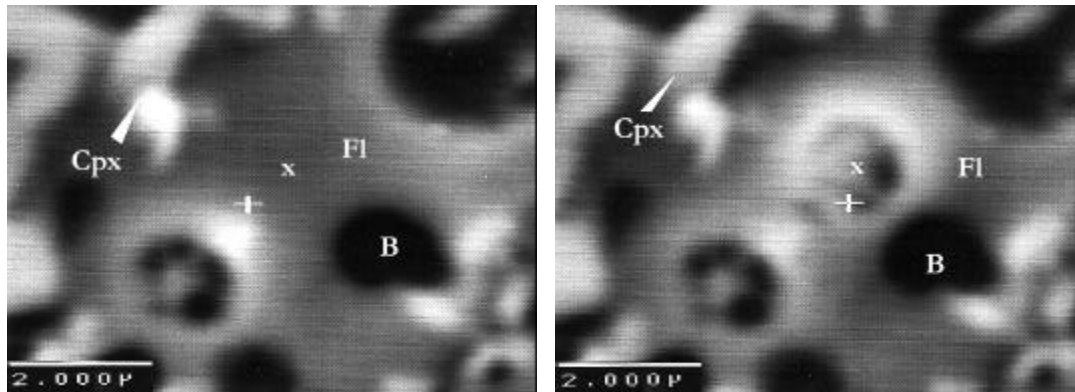


Abb. 9.9 BSE-Bilder: Quenchprodukt der Fluidphase mit Blasen (B) und kleinen Klinopyroxenen. **Links:** Gefüge vor der Analyse. **Rechts:** Nach der Analyse. Eine starke Schädigung des Glases durch den Elektronenstrahl ist deutlich sichtbar. Cpx = Klinopyroxen, Fl = Fluidphase, B = Blasen, x = Analysepunkt

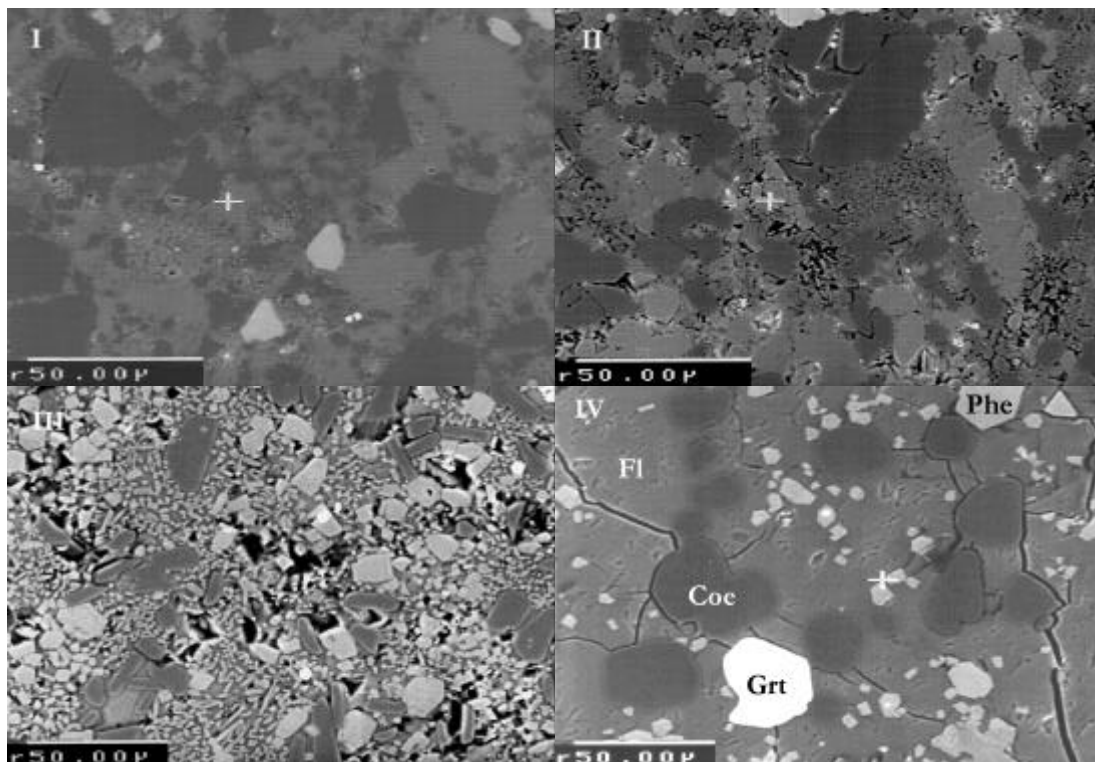


Abb. 9.10 BSE-Bilder: Typische Fluidgefüge in den Versuchsprodukten. Die Bilder I und II gehören zum Gefügetyp A (kaum sichtbare Fluidphase), das Bild III entspricht dem Gefügetyp B (Fluidphase mit kleinen Kristallen), das Bild IV gehört zum Typ C (Fluidphase mit keinen oder wenigen kleinen Kristallen). Für Detailvergrößerungen von Typ A und B siehe Abbildung 9.11.



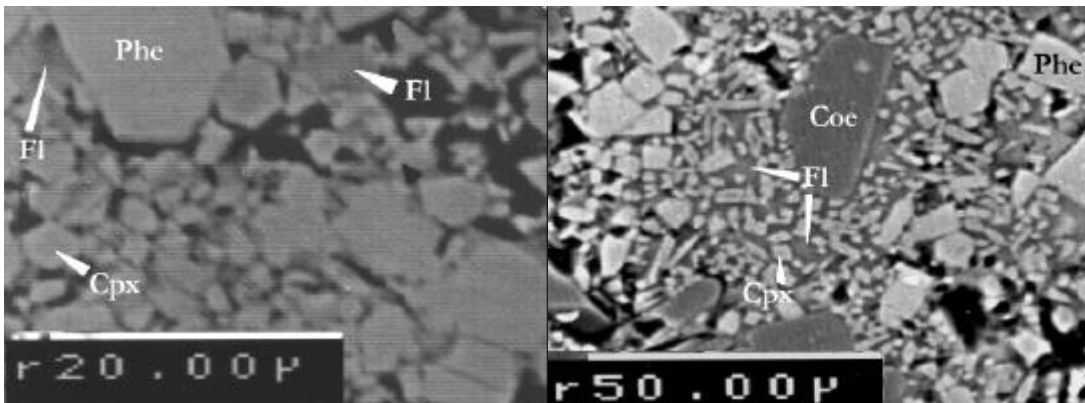


Abb. 9.11 BSE-Bilder :Vergrößerungen der Gefüge Typ-A (links) und Typ B (rechts). Die Quenchprodukte der Fluidphase sind jeweils mit L gekennzeichnet.

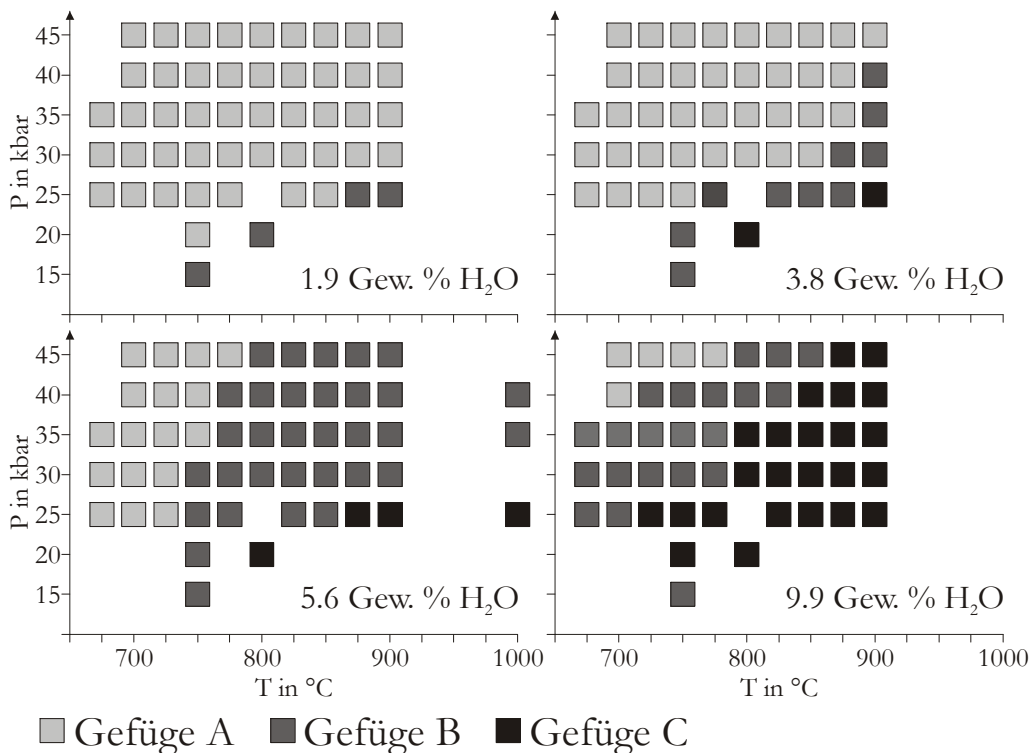


Abb. 9.12 Quench-Gefüge der Fluidphase in den Versuchsergebnissen in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt. (Gefüge A, B, C siehe Text).

begünstigen immer das idiomorphe Neuwachstum von kristallinen Phasen. Bei der Analyse der Quenchprodukte kommt es zu erheblichen Schäden durch den Elektronenstrahl (Abb. 9.9). Aus solchen Schädigungen resultieren zum Teil beträchtliche Schwankungen bei den EMS-Analysen.

Auf der Basis der elektronenmikroskopischen Beobachtungen lassen sich die durch die Quenchprodukte gebildeten Gefüge in drei Typen unterteilen:

- Gefüge A: Die Quenchprodukte der Fluidphase bilden lokal isolierte, wenige  $\mu\text{m}$  große Körper bzw. dünne Filme zwischen den kristallinen Phasen (Abb. 9.10 I und II, Abb. 9.11 links).
- Gefüge B: Die Quenchprodukte der Fluidphase bilden ein großes, zusammenhängendes Netzwerk zwischen den größeren Kristallen mit einer großen Zahl an wenigen  $\mu\text{m}$ -kleinen, während des Versuchs gebildeten Einsprenglingen (Abb. 9.10 III, Abb. 9.11 rechts).
- Gefüge C: Die Fluidphase bildet eine zusammenhängende Matrix mit relativ großem Volumen, in der größere Kristalle liegen. Es gibt im Vergleich zu Typ B keine oder nur sehr wenige kleinere Kristalle in der Schmelze (Abb. 9.10 IV).

Mit der Hilfe dieser Klassifikation läßt sich die Menge der gebildeten Fluidphase in Abhängigkeit von Druck und Temperatur darstellen (Abb. 9.12). Mit Erhöhung des Drucks und sinkender Temperatur wird die Menge der Fluidphase verringert. Der gleiche Effekt tritt bei Verringerung des  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehaltes auf.

In Versuchen mit  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalten  $> 15\%$  wurden stark zerrissene Gefüge gefunden (Abb. 9.13). Offensichtlich wurde das ehemalige Gefüge aus Fluidphase und Kristallen, durch die Entmischung einer Gasphase aus der

Fluidphase beim Abschrecken und der anschließenden Dekompression des Versuchs zerstört. Eine Zerstörung des Gefüges bei der Präparation ist unwahrscheinlich, da die Kapsel mit den Versuchsprodukten vor dem Schliff mit Harz getränkt wurde. In solchen H<sub>2</sub>O-reichen Versuchen beobachtet man Kristalle mit extremen Korngrößen bis zu 400 µm, die bei diesen Vorgängen zumindest teilweise zerrissen werden (Abb. 9.13).

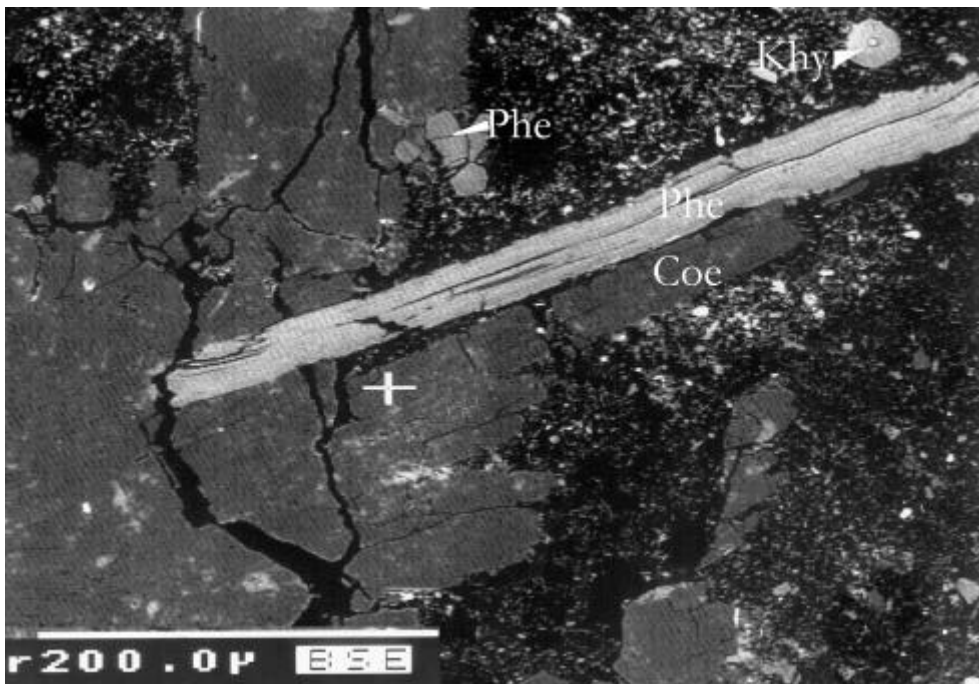


Abb. 9.13 BSE-Bild: Phengitkristall mit einer Länge von über 400 µm in einem zerrissenen Gefüge. Versuchsprodukte eines Experiments bei 30kbar, 600°C und 17.5 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt.

### 9.1.6 Titanit und Rutil

Titanit zeigt nur bei Versuchen oberhalb von 750 °C idiomorphe bzw. hypidiomorphe Kornformen. Die Kerne der Titanite werden meist von erhaltenen Bruchstücken des Ausgangsmaterials gebildet. Bei niedrigen Temperaturen zeigen die Titanite oft deutliche, jedoch unregelmäßige Anwachsäume von neu gebildetem Titanit um diese Kerne herum.

Bei Bedingungen von 15kbar und 750°C konnte um den Titanit ein Reaktionssaum von Rutil, Biotit und Fluidphase beobachtet werden (Abb. 9.14, links). Bei Temperaturen von 750-900°C und Drücken von 15-25kbar

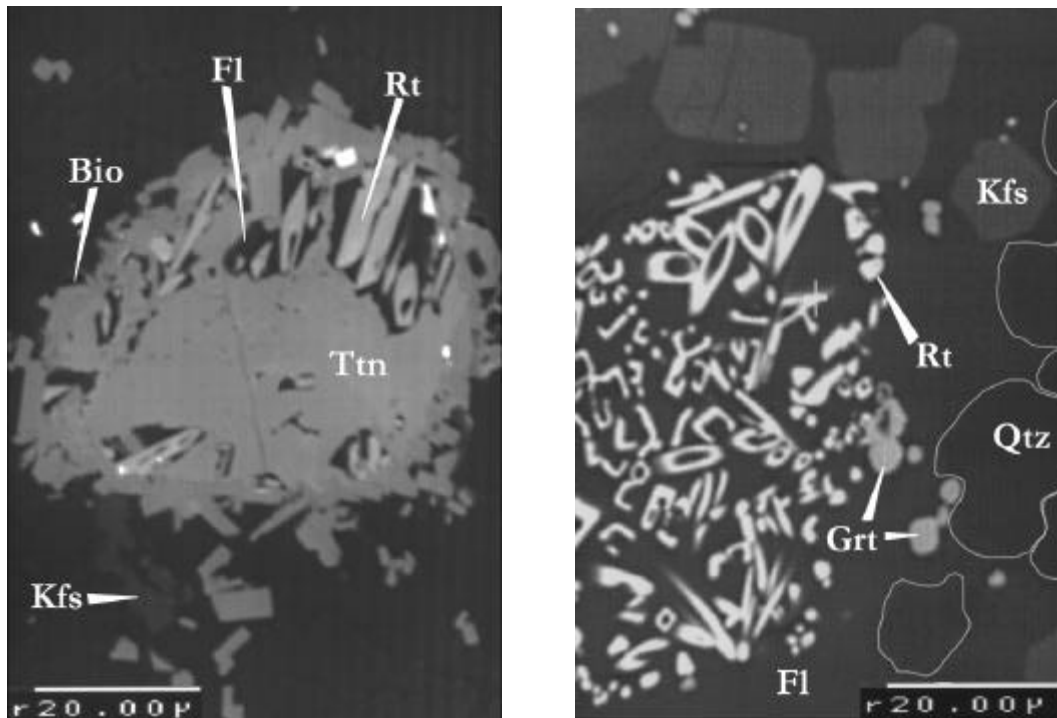


Abb. 9.14 BSE-Bilder: **Links:** Titanit mit einem Reaktionssaum von Biotit und Rutil (750°C, 15 kbar, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O). **Rechts:** skelettartig gewachsene Rutilkristalle (750°C, 20 kbar, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O). Die Phasengrenze Fluidphase zu Quarz wurde zu Verdeutlichung hervorgehoben.

wurden in der Matrix häufig, statt Titanit, skelettartig ausgebildete Rutilnadeln beobachtet (Abb. 9.14, rechts). Diese hohlen Nadeln treten fast immer als lokale Anreicherungen in der Fluidphase auf. Die meisten Rutilnadeln (ca. 90%) sind parallel zur Achse der Versuchskapsel ausgerichtet.

### 9.1.7 Epidot und Allanit

Epidote und Allanite sind nur selten idiomorph. In den Fällen, in denen die Körner unregelmäßig sind, zeigen diese jedoch manchmal einen

neugebildeten Saum. In einigen Versuchen kam es zu einer auffälligen Häufung von Epidoteinschlüssen in Phengiten (Abb. 9.15).

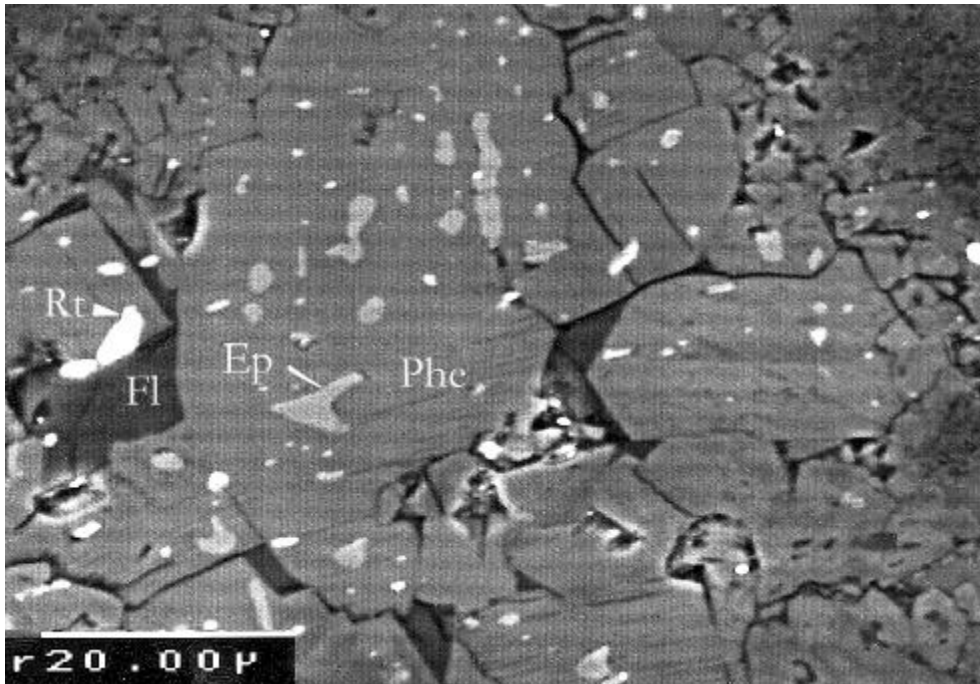


Abb. 9.15 BSE-Bilder: Epidot als Einschluß in Phengit (20 kbar, 750 °C, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O).

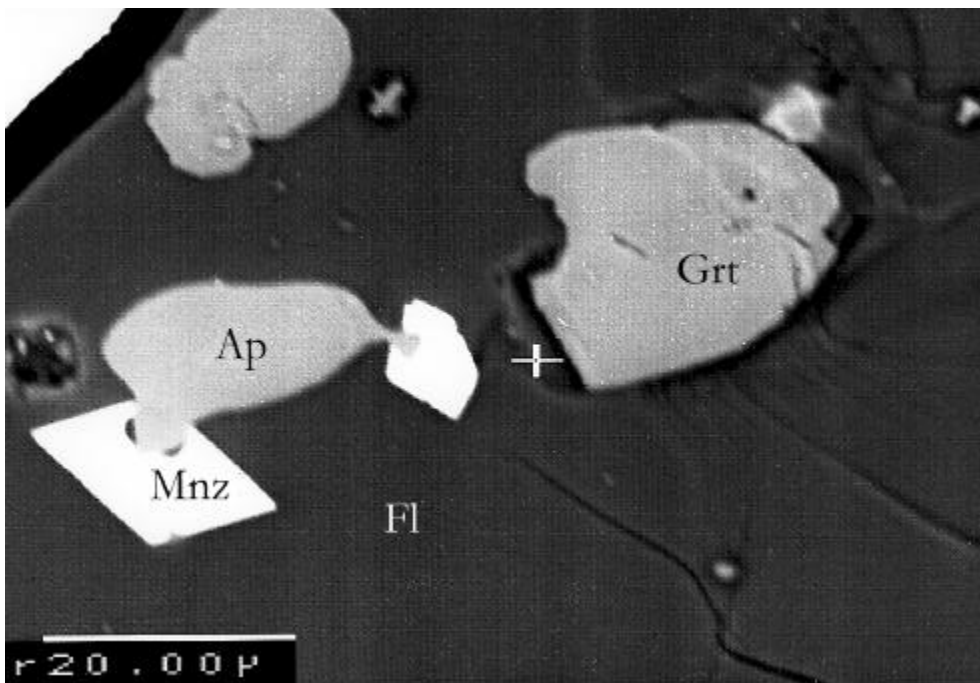


Abb. 9.16 BSE-Bilder: Idiomorphe Monazite wachsen auf angelöstem Apatit in einer Schmelzmatrix (25 kbar, 875 °C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O).

### 9.1.8 *Apatit*

Apatit wird in sehr vielen Versuchen als gerundete Körner beobachtet. In einem Versuch bei 25 kbar, 850°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O ist deutlich der Abbau von Apatit in einer Schmelzmatrix zugunsten von neu gewachsenem Monazit zu sehen (Abb. 9.16).

## 9.2 **Phasenbestand der Versuchsprodukte**

Der mit Druck und Temperatur wechselnde Phasenbestand wurde qualitativ durch die Kombination der röntgenographischen Ergebnisse mit Ergebnissen der Elektronenstrahlmikrosonde bestimmt. Die röntgenographischen Ergebnisse liefern Daten über die wichtigsten Phasen und unterscheiden eindeutig Coesit und Quarz bzw. Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat. Die EMS-Analysen geben neben der Zusammensetzung der Hauptgemengteile Aufschluß über Akzessorien wie Granat, Epidot, Zirkon, Apatit und Monazit. Informationen, ob es sich bei einer Phase um ein Relikt oder einen Einschluß handelt, gehen im wesentlichen auf die Elektronenmikroskopie (BSE-Bilder) zurück. Der Nachweis des Vorhandenseins einer Fluidphase ist nur dann möglich, wenn ein eindeutiger Befund aus der Elektronenmikroskopie und / oder sichere EMS-Analysen vorliegen. Es wird aufgrund der allenthalben beobachteten amorphen Quenchprodukte zwischen den kristallinen Phasen davon ausgegangen, daß bei allen Druck- und Temperaturbedingungen eine freie Fluidphase zugegen war.

### 9.2.1 *Phasenbestand der Versuchsreihen I-IV*

*(15-45 kbar, 675-1000°C, 1.9-9.9 Gem.% H<sub>2</sub>O)*

Die Ergebnisse der Versuchsreihen I-IV sind in den Tabelle II.1 bis II.4 (Anhang II, Seite 151) zusammengestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit

ist der Phasenbestand in Druck-Temperatur-Diagrammen auf den folgenden Seiten für jeweils bis zu 2 Phasen pro Diagramm für alle H<sub>2</sub>O-Gehalte dargestellt.

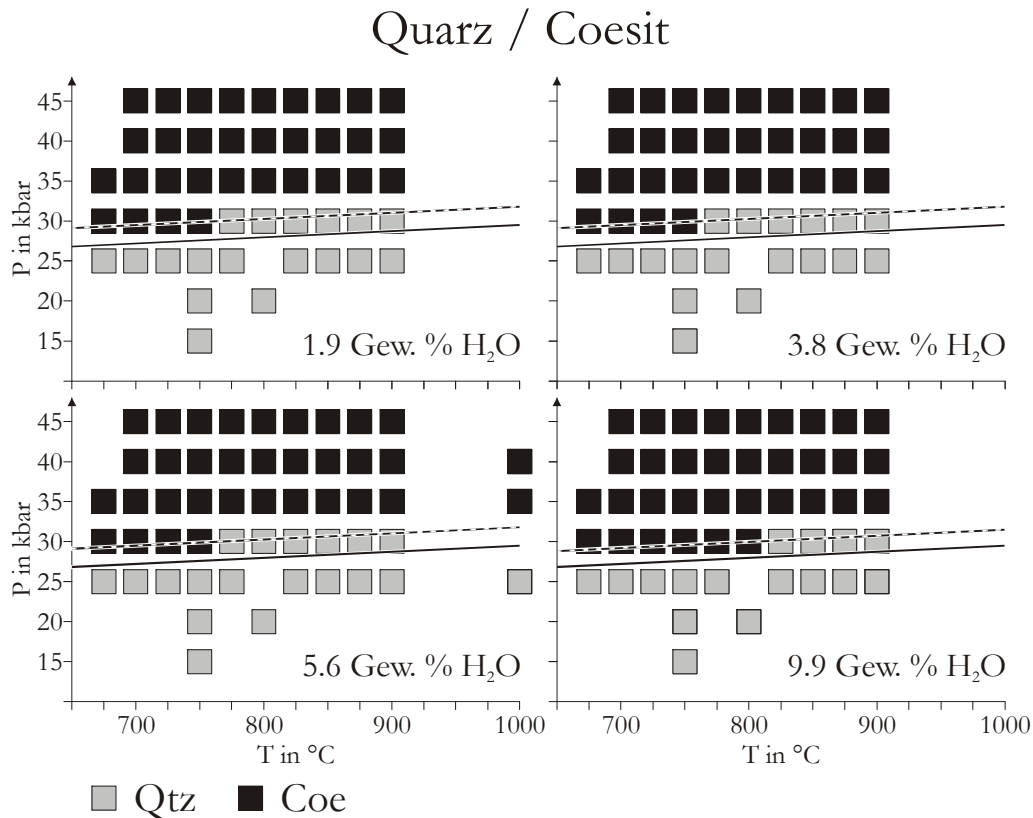


Abb. 9.17 Auftreten von Coesit und Quarz in den Versuchprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt. Die gebrochene Linie zeigt die Lage der Quarz/Coesit-Reaktionskurve nach den durchgeführten Experimenten. Die durchgezogene Linie zeigt die Lage der mit dem thermodynamischen Datensatz von Berman et al. (1988) berechneten Reaktionskurve.

Betrachtet man Abbildung 9.17 und 9.18 wird die elektronenoptische Beobachtung aus Kapitel 9.1 bestätigt, daß die Versuchprodukte fast durchgängig Quarz bzw. Coesit sowie Phengit und Klinopyroxen führen. In allen Versuchen gibt es Quenchprodukte, die auf das Vorhandensein einer freien Fluidphase während des Versuchs schließen lassen (siehe Abb. 9.12, Seite 51).

## 9.2.1.1 Quarz und Coesit

Die Reaktionskurve, die durch die Versuchsergebnisse aus Abb. 9.17 für die Reaktion Quarz  $\leftrightarrow$  Coesit abgeleitet werden kann, weicht von der mit Berman et al. (1988) berechneten Kurve um ca. 2-3kbar zu höheren Drücken hin ab.

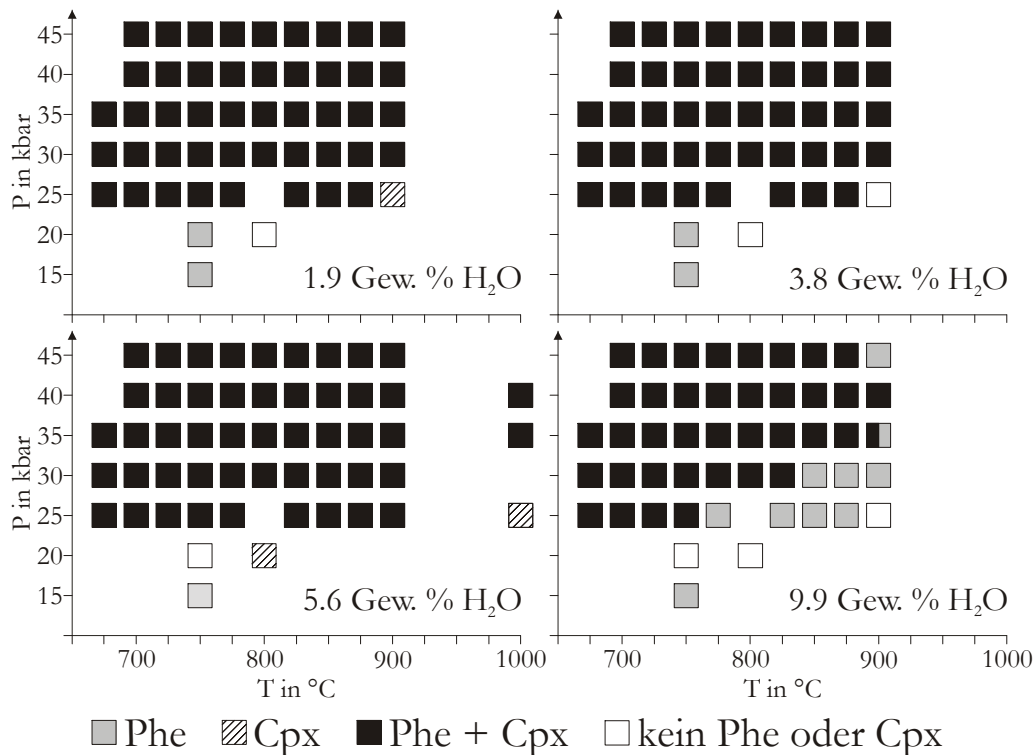


Abb. 9.18 Auftreten von Phengit und Klinopyroxen in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt.

## 9.2.1.2 Phengit

Phengit ist fast über den gesamten Versuchsbereich in den Versuchsprodukten enthalten (Abb. 9.18). Die Versuchsprodukte bei 20 kbar, 800°C, 5.6-9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O, in denen kein Phengit vorhanden ist, und die Versuche bei 25 kbar, 900°C, 5.6-99 Gew.% H<sub>2</sub>O und 20 kbar, 750°C, 5.6-99 Gew.% H<sub>2</sub>O, in denen Kalifeldspat statt Phengit auftritt (Abb. 9.18 u. Abb. 9.19), könnten jedoch ein Hinweis sein, daß Phengit unterhalb von



20kbar und oberhalb 750°C zugunsten von Kalifeldspat und der Fluidphase abbaut.

In der Umgebung von ehemaligen Biotiten bilden sich in H<sub>2</sub>O-armen Versuchen (1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O) bei niedrigen Temperaturen Reaktionssäume, die z.T. aus feinkörnigem, eisenreichem Phengit, Granat und Klinopyroxen bestehen (siehe auch Kap. 9.3). Diese aus Biotiten und Phasen der unmittelbaren Umgebung gebildeten Phasen stehen, bezogen auf die gesamte Probe, wahrscheinlich nicht im Gleichgewicht zu anderen Produktphasen. Vielmehr bilden sie mit ihrer unmittelbaren Umgebung ein lokales System. Diese lokalen Systeme werden im Kapitel 10 diskutiert.

#### *9.2.1.3 Klinopyroxen*

jadeitbetonter Klinopyroxen ist oberhalb von 20 kbar in Versuchen mit 1.9 bis 5.6 Gew % H<sub>2</sub>O enthalten (Ausnahme: 25 kbar, 900°C, 3.8 Gew % H<sub>2</sub>O; Abb. 9.18). Bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O kann Klinopyroxen jenseits einer Kurve von 25kbar, 775°C bis 35 kbar, 900°C zu niedrigen Drücken und höheren Temperaturen nicht mehr beobachtet werden. Wie und ob diese Kurve sich bei Drücken von 40 bis 45 kbar fortsetzt, kann wegen der unzureichenden Datenmenge nicht endgültig entschieden werden. Jedoch könnte das Fehlen von Klinopyroxen im Versuch bei 45kbar, 900°C darauf hinweisen, daß Klinopyroxen bei diesem H<sub>2</sub>O-Gehalt oberhalb von 900°C nicht mehr stabil ist.

Eisenreiche Klinopyroxene bilden sich in den Reaktionssäumen um ehemalige Biotite (Kap. 9.2.1.2 und Kap. 9.3).

#### *9.2.1.4 Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat*

Kalifeldspat kommt in Versuchen mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt nur bei niedrigen Temperaturen vor (Abb. 9.19). Kalifeldspat ersetzt bei 25kbar und

900°C möglicherweise den Phengit (Abb. 9.18). Bei erhöhten Drücken (insbesondere bei 45 kbar) bildet sich Kalifeldspathhydrat. Mit sinkendem H<sub>2</sub>O-Gehalt expandieren die Felder des Kalifeldspats und des Kalifeldspathhydrats. Die Bildung des Kalifeldspathhydrats wird jedoch bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt aufgrund der geringen H<sub>2</sub>O-Menge wieder eingeschränkt, und Kalifeldspat kann somit neben Kalifeldspathhydrat koexistieren.

Albit tritt nur bei niedrigen H<sub>2</sub>O-Gehalten und Drücken unterhalb von 25 kbar in den Versuchsprodukten auf.

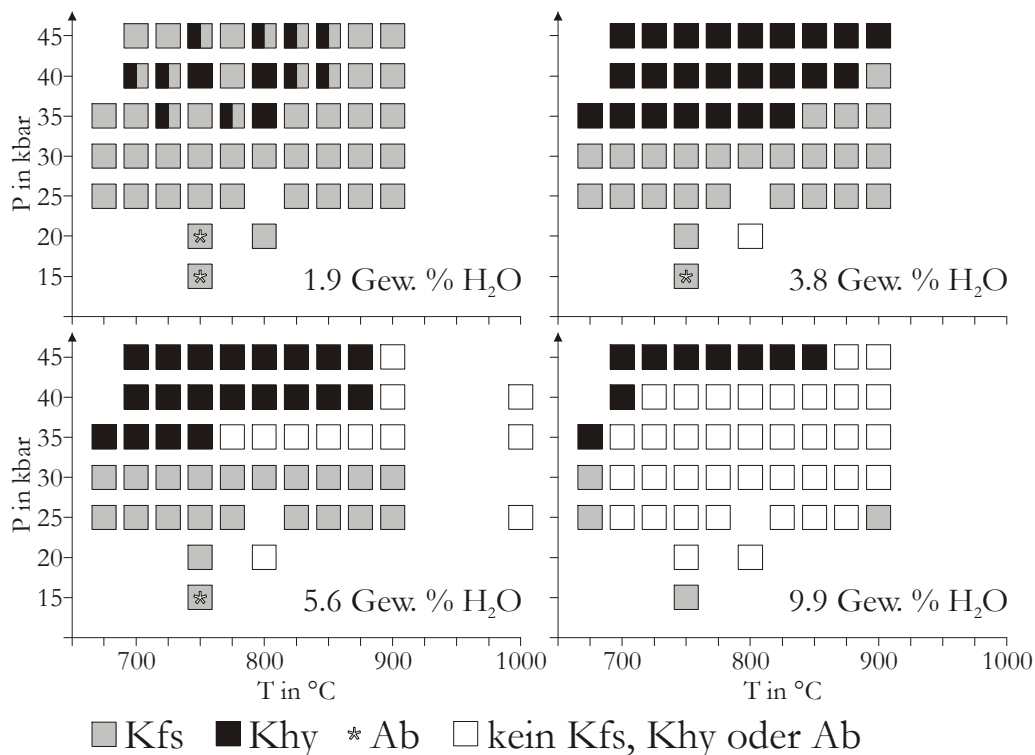


Abb. 9.19 Auftreten von Kalifeldspat, Kalifeldspathhydrat und Albit in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt.

#### 9.2.1.5 Granat

Da die Menge von Granat, Epidot, Titanit, Rutil und Apatit in den Versuchsprodukten aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials sehr gering ist, kann es bei diesen Phasen dazu kommen,

daß sich kein Kornanschnitt in der polierten Schnittfläche der Probe befindet. Dann ist es nicht möglich, diese Phasen mit Hilfe der Elektronenstrahlmikrosonde nachzuweisen. Für den röntgenographischen Nachweis reicht das Gesamtvolumen der einzelnen Phasen in den Versuchsprodukten ebenfalls oft nicht aus. Daraus folgt, daß aus dem fehlenden Nachweis einer dieser Phasen nicht auf deren Abwesenheit geschlossen werden kann. Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen somit mehrere benachbarte Versuche zusammen betrachtet werden, was größere Fehler bei der Abschätzung von Paragenesegrenzen zur Folge hat.

Die Granate lassen sich in drei Gruppen unterteilen (Abb. 9.20):

- reliktsche Granate des Ausgangsmaterials
- neugebildte Granate
- neue aus Biotit gebildete Granate.

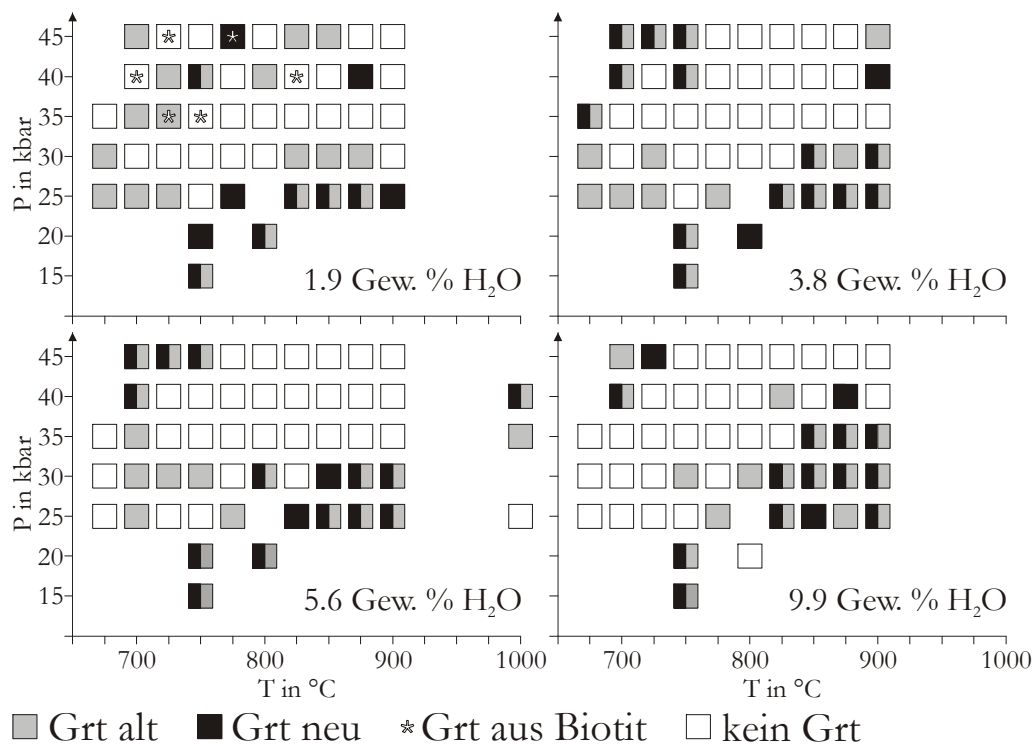


Abb. 9.20 Auftreten von neugebildeten, alten und aus Biotit gebildeten Granaten in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt.

Neugebildeter Granat kommt in individuellen homogenen Kristallen, aber auch als Anwachssaum auf alten Granatrelikten vor. Betrachtet man die Abbildung 9.20, so lassen sich die neugebildeten Granate wiederum in zwei Gruppen unterteilen, eine hochdruck-niedertemperatur Gruppe und eine niederdruck-hochtemperatur Gruppe. In dem dazwischen liegenden Bereich wurden keine Granate beobachtet, was aufgrund der Breite dieses Bereiches den Schluß nahe legt, daß dort Granate möglicherweise nicht stabil sind. Die Granate des Ausgangsmaterials treten außer als Granatkerne auch als isolierte Bruchstücke oder korrodierte Körner in den Versuchsprodukten auf. In der unmittelbaren Umgebung von ehemaligen Biotiten des Ausgangsmaterials bilden sich bei geringen  $H_2O$ -Gehalten und erhöhten Drücken extrem eisenhaltige Granate (siehe Kap. 9.2.1.2. und Kap. 9.3).

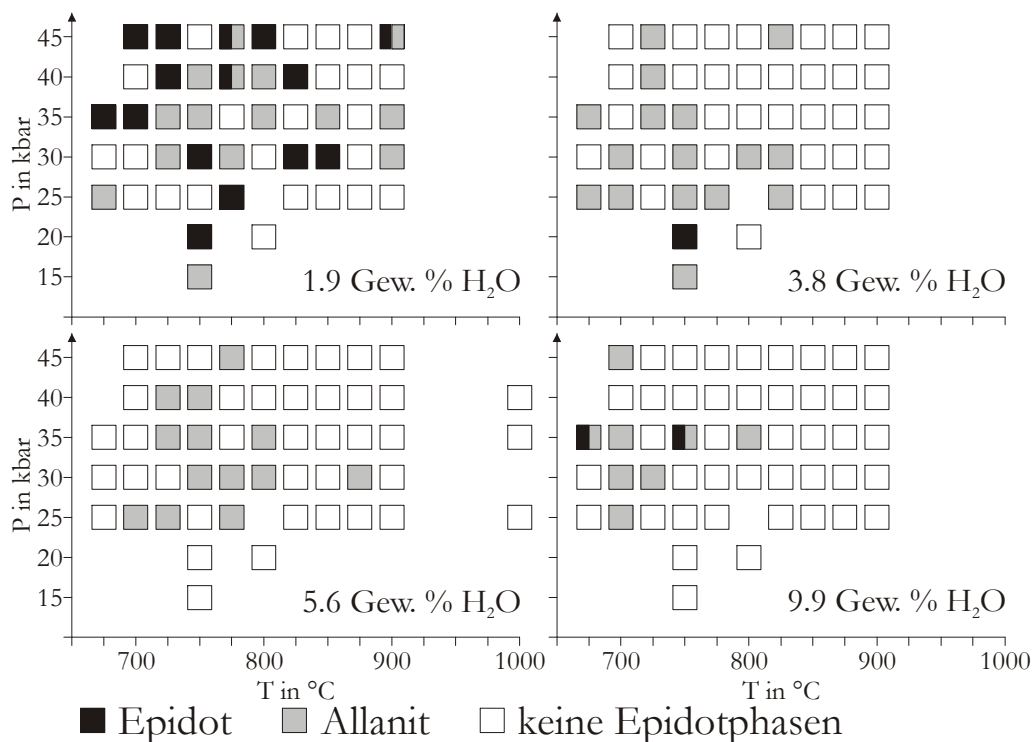


Abb. 9.21 Auftreten von Epidot und Allanit in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und  $H_2O$ -Gehalt.

## 9.2.1.6 Phasen der Epidotgruppe

Die auftretenden Epidotphasen lassen sich in zwei Gruppen unterteilen (Abb. 9.22): Epidote (Ep ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$ ) > 45 Mol% und Czo ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$ ) > 40 Mol%) ohne Allanitkomponente und Allanite (Aln ( $\text{Ca}(\text{REE})\text{Al}_2\text{Fe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$ ) > 20 Mol%, Kap. 9.3). Da die in den Versuchsprodukten enthaltenen Phasen in ähnlicher Zusammensetzung auch im Ausgangsmaterial auftreten, sind nur die folgenden Aussagen möglich: allanitfreier Epidot wird in allen Versuchen mit mehr als 1.9 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$  abgebaut. Der Allanit tritt vor allem in dem Bereich auf, in dem keine neugebildeten Granate beobachtet werden (Abb. 9.20 und 9.21). Die Temperaturstabilität des Allanits scheint mit steigendem  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt abzunehmen.

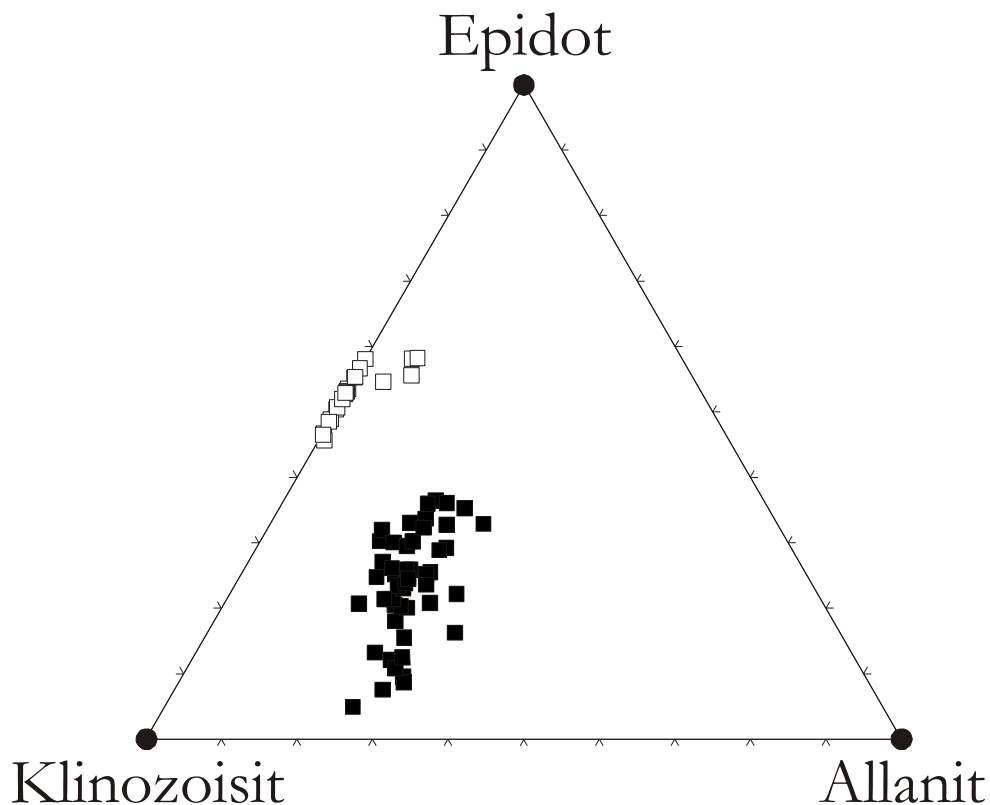


Abb. 9.22 Zusammensetzung beobachteter Epidotphasen der Versuchsreihen I-IV. Schwarz = Allanite reiche Epidote, Weiß = Allanite arme Epidote

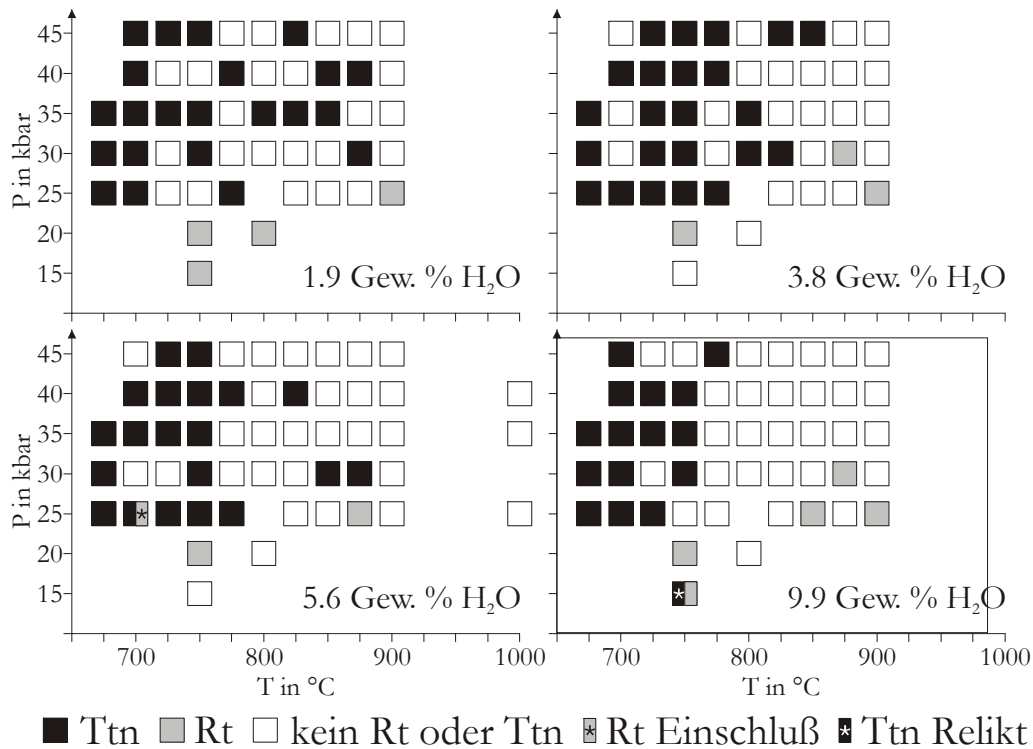


Abb. 9.23 Auftreten von Titanit und Rutil in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt.

#### 9.2.1.7 Titanit

Der Titanit des Ausgangsmaterials baut bei Versuchen mit 3.8 bis 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O oberhalb von 750°C bis 850°C ab. In Versuchsprodukten mit 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt scheint Titanit bis mindestens 875 °C aufzutreten, bei 15-25kbar kann jedoch auch Rutil auftreten. Als Anzeichen für die Instabilität von Titanit kann erstens das Auftreten von Rutilnadeln bei Drücken unter 35 kbar interpretiert werden, zweitens das Fehlen jeglicher Titanphase bei Versuchen mit hohen H<sub>2</sub>O-Gehalten oberhalb von 800°C, 30 kbar. Tritt in Versuchen Titanit neben Rutil auf, so ist der Titanit entweder von einem Reaktionsaum aus Rutil und Biotit (Abb. 9.14) umgeben oder zeigt einen extrem korrodierten Kornrand.

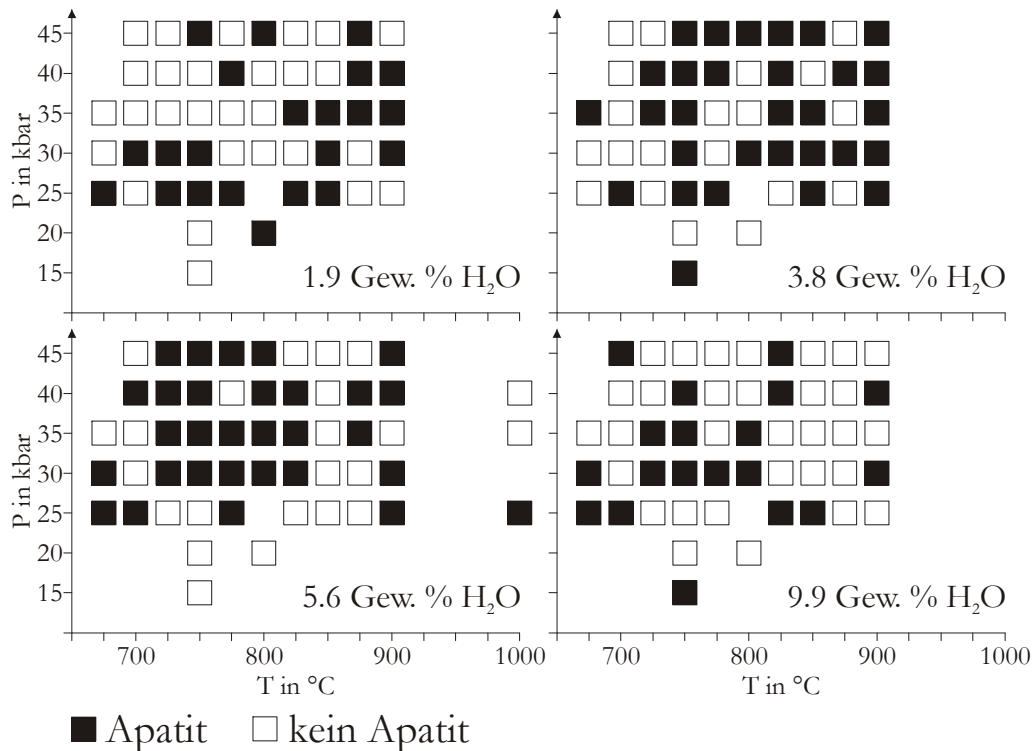


Abb. 9.24 Auftreten von Apatit in den Versuchsprodukten in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und H<sub>2</sub>O-Gehalt.

#### 9.2.1.8 Apatit

Für die Anwesenheit von Apatit in den Versuchsprodukten zeigt sich kein gesetzmäßiges Verteilungsmuster, sondern eine eher zufällige Verteilung. Für den Apatit ergibt sich somit keine deutliche Begrenzung im Druck-Temperaturfeld. Die Beobachtungen legen den Schluß nahe, daß Apatit offensichtlich fast im gesamten Druck-Temperatur-Feld vorkommen kann. Einziger Hinweis auf den Abbau von Apatit zugunsten einer anderen Phase ist der Versuch bei 25 kbar, 850°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O, bei dem Monazit auf Kosten von Apatit wächst (Abb. 9.16).

#### 9.2.1.9 Biotit

Biotit tritt nur in den Versuchen bei 15 und 20 kbar, 750°C als neugebildete Phase auf. Die einzige Ausnahme bildet das Experiment bei 20 kbar, 750°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt, in dem kein Glimmer beobachtet wurde.

### 9.2.2 Phasenbestand der Umkehrversuche (Versuchsreihen V)

Das Ausgangsmaterial dieser beiden Versuche wurde bei 25kbar 1050 °C weitgehend aufgeschmolzen. Anschließend wurden Druck und Temperatur so schnell wie möglich auf die gewünschten Versuchsbedingungen gebracht. In den beiden Versuchen bildete sich aus der Schmelze bei 35kbar, 750 °C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O und 30kbar, 750°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O jeweils Coesit, Phengit, Klinopyroxen und Fluidphase. Es konnten keine Granate, Epidote, Titanite, Rutile oder Apatite gefunden werden.

Tab. 9.1 Beobachtete Phasen in den Versuchen mit erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalt. *Kursiv* geschriebene Abkürzungen zeigen möglich Relikte des Ausgangsmaterials an.

Versuch	Druck [kbar]	Temperatur [°C]	H <sub>2</sub> O-Gehalt [Gew.%]	beobachtete Phasen
GN 15 A	20	600	20	Qtz, Phe, Cpx, Kfs, <i>Epi</i> , Fl
GN 09 A	30	600	20	Coe, Phe, Cpx, Khy, <i>Epi</i> , Fl, <i>Gr</i> t, <i>Ttn</i> , <i>Ap</i>
GN 09 B	30	600	25	Coe, Phe, Cpx, Khy, <i>Epi</i> , Fl, <i>Gr</i> t, <i>Ttn</i> , <i>Ap</i>
GN 09 C	30	600	28	Coe, Phe, Cpx, Khy, <i>Epi</i> , Fl, <i>Ttn</i> , <i>Ap</i>
GN 09 D	30	600	33	Coe, Phe, Cpx, Khy, <i>Epi</i> , Fl, <i>Gr</i> t, <i>Ttn</i> , <i>Ap</i>
GN 11 A	40	650	20	Coe, Phe, Cpx, Khy, Fl, <i>Ap</i> , <i>Aln</i>
GN 11 B	40	650	24	Coe, Phe, Cpx, Khy, <i>Epi</i> , Fl, <i>Ttn</i> , <i>Ap</i> , <i>Aln</i>
GN 11 C	40	650	30	Coe, Phe, Cpx, Khy, Fl
GN 11 D	40	650	33	Coe, Phe, Cpx, Khy, Fl, <i>Gr</i> t, <i>Ttn</i>



### 9.2.3 Phasenbestand der Versuche mit mehr als 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O (Versuchsreihe VI)

Bei Experimenten mit H<sub>2</sub>O-Gehalten über 9.9 Gew.%, enthalten die Versuchsprodukte Phengit, Kalifeldspat, Kalifeldspathydrat, Coesit, Jadeit und Fluidphase. Untergeordnet tritt Apatit, Titanit, Granat und Epidot auf (Tab. 9.1). Auch in diesen Versuchen finden sich Relikte von Biotit, um den sich ein feinkörniger Reaktionssaum aus eisenreichem Granat und Phengit gebildet hat. Die extrem feinkörnigen Klinopyroxene bilden mit der abgeschreckten Fluidphase eine heterogene Masse.

Von den Versuchsprodukten dieser Experimente wurden aus verschiedenen Niveaus der Probenkörper Dünnschliffe erstellt bzw. Anschliffe parallel zur Probenachse hergestellt.

### 9.2.4 Phasenbestand der Versuche mit großem Probenvolumen (Versuchsreihen VII)

Der Versuch bei 35kbar, 900°C, 7.5 Gew.% H<sub>2</sub>O enthielt die Phasen, die bei den gleichen Bedingungen in der Versuchsreihe II (5.6 Gew. H<sub>2</sub>O) auftreten, d.h. Coesit, Phengit, Klinopyroxen, Granat und Fluidphase. Auffällig an diesem Versuch war, daß die Klinopyroxene in der Probe vor allem in einer Hälfte, parallel zur Kapselachse angereichert waren. Granat und Coesit hatten sich während der Versuchszeit von 7 Tagen bereits durch gravitative Differentiation im Bodenbereich der Kapsel deutlich angereichert. Der Versuch bei 25kbar, 750°C, 6.6 Gew.% H<sub>2</sub>O enthielt Quarz, Phengit, Kalifeldspat und Granat. In diesem Versuch reicherten sich Granat und Quarz im bodennahen Bereichen und Phengit im Deckenbereich an.

### 9.2.5 Phasenbestand der Multi-Anvil-Versuch (Versuchsreihen VIII)

Aufgrund der geringen Versuchszeiten von max. ca. 24h bei Multi-Anvil-Versuchen sind die Versuchsprodukte noch überwiegend von Relikten des Ausgangsmaterials geprägt.

Bei 100 kbar, 800°C, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O, 16h wurden Relikte von Kalifeldspat, Albit, Granat, Epidot, Apatit, Phengit und SiO<sub>2</sub><sup>1</sup> gefunden. Als Neubildungen konnten nur zweifelsfrei Granat und Klinopyroxen nachgewiesen werden. Der Klinopyroxen bildete zusammen mit SiO<sub>2</sub> mikrokristalline Verwachsungen. Es gab keine Hinweise auf Quenchprodukte einer Fluidphase.

Der Versuch bei 80kbar, 900°C, 5.4, Gew.% H<sub>2</sub>O, 24h wurde vor dem eigentlichen Hochdruckversuch bei 25 kbar, 1000°C aufgeschmolzen. Während des Experimentes kam es an der Kapseldecke zu einem Riß, an dem sich im Verlauf des Versuches das Druckmedium MgO und das Probenmaterial direkt berührten. In unmittelbarer Umgebung des Risses bildeten sich vermehrt Phengite. Im unteren Bereich der Kapsel wurden feinkristallines SiO<sub>2</sub>, Klinopyroxen und Phengit nachgewiesen. Die Bildung einer Fluidphase konnte nicht nachgewiesen werden.

### 9.3 Chemie der Produktphasen

Die hier zusammengestellten Daten wurden mit der Elektronenstrahlmikrosonde gewonnen. Da in der Regel nur ein Anschliff von jedem Versuch hergestellt wurde, ergab es sich mitunter, daß in einzelnen Versuchen von bestimmten Phasen kein Korn gefunden wurde. Außerdem wurden alle Mischanalysen verworfen, bei denen aufgrund der Korngröße der zu messenden Phase ein nicht zu korrigierender Fremdphasenanteil enthalten war. Da es aufgrund der kleinen Korngrößen der Versuchsprodukte bei der Messung zu Mischanalysen kommt, ist die Bildung von Mittelwerten nicht sinnvoll da keine Normalverteilung vorliegt. Aus diesem Grund wurden ausgewählte Analysen jeder Phase nach Phasentyp, Druck, Temperatur und Genese sortiert im Anhang (V-LXIII)

---

<sup>1</sup> Da die Probenmenge nur für einen Anschliff reichte, konnte der strukturelle Zustand des SiO<sub>2</sub> nicht bestimmt werden.

abgedruckt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hier im Text nur die aus allen Analysen einer Phase für die einzelnen Parameter errechneten Regressionsgeraden und beispielhafte Strukturformeln zur Darstellung gebracht.

Viele Phasen zeigen eine von Temperatur, Druck und Paragenese abhängige chemische Zusammensetzung. Die kritische Paragenese ist neben Druck und Temperatur vor allem eine Funktion des H<sub>2</sub>O-Gehalts (Kap 9.2).

### *9.3.1 Chemische Zusammensetzung der Produktphasen in den Versuchsreihen I-IV (15-45 kbar, 675-1000°C, 1.9-9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O)*

#### *9.3.1.1 Quarz und Coesit*

Der Mittelwert des SiO<sub>2</sub>-Gehalts von 200 Quarz- bzw. Coesitanalysen beträgt 99.92 Gew.% bei einer Standardabweichung von 0.72 %. Quarz und Coesit zeigen keine Variation in ihrer Zusammensetzung. Auffällig ist jedoch eine Schädigung des Quarzes und des Coesits durch den Elektronenstrahl. Das dadurch entstehende Loch könnte ein Hinweis auf Mikrofluideinschlüsse sein. Daß die Qualität der Analyse nicht unter der Beschädigung durch den Elektronenstrahl leidet, könnte darauf zurückgehen, daß die Bildung des Loches sehr kurz nach Beginn der Analyse stattfindet.

#### *9.3.1.2 Phengit*

Die Zusammensetzung des Phengits (Analysen 1-206) wird primär von der Versuchstemperatur und der koexistierenden Paragenese beeinflusst, während der Druckeinfluß gering bleibt. Nachfolgend sind exemplarisch einige typische Phengitzusammensetzungen mit ihren wichtigsten koexistierenden Phasen zusammengestellt:

- siliziumreich:  
 $K_{1.97}Na_{0.03}Ti_{0.08}Al_{2.31}Fe^{3+}_{0.01}Fe^{2+}_{1.21}Mg_{0.42}[Al_{0.59}Si_{7.40}O_{20}](OH)_{3.70}F_{0.29}$   
 45 kbar, 700°C, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O  
 Paragenese: Coesit-Kalifeldspat-Fluidphase-Klinopyroxen-Titanit
- siliziumarm:  
 $K_{1.97}Na_{0.03}Ti_{0.10}Al_{3.20}Fe^{3+}_{0.01}Fe^{2+}_{0.44}Mg_{0.27}[Al_{1.48}Si_{6.52}O_{20}](OH)_{3.85}F_{0.15}$   
 40 kbar, 1000°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O  
 Paragenese: Coesit-Fluidphase-Klinopyroxen-Granat
- titanreich:  
 $K_{1.88}Na_{0.12}Ti_{0.29}Al_{2.76}Fe^{3+}_{0.04}Fe^{2+}_{0.36}Mg_{0.51}[Al_{1.45}Si_{6.55}O_{20}](OH)_{3.87}F_{0.13}$   
 25 kbar, 875°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O  
 Paragenese: Quarz-Fluidphase-Rutil-Granat

Der mit der Temperatur einhergehende Trend setzt sich bei einigen Elementen auch über einzelne Paragenesegrenzen hinaus fort. Während die Silizium- und Eisengehalte mit steigender Temperatur sinken, steigen Aluminium-, Magnesium- und Titangehalte an (Abb. 9.25). Die Summe der

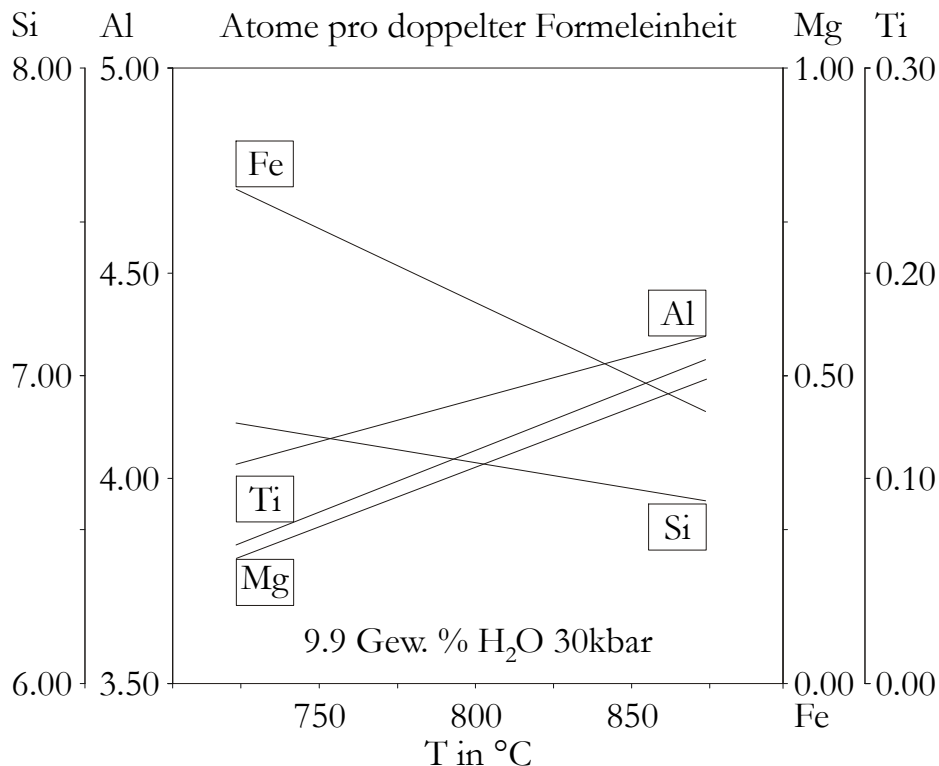


Abb. 9.25 Temperaturabhängigkeit des Silizium-, Aluminium-, Titan-, Eisen-, und Magnesiumgehalts der Phengite bei 30 kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O.

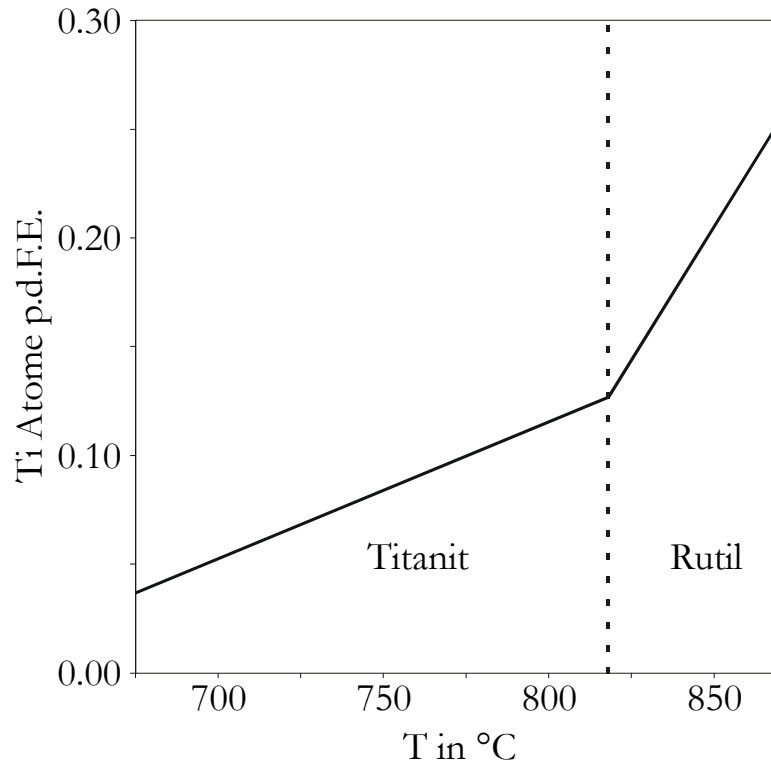


Abb. 9.26 Änderung der Temperaturabhängigkeit des Titangehalts der Phengite von der Paragenese. (Versuche bei 25 kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O)

Eisen-, Magnesium-, und Manganatome bleibt jedoch annähernd konstant. Die Änderung der Siliziumgehalte liegt im Bereich von 0.005-0.020 Siliziumatomen/°C. Die Wirkung einer Änderung der Paragenese auf die chemische Zusammensetzung wird besonders am Verhalten des Titangehalts bei 25 kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O deutlich (Abb. 9.26). Bei ca. 820 °C baut Titanit ab, und Rutil wird gebildet. Dadurch kommt es zu einer Änderung der Temperaturabhängigkeit des Titangehalts im Phengit. Sie ist bei anderen Elementgehalten jedoch in der Regel wesentlich geringer als beim Titangehalt.

Die Auswirkung des Drucks auf die chemische Zusammensetzung der Phengite ist wesentlich kleiner als die der Temperatur. Die Größenordnung der Änderung der Siliziumgehalte liegt im Bereich von ca.  $\pm 0.01$  Siliziumatome/kbar pro doppelter Formeleinheit (p.d.F.E.). Sie wird durch

Änderungen der Paragenese überlagert, deren Auswirkungen offensichtlich im gleichen Größenordnungsbereich liegen. Vergleicht man die Silizium-Temperatur-Regressionsgeraden für konstante Drücke miteinander (Abb. 9.27), so scheint die Druckabhängigkeit bei niedrigen Temperaturen sogar negative Steigungen aufzuweisen (siehe auch Abb. 9.28). Dies geht auf unterschiedliche Paragenesen zurück, bei 25 kbar koexistieren Phengit, Quarz, Klinopyroxen, Fluidphase, bei 30-35 kbar Phengit, Coesit, Klinopyroxen, Fluidphase und bei 40-45 kbar Phengit, Coesit, Kalifeldspathydrat, Klinopyroxen und Fluidphase.

Generell läßt sich für die Phengite sagen, daß eine Erhöhung des Drucks zu einem Absinken des Titan- (Abb. 9.29) und des Aluminiumgehalts führt. Der Eisen-, Magnesium-, und Manganengehalt bleibt aber weitgehend vom Druck unabhängig, insbesondere wenn man die Summe der Magnesium-, Eisen- und Manganatome betrachtet. Der Siliziumgehalt verhält sich uneinheitlich.

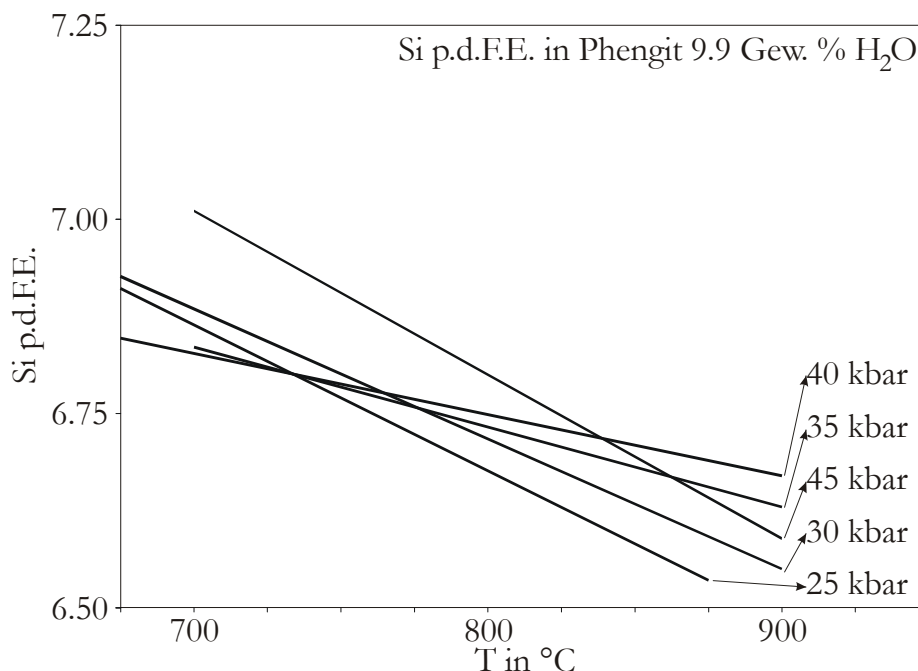


Abb. 9.27 Druck- und Temperaturabhängigkeit des Siliziumgehalts in den Phengiten der Versuche bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Deutlich ist das niedrigere Niveau der Kurven für 40 und 35 kbar und niedrigere Temperaturen zu sehen.

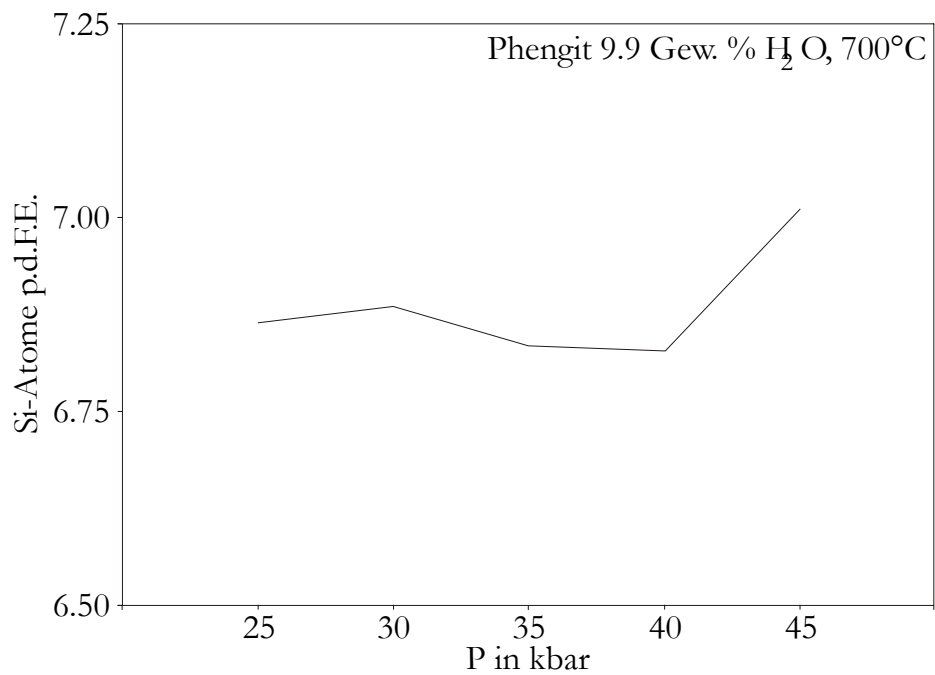


Abb. 9.28 Druckabhängigkeit des Siliziumgehalts bei 700°C in den Phengiten der Versuche bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O.

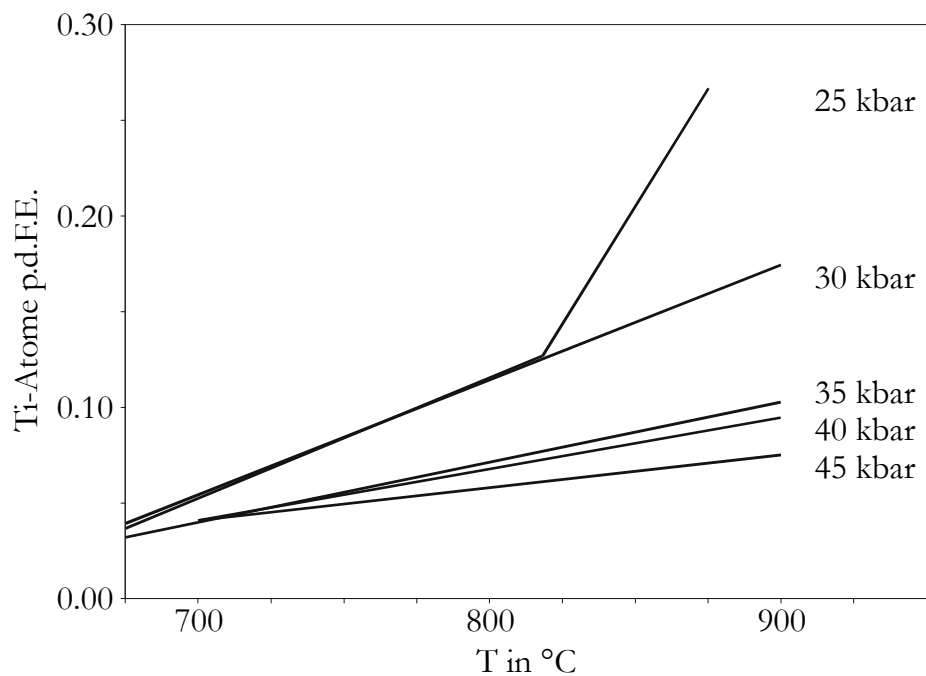
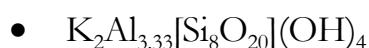


Abb. 9.29 Druckabhängigkeit und Temperaturabhängigkeit des Titangehalts von Phengits in Versuchen mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O

Er tendiert aber im Vergleich zwischen maximalen und minimalen Drücken zu höheren Siliziumgehalten bei höheren Drücken (Abb. 9.27).

Bei Versuchen mit sehr geringem Phengitanteil (vier ca. 20  $\mu\text{m}$  große Körner pro  $\text{mm}^2$ ) zeigte sich eine extreme Fraktionierung des Spurenelements Chrom in den Phengit hinein. Im Versuch bei 35 kbar, 900 °C und 9.9 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$  betrug der Gehalt an Chrom in einem ca. 3  $\mu\text{m}$  dünnen Rand bis zu 9.4 Gew.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Der Kern des Phengits zeigte keine Chromanreicherung.

Stellt man Phengite aus den Versuchenreihen I-VII in einem Konzentrationsdiagramm dar, dann wird offensichtlich, daß die klassischen Komponenten wie Muskovit, Aluminiumseladonit, Ferro-Aluminiumseladonit, Phlogopit und Annit nicht in der Lage sind, die chemischen Variationen dieser Phengite vollständig zu beschreiben (Abb. 9.30). Während bei 900°C alle Analysen innerhalb des durch die Konoden gebildeten Dreiecks liegen, wandert die Zusammensetzung der Phengite mit niedrigeren Temperaturen über die Konode Muskovit-(Aluminiumseladonit/Ferro-Aluminiumseladonit) aus dem Dreieck heraus (Abb. 9.30). Ein alternatives Modell besteht darin, die zwei Komponenten Aluminiumseladonit und Ferro-Aluminiumseladonit des klassischen Modells durch eine neue Komponente zu ersetzen. Bei dieser handelt es sich um:



hier genannt mono/dioktaedrischer Glimmer (MDO). Er leitet sich ab vom

Muskovit durch die Substitution:  $\frac{2}{3}\text{Al}^{[6]} + 2\text{Al}^{[4]} \Leftrightarrow + 2\text{Si}^{[4]} + \frac{2}{3}\bullet^{[6]}$  ab.



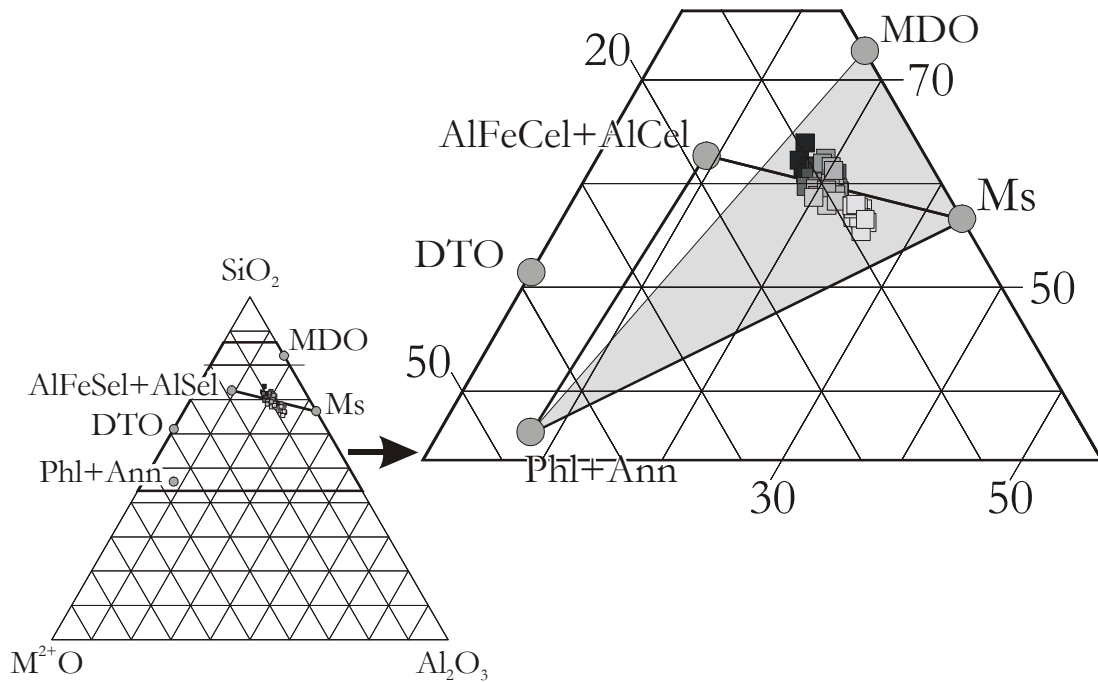


Abb. 9.30 Lage der Phengite aus dem Versuch bei 45 kbar, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O im Konzentrationsdiagramm. ■=700°C, ■=725°C, ■=750°C, ■=800°C, ■=825°C, ■=850°C, ■=900°C. Es wurde von Ti-Glimmer, und Margarit projiziert. Alle Angaben in Mol%.

Mit Hilfe des neuen Endglieds lassen sich alle Zusammensetzungen im Dreieck MDO-Ms-(Phl+Ann) durch zwei Substitutionen beschreiben:

- $2 \bullet^{[6]} + 4\text{Al}^{[6]} \Leftrightarrow 6\text{M}^{2+[6]}$  (Muskovit  $\Leftrightarrow$  [Phlogopit, Annit]) (1)
- $\frac{2}{3}\text{Al}^{[6]} + 2\text{Al}^{[4]} \Leftrightarrow + 2\text{Si}^{[4]} + \bullet^{[6]}$  (Muskovit  $\Leftrightarrow$  MDO Glimmer) (2)

Die klassische Tschermaks-Substitution  $\text{M}^{2+[6]} + \text{Si}^{[4]} \Leftrightarrow \text{Al}^{[6]} + \text{Al}^{[4]}$  ergibt sich als Kombination aus den Substitutionen (1) und (2), jedoch werden die Endglieder Aluminiumseladonit und Eisenaluminiumseladonit nicht erreicht. Das Dreiecksdiagramm (Abb. 9.30) zeigt indes, daß das neue Modell in der Lage ist, die synthetischen Phengite der Versuchsreihen I-VIII darzustellen. Außerdem deckt es auch einen großen Teil des klassischen Bereiches der Mischbarkeit von Phengiten ab.

Es stellt sich nun die Frage, ob es noch andere graphische Methoden gibt, die eventuell alle Endglieder der Glimmer darstellen können. Entwickelt man aus dem Muskovit, durch lineare Kombination der beiden oben angegebenen Substitutionen, alle in Abbildung 9.30 angegebenen Glimmerendglieder, so wird eine Darstellung nach Art reziproker Salzpaare möglich. In diesem Diagramm ist auch die Darstellung der gesamten Phengitreihe mit den Endgliedern Muskovit und Aluminium- bzw. Eisenaluminiumseladonit möglich (Abb. 9.31). Allerdings kann auf den idealen Phlogopit(Phl) nicht die Substitution (2) und auf den di/tri-

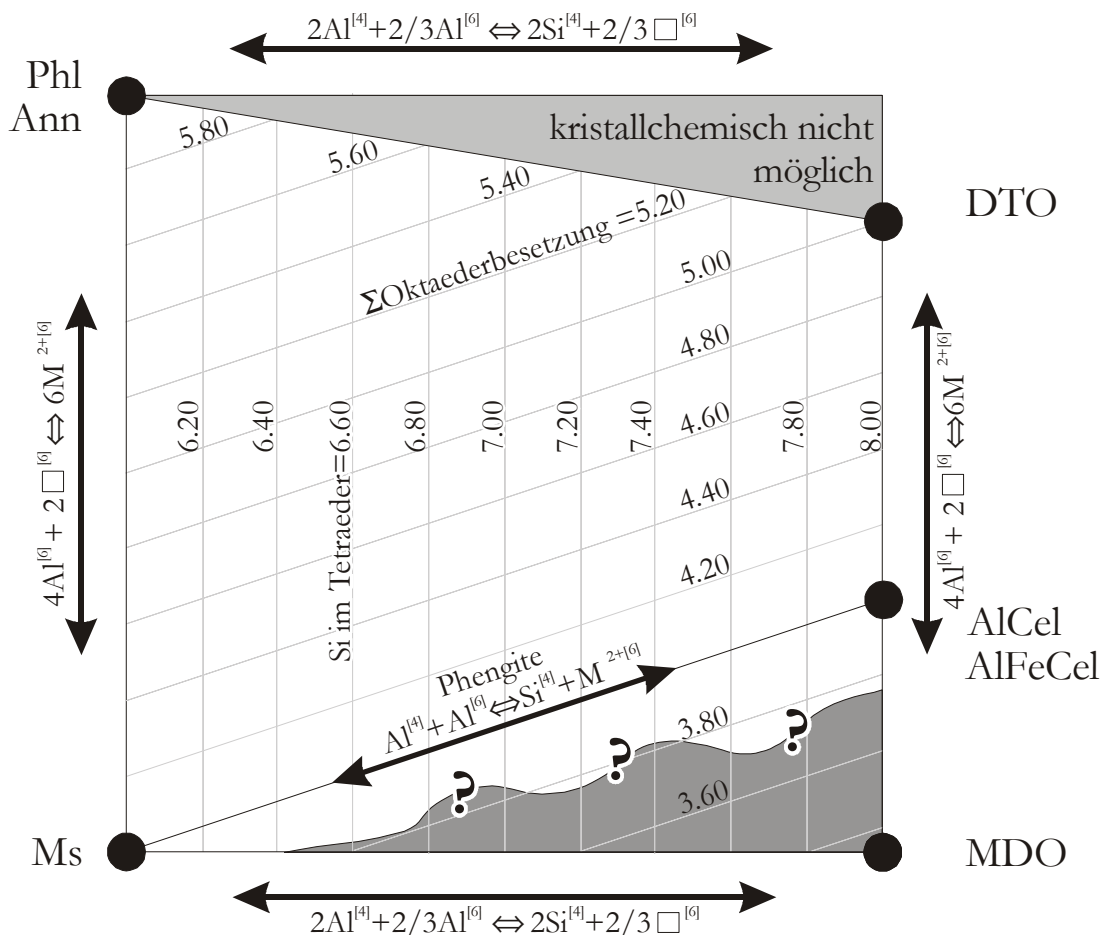


Abb. 9.31 Darstellung der Phengitreihe als reziproke Salzpaare. Alle Angaben für doppelte Formeleinheiten. Abkürzungen siehe Faltblatt am Ende der Arbeit.

oktaedrischen Glimmer (DTO) nicht die Substitution (1) angewendet werden, da kein oktaedrisches Aluminium mehr in den Strukturen dieser

Glimmer vorhanden ist. Durch diese strukturellen Grenzen entsteht ein Bereich von Zusammensetzungen, der kristallchemisch nicht realisierbar ist (Abb. 9.31). Die Fragen einer Mischbarkeit von Muskovit auf MDO nach Substitution (1) und von Aluminium- bzw. Eisenaluminiumseladonit auf MDO durch Substitution (2) sind offen, könnten aber durch gezielte Experimente studiert werden.

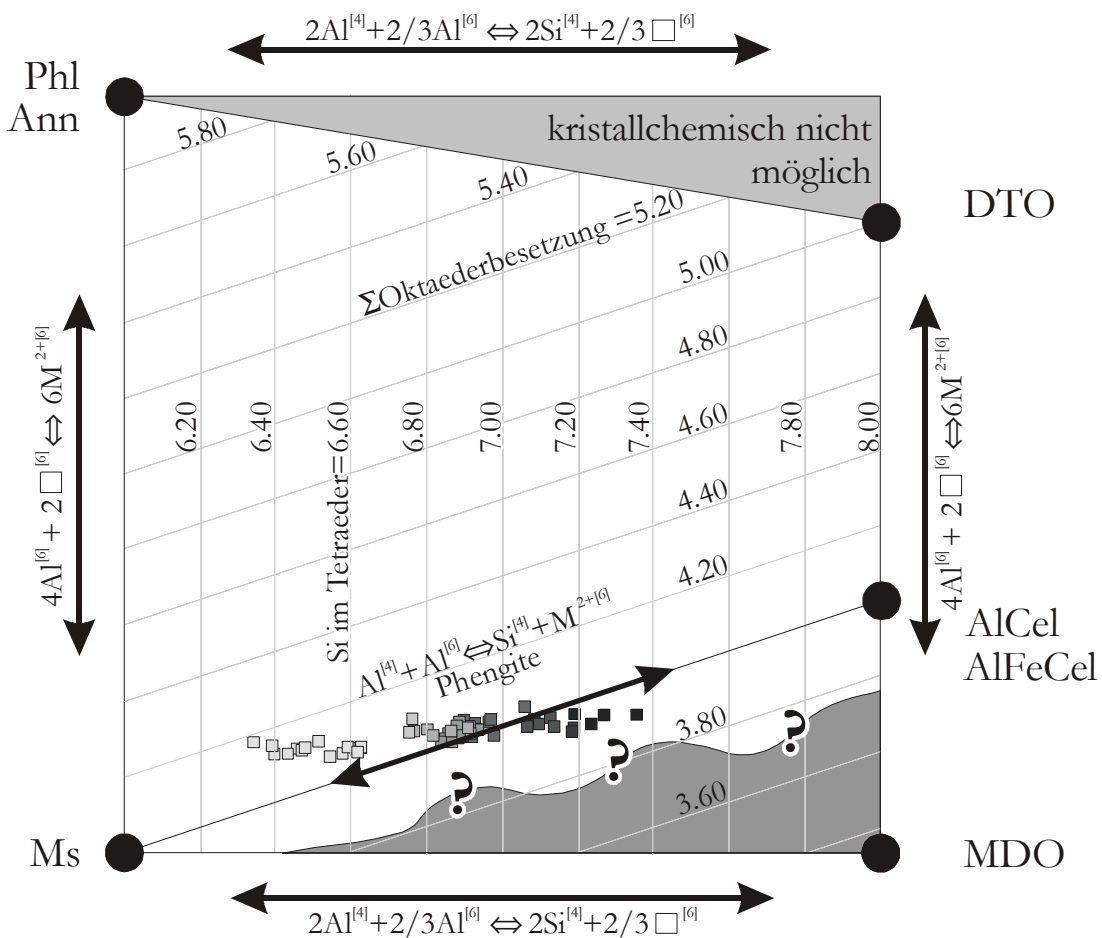


Abb. 9.32 Entwicklung der Phengite bei 45 kbar, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt als Funktion der Temperatur projiziert von Margarit und Ti-Glimmer. ■=700°C, ■=725°C, ■=750°C, ■=800°C, ■=825°C, ■=850°C, □=900°C.

Zeichnet man die Zusammensetzungen der hier synthetisierten Phengite, als Funktion des Drucks und der Temperatur, in das Diagramm von Abbildung 9.31 ein, so wird deutlich, daß die Substitution (2) in der verwendeten granitischen Zusammensetzung, das Druck-Temperatur-

Verhalten der Phengite bestimmt (Abb. 9.32 u. 9.33). Diese Substitution, welche zu Lücken in der Oktaederbesetzung aber insbesondere zur Eliminierung von tetraedrischem Aluminium führt, wird durch höhere Drücke und niedrigere Temperaturen begünstigt. Es ist jedoch fraglich, bis zu welcher Oktaederbesetzung unter 4 Atomen pro doppelter Formeleinheit die Struktur der Glimmer stabil bleibt.

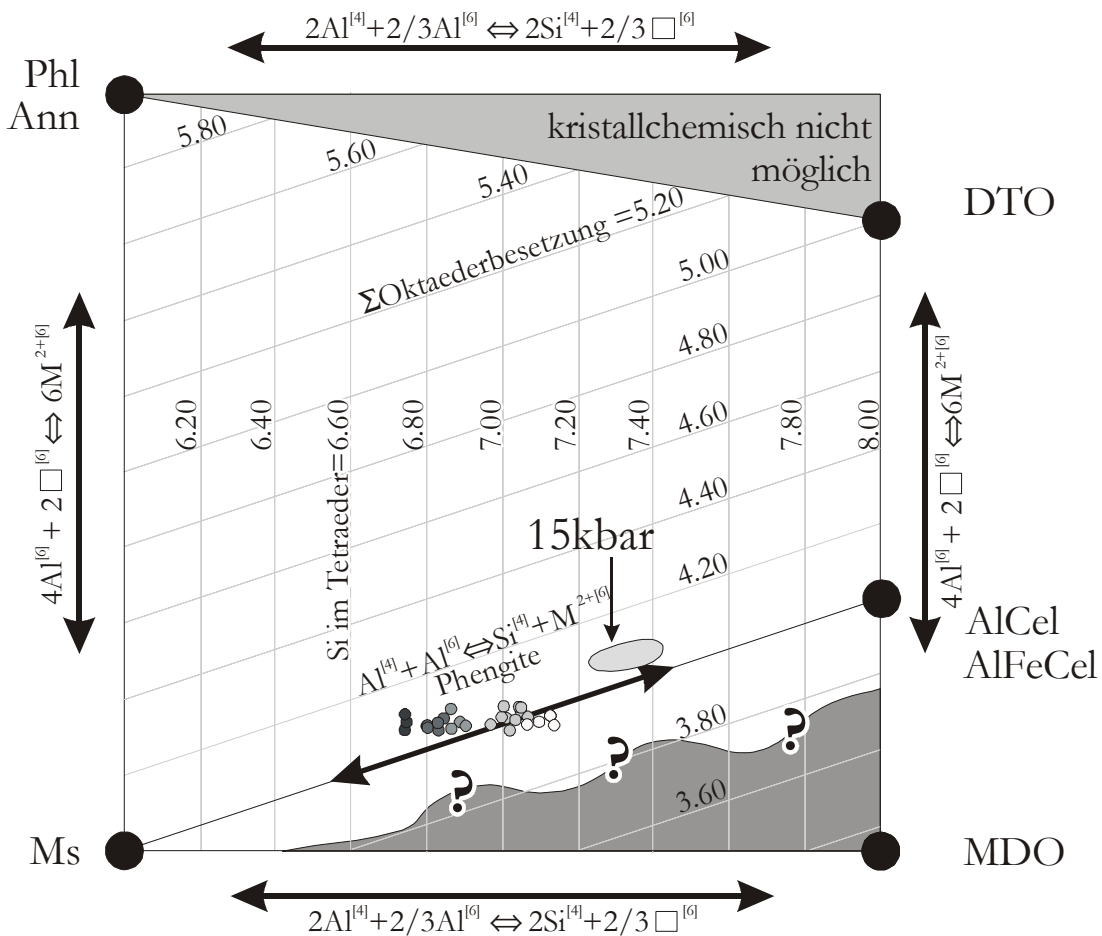


Abb. 9.33 Entwicklung der Phengite bei 750°C, 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt als Funktion des Drucks. Projektion von Margarit und Ti-Muskovit. ●=25 kbar, ●=30 kbar, ●=35 kbar, ●=40 kbar, ○=45 kbar. Die Phengite bei 15 kbar koexistieren mit Biotit, Kalifeldspat und Quarz.

Koexistiert Phengit mit Quarz, Kalifeldspat und Biotit bei relativ niedrigem Druck, (vgl. Abb. 9.33), erhöht sich der Siliziumgehalt in dieser nach Massonne & Schreyer (1987) kritischen Paragenese gegenüber den bisher diskutierten bei höheren Drücken gebildeten Phengiten erheblich

(Abb. 9.33). Der erhöhte M<sup>2+</sup>-Gehalt dieser Phengite ermöglicht eine weitgehende Substitution des oktaedrischen und tetraederischen Aluminiums gegen Silizium entsprechend der inversen Tschermaks-Substitution, ohne die eventuell kritische Grenze von 4 Oktaedern p.d.F.E. zu unterschreiten. Diese Tendenz bei relativ niedrigem Druck (15-25 kbar), möglichst die Zahl von 4 Oktaedern p.d.F.E. durch Einbau von drei zweiwertigen Kationen für zwei dreiwertige Kationen nicht zu unterschreiten, könnte der Grund dafür sein, daß die Substitution (2) als wichtige Grundlage der Phengitchemie für höhere Drücke noch nicht erkannt wurde. Diese Substitution zeichnet sich jedoch schon bei Massonne und Schreyer (1987) ab, die in ihrer Abbildung 4 zeigen, daß die Phengite mit steigenden Drücken bis 20 kbar immer niedrigere Oktaederbesetzungen haben. Massonne und Schreyer fanden jedoch in diesem niedrigen Druckbereich noch keine Zusammensetzung unterhalb von 4 Oktaedern p.d.F.E..

### 9.3.2 *Quenchprodukte der Fluidphase*

Zur Charakterisierung der Fluidphase können Analysen (Nr. 365-471) der jeweiligen Quenchprodukte herangezogen werden. Die dabei auftretenden Hauptprobleme sind die mit dem Quenchprodukt vermischten, mikrokristallinen Phengite und Klinopyroxene, die zur einer Verfälschung der Analysen führen können. Daneben muß immer berücksichtigt werden, daß es beim Abschrecken (Quenchen) der Fluidphase zu einer Differentiation in eine mehr silikatisch-glasige und eine wässrige Phase kommen kann. Dieser Effekt führt vor allem bei Versuchen mit wenig Schmelze zu einer asymmetrischen Verbreiterung des Fehlerbereiches und uneinheitlicheren Ergebnissen.

Berechnet man für einzelne Temperaturen bzw. Drücke jeweils eindimensionale Trends, so läßt sich für alle Quenchprodukte sagen, daß der Gehalt an Silizium, Aluminium, Titan, Eisen und Magnesium mit der Temperatur bei gleichbleibendem Druck steigt, während der Gehalt an Kalium und Kalzium sinkt (Abb. 9.34 und Abb. 9.35). Der Natriumgehalt fällt als Funktion der Temperatur bei niedrigen Drücken und steigt bei hohen Drücken von einem niedrigen Niveau aus an. Die Menge an Kalium und Kalzium im Quenchprodukt steigt mit Erhöhung des Drucks an, während die Menge an Silizium, Aluminium, Eisen, Magnesium, Titan und Natrium zurückgeht (Abb. 9.34 und Abb. 9.35).

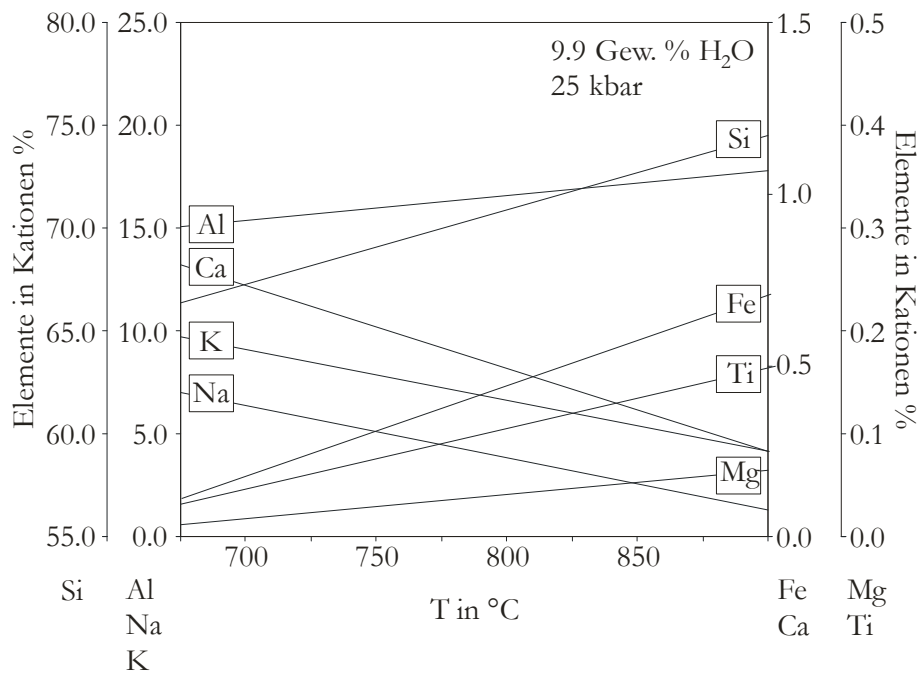


Abb. 9.34 Temperaturabhängigkeit der Kationengehalte in den Quenchprodukten der Fluidphase bei 25 kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Die Kationensumme wurde auf 100 normiert. Wasserstoff wurde nicht berücksichtigt.

Durch eine Anpassung der Analysen der Quenchprodukte an ein quadratisches, zweidimensionales Druck-Temperatur-Modell (Elementoxidgehalt =  $a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot T + d \cdot T^2 + e$ ) lassen sich die Ergebnisse auch im Hinblick auf ein nichtlineares Verhalten untersuchen (Abb. 9.36). Dabei wird deutlich,

daß die eindimensionalen linearen Anpassungen von Silizium, Aluminium, Kalium, Eisen, Magnesium und Titan durch die quadratischen zweidimensionalen Druck-Temperatur-Modelle bestätigt werden. Natrium und Kalzium zeigen hingegen deutlich ein nichtlineares Verhalten, was bei steigenden Temperaturen sowohl zu steigenden als auch fallenden Elementoxidgehalten führt (Abb. 9.36). Dies kann sowohl Ausdruck einer komplexen Wechselwirkung zwischen Fluidphase und festen Phasen sein als auch auf Mischanalysen aus abgeschreckter Fluidphase und Klinopyroxen zurückgehen. Letzteres erscheint sehr wahrscheinlich, da insbesondere Kalzium und Natrium im Klinopyroxen wesentlich höher angereichert sind als in der Fluidphase und deshalb bei Mischanalysen zu einer deutlichen Veränderung führen.

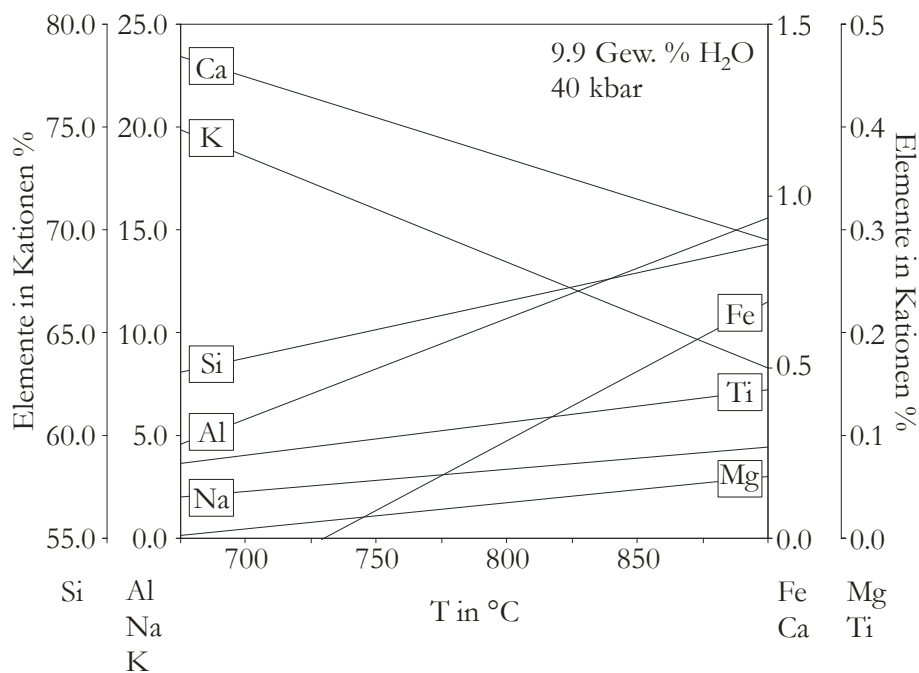


Abb. 9.35 Temperaturabhängigkeit der Kationengehalte in den Quenchprodukten der Fluidphase bei 40 kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Die Kationensumme wurde auf 100 normiert. Wasserstoff wurde nicht berücksichtigt.

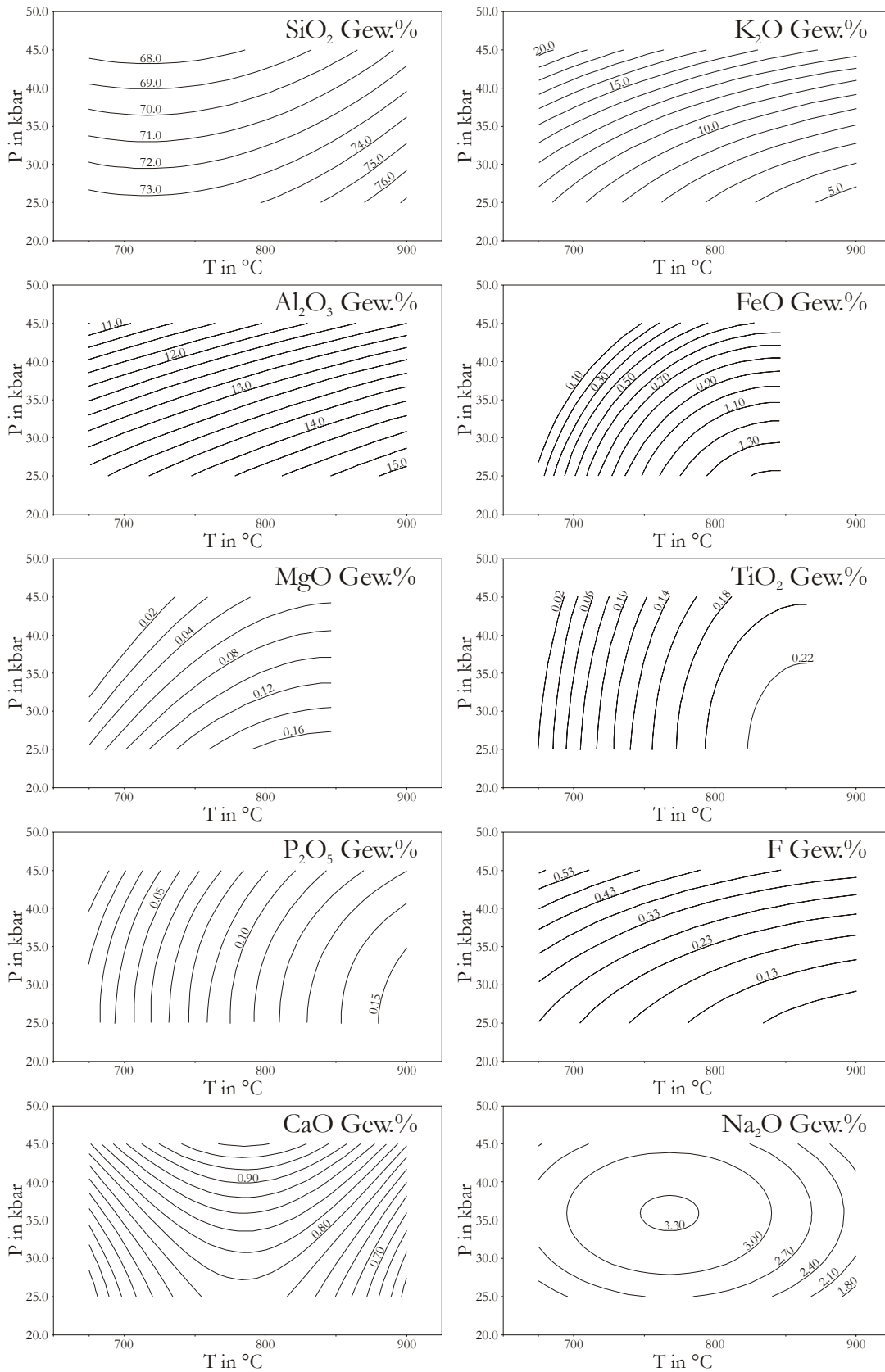


Abb. 9.36 Elementoxidgehalt in der Fluidphase basierend auf einer quadratischen Druck-Temperatur-Anpassung der Versuche bei 9.9 Gew. % H<sub>2</sub>O-Gehalt..



Der Kaliumgehalt in einzelnen Analysen der Quenchprodukte einiger Versuche bei 700-750°C und 35-45 kbar entspricht nicht dem allgemeinen Trend, sondern zeigt noch stärkere Anreicherungen. In solchen Versuchen kam es nach der Präparation der Anschliffe zu einem Wachstum von mehrere, hundert- $\mu\text{m}$ -großen Kristallen aus der Ebene des Schliffes heraus. Bei diesen Kristallen handelt es sich vermutlich um Alkalikarbonate oder Alkalihydrogenkarbonate, die sich unter Mitwirkung des Kohlendioxids und des Wassers der Luft aus der extrem alkalireichen Quenchphase gebildet haben.

Insgesamt gesehen entwickeln sich die Fluidphasen von einer alkalireichen, stark kaliumbetonten Zusammensetzung bei niedrigen Temperaturen, ( $\sim 675^\circ\text{C}$ ) zu einer alkaligranitischen Zusammensetzung bei erhöhten Temperaturen ( $\sim 900^\circ\text{C}$ ) (Abb. 9.37, Abb. 9.38). Eine Erhöhung des Druck begünstigt die Bildung besonders kaliumreicher Fluidphasen (Abb. 9.39). Betrachtet man die Fluidphasen bezüglich ihrer Ca-, Al-, Mg-, Si-, Na-, K-, Fe-, Ti-Gehalte in einem R1R2-Diagramm nach La Roche et al. (1980, Abb. 9.41) oder ihre Alkali-Silizium-Verhältnisse in einem TAS-Diagramm („total alkali silica diagram“, Le Maitre 1984, Abb. 9.40), so ergibt sich, daß sich bei niedrigen Temperaturen syenitische Fluidphasen bilden, deren Charakter mit steigender Temperatur immer granitischer wird. Bei höheren Drücken wandert die Zusammensetzung der Niedertemperaturfluide immer weiter in Richtung foyaitischer Zusammensetzungen. Der Druck hat allerdings keinen Einfluß auf die Richtung des Trends (Abb. 9.42).

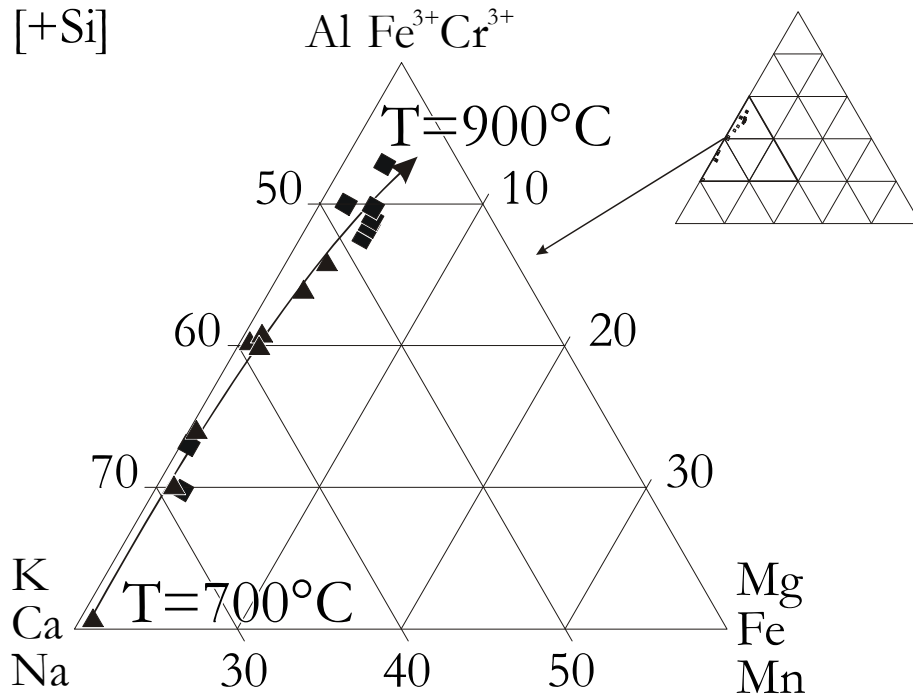


Abb. 9.37 Entwicklung der Fluidphase bei 30kbar (◆) und 40kbar (▲) mit steigender Temperatur im Konzentrationsdreiecksdiagramm (K, Ca, Na)-(Al, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>)-(Mg, Fe, Mn). Summe aller Kationenprozent = 100%

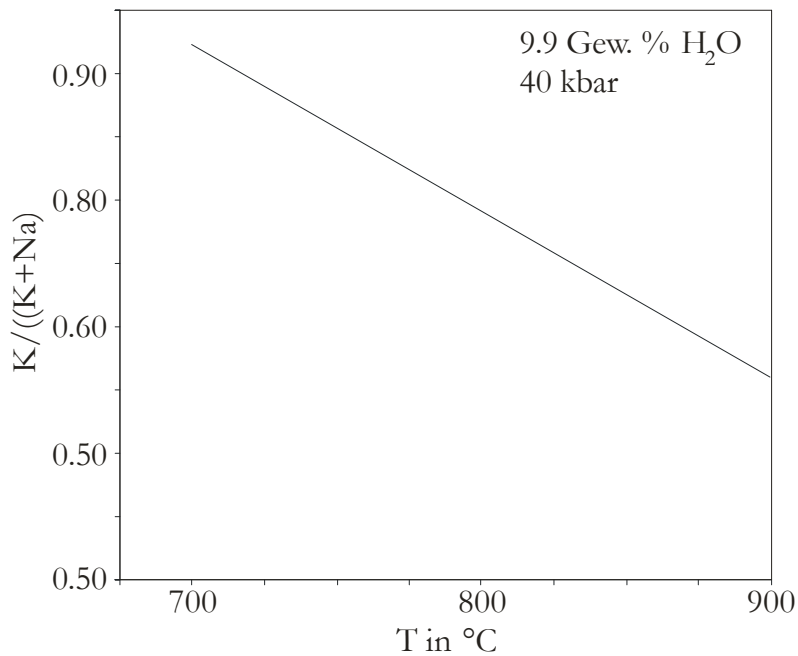


Abb. 9.38 Entwicklung des Kalium zu Alkalienverhältnisses in den Quenchprodukten der Fluidphase bei 40kbar, 9.9 Gew.%  $H_2O$ -Gehalt mit steigender Temperatur.

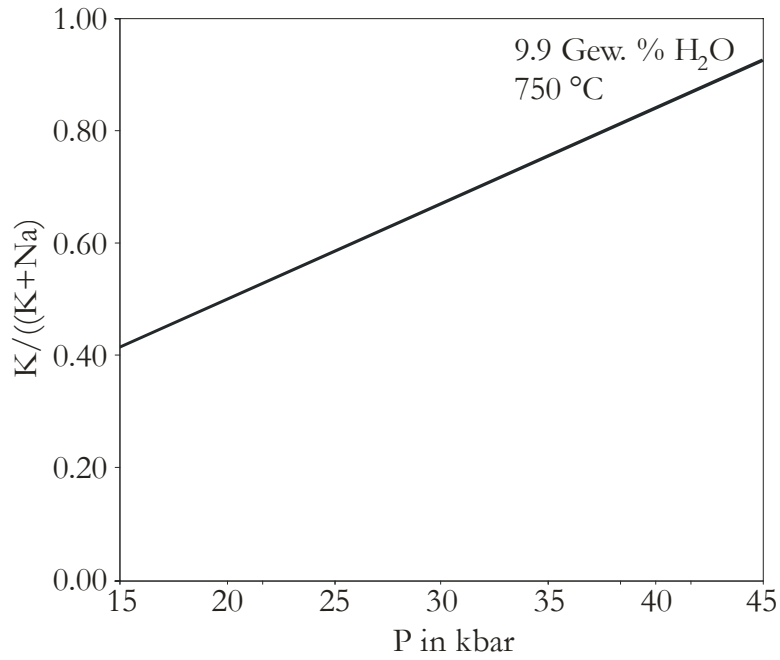


Abb. 9.39 Entwicklung des Kalium zu Alkalienverhältnisses in den Quenchprodukten der Fluidphase bei 40kbar, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt mit steigender Temperatur.

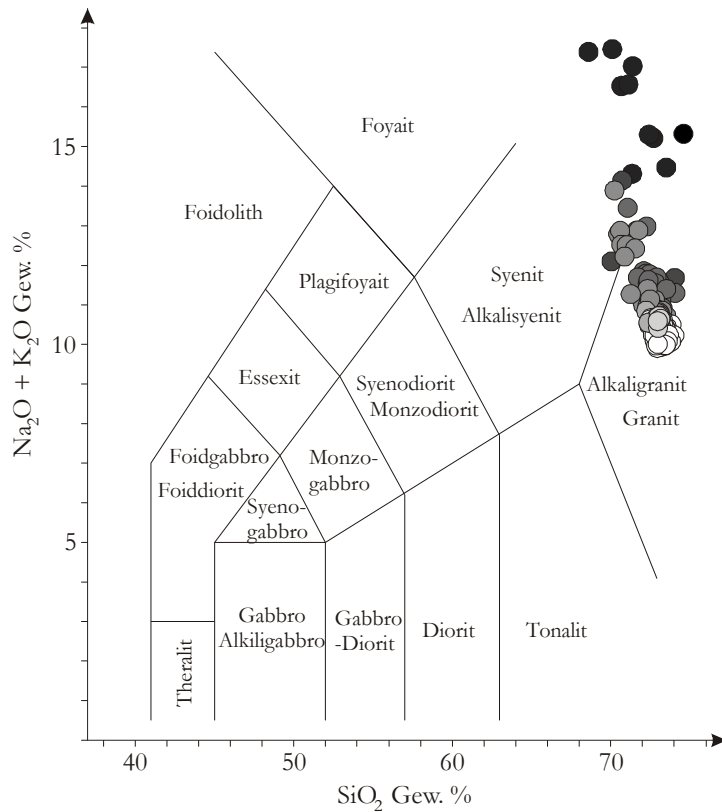


Abb. 9.40 Entwicklung der Fluidphase bei 35kbar mit steigender Temperatur im TAS-Diagramm nach Le Maitre (1984) Hell gefüllte Kreise stehen für steigende Temperatur. Weiß = 900°C, Schwarz = 675°C)

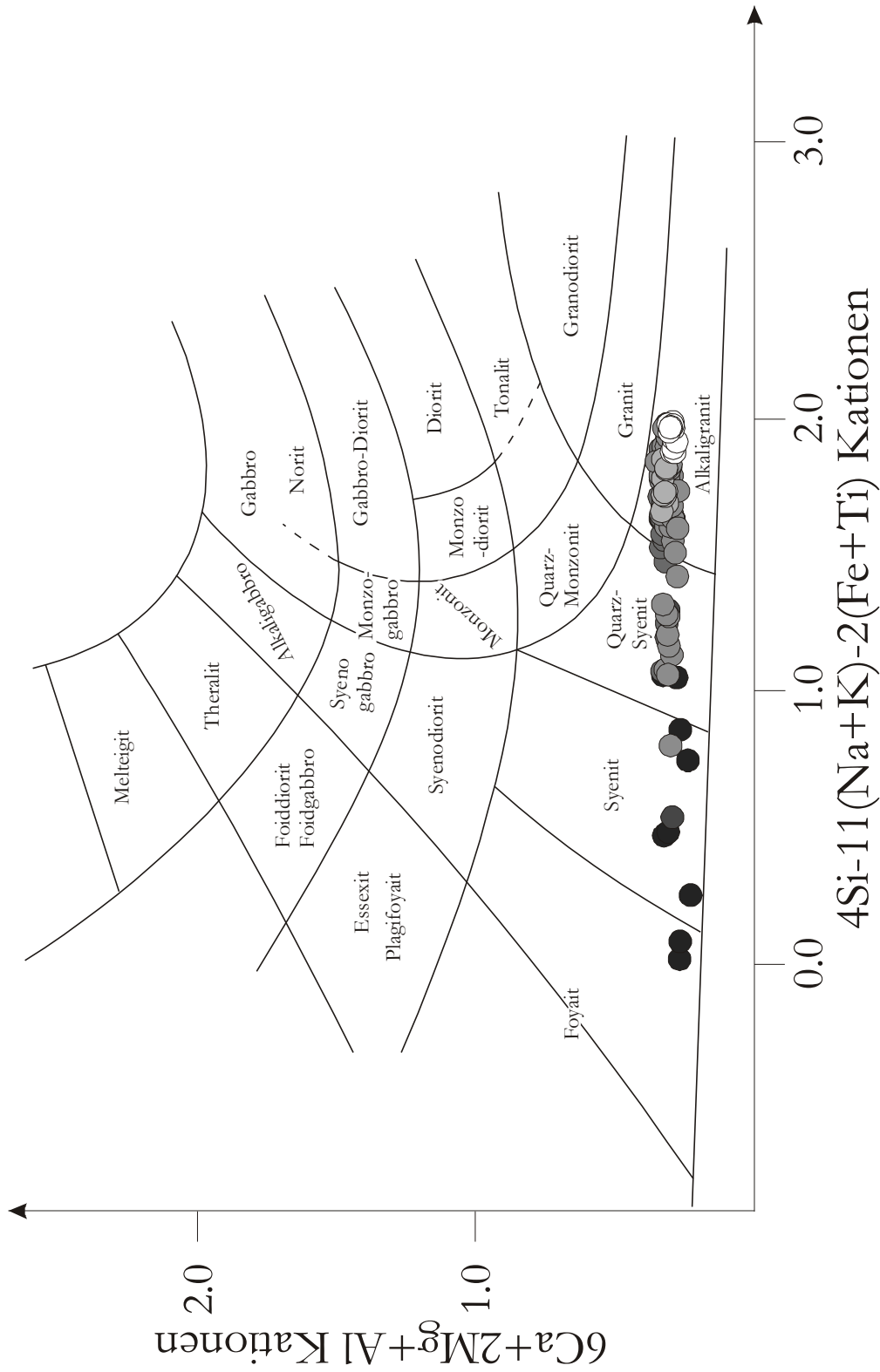


Abb. 9.41. Entwicklung der Fluidphase bei 35kbar mit steigender Temperatur im R1R2-Diagram nach La Roche et al. (1980)  
 Heller gefüllte Kreise stehen für steigende Temperatur. Weiß = 900°C, Schwarz = 675°C

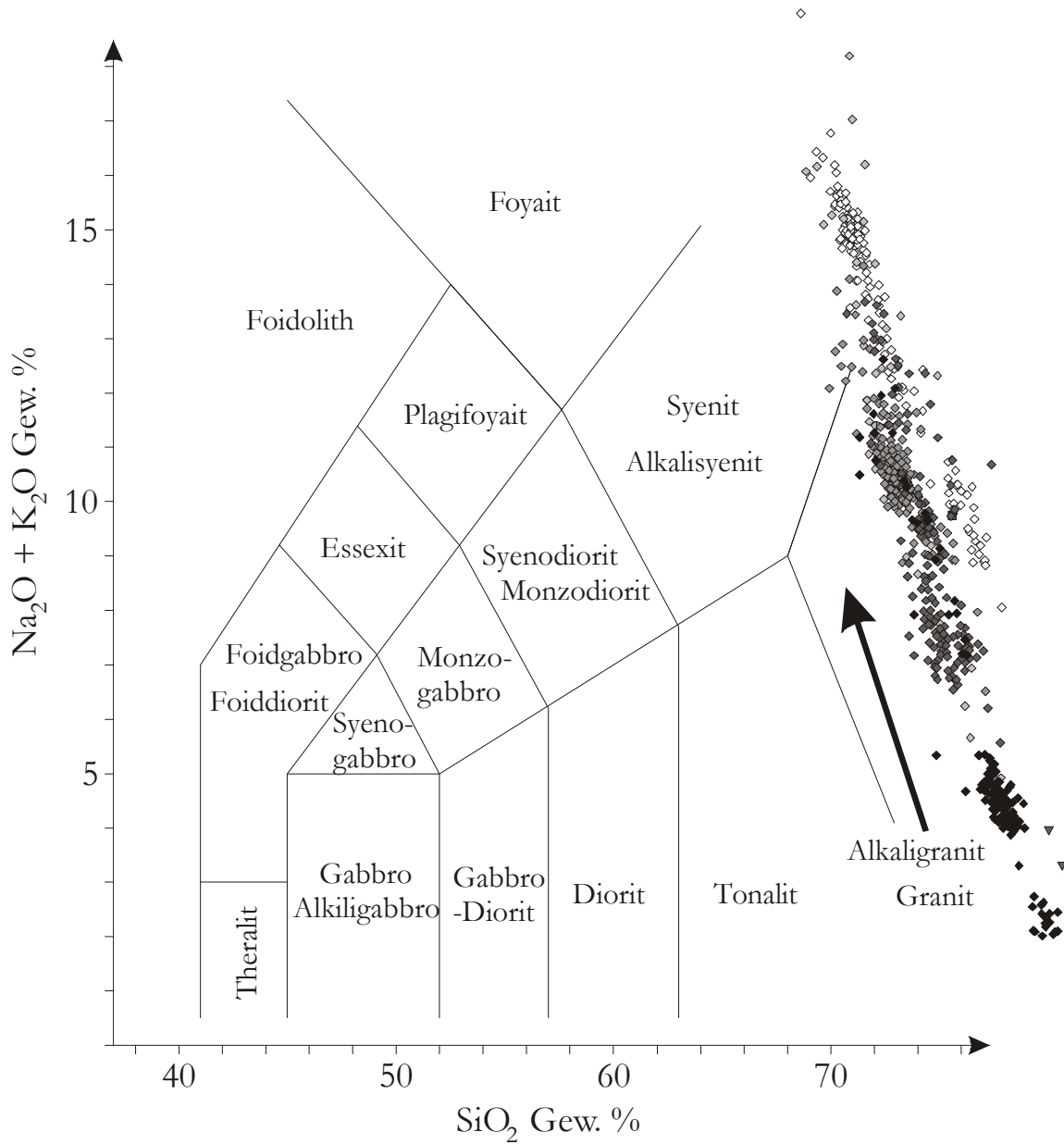
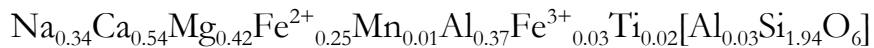


Abb. 9.42 Entwicklung der Fluidphase mit steigendem Druck im TAS-Diagramm nach Le Maitre (1984) Hell gefüllte Rauten stehen für steigende Drücke. Weiß = 45kbar, Schwarz = 25kbar), Temperaturen und Wassergehalte innerhalb der einzelnen Druckgruppen sind variabel.

### 9.3.2.1 Klinopyroxene

Als Beispiele für die Chemie der Klinopyroxene (Analysen 675-1042) seien hier einführend einige Strukturformeln mit ihren Bildungsbedingungen und Komponentenzerlegungen<sup>1</sup> exemplarisch angegeben:

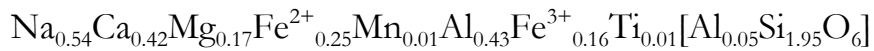
1. jadeitarm :



25 kbar, 1000°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O

Jd 33.5%, Ae 3.9%, Wo 27.2%, En 23.5%, Fs 7.5%, TSB 1.6%

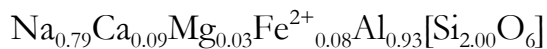
2. jadeitarm aus Reaktionssaum um ehemaligem Biotit:



25 kbar, 775°C, 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O

Jd 38.4%, Ae 15.7%, Wo 20.9, En 8.4%, Fs 12.3%, TSB 2.4%

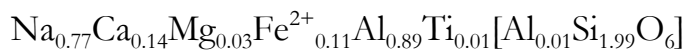
3. mittlerer Jadeitgehalt Randzusammensetzung:



40 kbar, 1000°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O

Jd 77.1%, Wo 6.76%, En 1.7%, Fs 5.5%, TSB 1.0%, ESB 6.6%

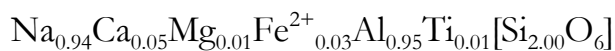
4. mittlerer Jadeitgehalt Kernzusammensetzung:



40 kbar, 1000°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O

Jd 78.2%, Wo 4.5%, En 1.3%, Fs 4.1%, ESB 10.9%

5. jadeitreich :



45 kbar, 725°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O

Jd 93.9%, Ae 0.2%, Wo 2.4%, En 0.4%, Fs 1.4%, ESB 0.5%

<sup>1</sup> für ESB (Eskola-Basis-Komponente) und TSB (Tschermaks-Basis-Komponente) vgl. Kap. 7

Diese Klinopyroxenanalysen können in drei Typen unterteilt werden:

- Randzusammensetzungen  
Beispiele: 1, 3 und 5 (Abb. 9.43)
- Kernzusammensetzung  
Beispiele 4 (Abb. 9.43)
- sehr feinkörnige Klinopyroxene in Reaktionssäumen um ehemalige Biotite. Beispiele 2

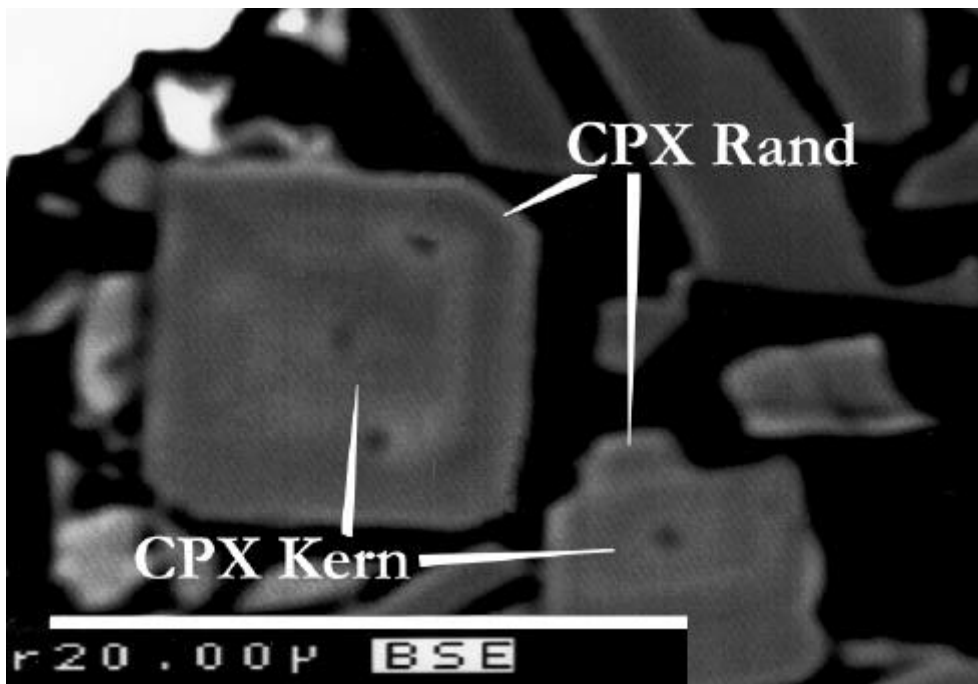


Abb. 9.43 Zonierte Klinopyroxen aus dem Versuch bei 45 kbar 900 °C  
5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt.

Während bei den genannten Beispielen 3 und 5 der Jadeitgehalt bei 675-750°C ca. 80-90 Mol% beträgt, liegt er bei den Klinopyroxenen, die aus Biotit gebildet wurden, bei ca. 50 Mol% (Beispiel 2). Demgegenüber beträgt der Unterschied zwischen einer Kern- und einer Randanalyse meist nur 0-5 Mol% Jadeit. In vielen Fällen ist außerdem die Unterscheidung von Kern und Rand aufgrund der Korngröße gar nicht möglich. Deshalb kommt es häufig durch Mischanalysen zwischen Kern und Rand zu einer höheren Streuung der Ergebnisse. Da die Randbreite mit der Korngröße ansteigt,

kann es ausgeschlossen werden, daß es sich bei der Bildung des Randes um einen Quencheffekt handelt.

Da der Kaliumgehalt der größeren Klinopyroxene aus den Kernanalysen im Bereich des Meßfehlers lag bzw. kein Kalium nachgewiesen werden konnte, wurde daraus geschlossen, daß die Jadeite kein Kalium einbauen. Aus diesem Grund wurde der Kaliumgehalt neben der Analysensumme als Qualitätsmerkmal für die Analysen der Klinopyroxene herangezogen. Die Datenmenge und Datengüte der Kernanalysen und der Analysen von Klinopyroxenen in Reaktionssäumen um Biotit sind sehr gering; daher ist eine verlässliche Betrachtung der Entwicklung dieser Klinopyroxene im Druck-Temperaturfeld nicht möglich. Im Folgenden werden deshalb nur Randanalysen und Analysen von sehr kleinen Klinopyroxenen betrachtet, bei denen Rand und Kern nicht zu unterscheiden sind.

Der Gehalt an Natrium und Aluminium in den Klinopyroxenen sinkt mit steigender Temperatur, während der Gehalt an Kalzium, Eisen und Magnesium zunimmt (Abb. 9.44). Der Anstieg bzw. der Abfall der Elemente mit der Temperatur hängt aber auch vom Druck ab (Abb. 9.45). Eine Erhöhung des Drucks hat eine geringere Steigung der Temperaturabhängigkeit zur Folge. Der Jadeitgehalt steigt in der Regel mit Erhöhung des Drucks an. Die Abnahme des Jadeitgehalts mit steigendem Druck unterhalb von 750 °C bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O könnte eine Folge der großen Streubreite der Analysen sein. Die Abweichung könnte im Fehlerbereich der Regression liegen. Bei Versuchen mit geringen H<sub>2</sub>O-Gehalten (1.8-5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O) und hohen Drücken (30-45 kbar) liegt die Differenz zwischen den Jadeitgehalten bei unterschiedlichen Drücken im Bereich des Fehlers. Trotzdem läßt sich zwischen den Versuchen bei 25kbar und den Versuchen bei 30kbar eine deutliche Steigerung des Natrium- und Aluminiumgehalts zu



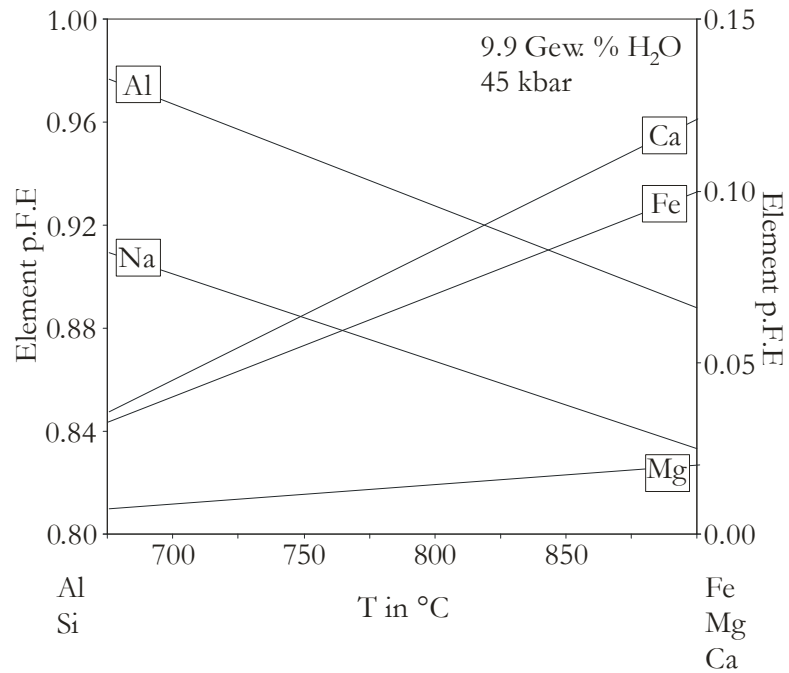


Abb. 9.44 Temperaturabhängigkeit der Kationengehalte in den Klinopyroxenrändern bzw. feinkörnigen Klinopyroxenen aus den Versuchen bei 45 kbar 700-900°C.

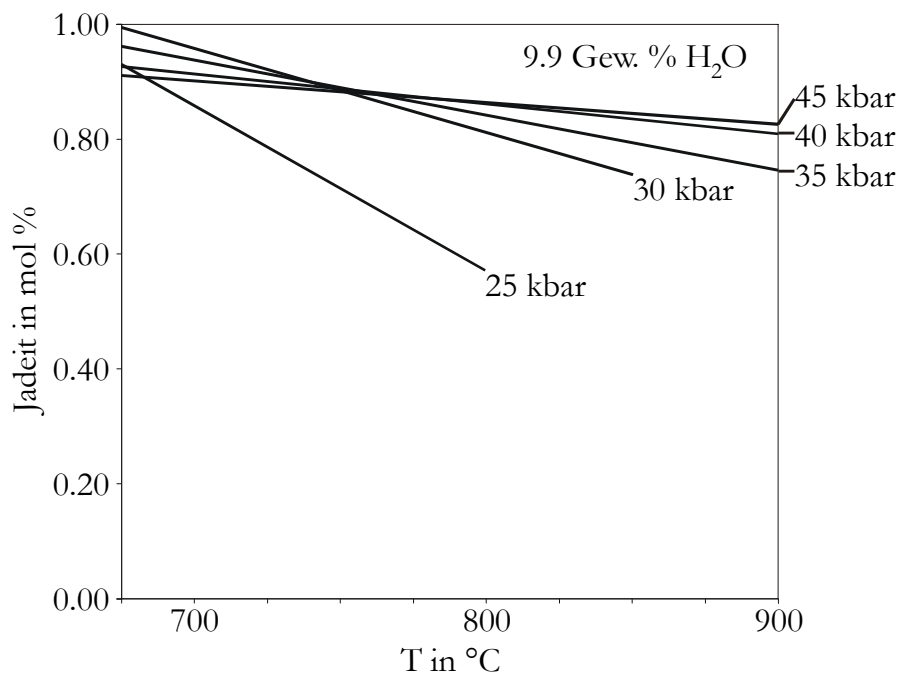


Abb. 9.45 Temperatur- und Druckabhängigkeit des Jadeitgehalts der Klinopyroxenen aus den Versuchen mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O

höheren Drücken hin ablesen. Entsprechend der Zunahme der Jadeitkomponente fällt der Gehalt aller anderen Komponenten ab.

Auffällig ist in einigen Analysen ein gegenüber Natrium deutlich erhöhter Aluminiumgehalt (siehe Beispielanalysen 4 u. 5). Dies spricht für das Vorhandensein einer Eskola- ( $\text{Ca}_{0.5} \bullet_{0.5} \text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_8]$ ) oder Ca-Tschermakskomponente ( $\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$ ) im Klinopyroxen. Der Kalziumgehalt der Pyroxene reicht jedoch nicht zur Bildung von Eskola- und Ca-Tschermak-Komponenten aus. Deshalb wäre es möglich, daß andere zweiwertige Kationen zur Bildung ähnlicher Komponenten herangezogen werden müssen. Dies erfordert eine neue Darstellungsform der Klinopyroxenkomponenten. Dazu kann man aus der Eskolakomponente  $\text{Ca}_{0.5} \bullet_{0.5} \text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  durch den Austausch von  $1/3$  Aluminium für ein  $1/2$  Kalzium eine hypothetische Eskola-Basis-Komponente  $\bullet_{0.66} \text{Al}_{1.33}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (ESB) ableiten. Aus der Ca-Tschermakskomponente  $\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$  kann durch den Austausch von 2 Aluminium für ein Kalzium und ein Silizium eine hypothetische Tschermak-Basis-Komponente  $\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{O}_8]$  (TSB) abgeleitet werden. Zur Darstellung von Hedenbergit und Diopsid dienen Enstatit (En), Ferrosilit (Fs) und die Wollastonitkomponente  $\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (Wo). Berechnet man statt der eigentlichen kalziumführenden Komponenten Eskolapyroxen, Tschermakpyroxen, Diopsid und Hedenbergit die Basiskomponenten wie Eskola-Basis, Tschermak-Basis, Enstatit, Ferrosilit und Wollastonit, so können die Klinopyroxene in Komponentenform eindeutig dargestellt werden, d.h. die Gehalte der einzelnen Komponenten sind nicht von der Reihenfolge der Berechnung abhängig.

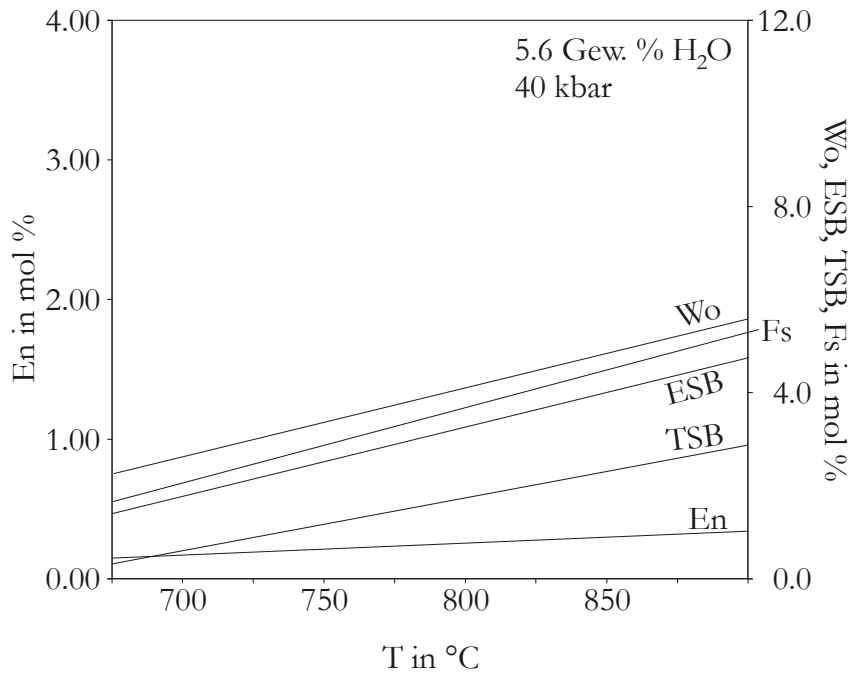


Abb. 9.46 Temperaturabhängigkeit der Eskola-Basis- (ESB,  $\text{Al}_{1.33}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), Tschermaks-Basis- (TSB,  $\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{O}_6]$ ), Enstatit- (En), Ferrosillit- (Fs) und Wollastonit-Komponente (Wo,  $\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ) der Klinopyroxene aus den Versuchen bei 40 kbar mit 5.6 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$

Für das Vorhandensein einer eskola- bzw. tschermaksähnlichen Komponente spricht ein ständiger Anstieg der Eskola- und Tschermaks-Basis-Komponente mit steigender Temperatur (Abb. 9.46). Es ist damit unwahrscheinlich, daß nur die Verunreinigung mit benachbarten Quenchprodukten zu einem erhöhten Aluminiumgehalt in den Pyroxenen geführt haben.

### 9.3.2.2 Feldspat und Feldspathydrat

Kalifeldspat (Analysen Kf+Khy 477-608), der vor allem in Versuchen mit weniger als 9.9 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$  auftritt, enthält bei steigender Temperatur zunehmend mehr Natrium (Abb. 9.47). Der Natriumgehalt geht mit steigendem Druck zurück, und die Temperaturabhängigkeit wird vermindert. Daneben sind nur Spuren an Kalzium und Eisen im Kalifeldspat vorhanden. Die Strukturformel eines Kalifeldspat, aus dem Versuch bei 25 kbar, 900°C lautet:  $\text{K}_{0.83}\text{Na}_{0.16}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ .

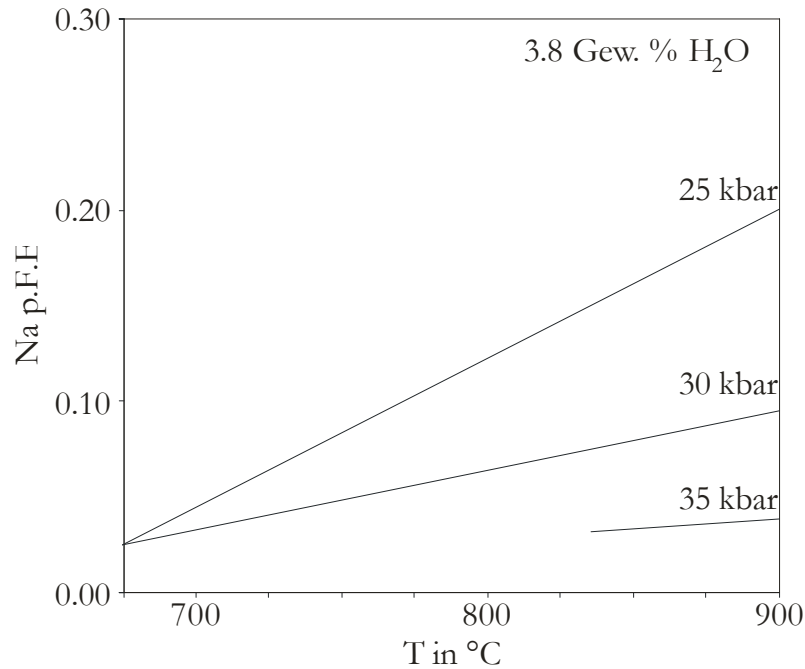


Abb. 9.47 Temperatur- und Druckabhängigkeit des Natriumgehalts des Kalifeldspats aus den Versuchen mit 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O

Das bei höheren Drücken auftretende Kalifeldspathydrat zeigt nur sehr geringe Natriumgehalte von maximal 0.02 Atomen p.F.E.. Im gleichen Konzentrationsbereich wie beim Natrium war in fast allen Analysen des Kalifeldspathydrats Fluor enthalten. Die Zusammensetzung bei 40 kbar, 750 °C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O mit der Formel:  $K_{0.98}Na_{0.01}[AlSi_3O_8] \cdot H_2O$  (enthält zusätzlich 0.01 Fluoratome p.F.E.) steht stellvertretend für alle Versuchsprodukte mit Kalifeldspathydrat.

Die bei 15 und 20 kbar gebildeten Albite enthalten z.T. erhebliche Mengen an Kalifeldspatkomponenten (max. 37 Mol%). Der Gehalt an Kalifeldspat ging in den Versuchen bei 15 kbar mit steigendem H<sub>2</sub>O-Gehalt von 37 Mol% bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O auf 6 Mol% bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O zurück. Dies könnte auf die mit höheren H<sub>2</sub>O-Gehalten steigende Menge an Fluidphasen zurückgehen, wodurch mehr K<sub>2</sub>O in der Fluidphase gebunden wird.

### 9.3.2.3 Granat

Granat kann aufgrund der niedrigen Eisen-, Magnesium- und Mangangehalte in der granitischen Ausgangszusammensetzung nur in geringen Mengen gebildet werden. Dies erschwert nicht nur das Auffinden von Granaten in den Versuchsprodukten, sondern führt wohl auch dazu, daß neuer Granat (Analysen 1059-1123) bevorzugt auf Granatrelikten (Analysen 1169-1250) des Ausgangsmaterials aufwächst. Die so entstehenden Granate zeigen einen deutlichen Zonarbau (Abb. 9.48). Der Kern besteht dabei aus einem fast unveränderten Bruchstück des Ausgangsmaterials. Die Granate des Ausgangsmaterials zeigen überwiegend ein Verhältnis von ca. 50 Mol% Grossular zu 40 Mol% Almandin (Abb. 9.48). In Versuchen bei hohen Temperaturen nimmt das Granatwachstum zu, so daß sich auch neue, homogene Granate bilden.

In den Versuchsprodukten treten drei Typen von neugebildeten Granaten auf. Diese lassen sich durch Ihre Zusammensetzung und ihre Bildungsbedingungen unterscheiden:

- Typ I: bildet sich bei hohen Temperaturen und relativ niedrigen Drücken (ab  $\sim 800$  °C, bis  $\sim 40$  kbar) und ist almandinbetont (z.B. Abb. 9.48).
- Typ II: bildet sich bei niedrigen Temperaturen und hohen Drücken (bis  $\sim 750$  °C, ab  $\sim 35$  kbar) und ist grossularbetont.
- Typ III: bildet sich beim Abbau von Biotit und stellt eine nur lokal stabile Phase dar, d.h. über das gesamte Versuchsvolumen betrachtet ist dieser Typ wohl metastabil. Dieser Granattyp (Analysen 1251-1256) ist extrem almandin- und andraditbetont und wird durch niedrige Temperaturen und niedrige H<sub>2</sub>O-Gehalte begünstigt (vgl. Abb. 9.7).

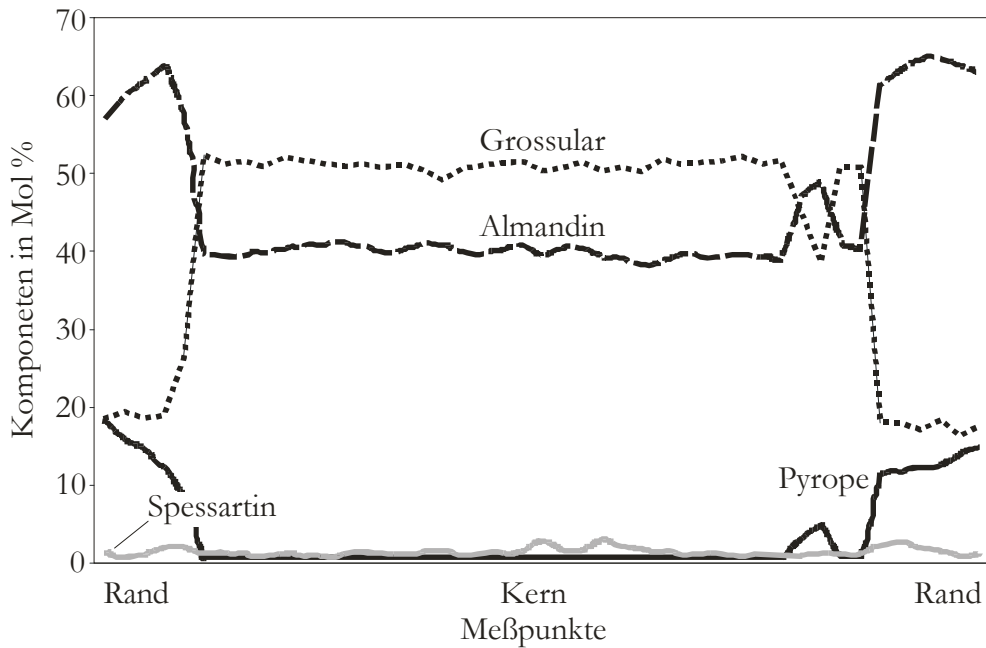


Abb. 9.48 Granatzonierung aus dem Versuch bei 25 kbar, 900°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Deutlich ist der "alte" Kern und der neu gebildete Anwachssaum zu unterscheiden. Gesamtlänge des Scans 70 µm. Analysen 1124-1168.

Neugebildete Granate des Typs I sind meist sehr almandinreich (50-70 Mol%) und grossulararm (10-35 Mol%) (Abb. 9.49). Ein typischer bei 35 kbar, 875 °C und 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt gebildeter Granat des Typs I hat die Strukturformel:



Der Pyropgehalt im Granat Typ I nimmt mit steigender Temperatur und abnehmenden Drücken zu. Bei 20 kbar, 800°C und 1.8 Gew.% H<sub>2</sub>O wurde der maximale Gehalt von 27 Mol% Pyrop im Granat beobachtet. Mit steigendem Druck gehen sowohl die Almandin- als auch die Pyropkomponente zugunsten der Grossularkomponente zurück (Abb. 9.49).

In den Granaten des Typ I werden auch Natrium, Titan und Phosphor eingebaut. Der Titangehalt erreicht maximal 1.63 Gew.% TiO<sub>2</sub> (ca. 0.1 Atome p.F.E.), der Phosphorgehalt 0.46 Gew.% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ca. 0.03 Atome p.F.E.)

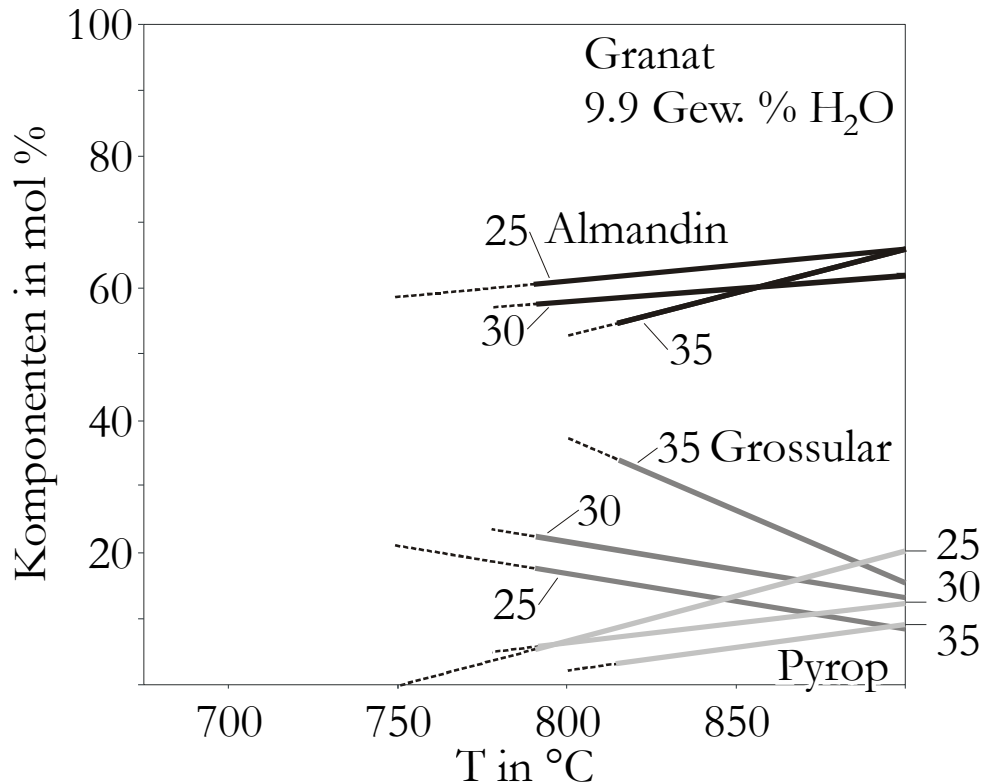


Abb. 9.49 Komponenten der Granate des Typ I aus den Versuchsprodukten mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O als Funktion von Druck und Temperatur. Gebrochene Linien stellen die mögliche Fortsetzung der Trends dar (vgl. Abb. 9.54).

und der Natriumgehalt 0.42 Gew.% Na<sub>2</sub>O (ca. 0.07 Atome p.F.E.). Sowohl Phosphor als auch Titan steigen mit dem Natriumgehalt an (Abb. 9.50, A & B). Gilt für die Substitution von Phosphor und Natrium die Gleichung:  $\text{Na}^{+[8]} + \text{P}^{5+[4]} \Leftrightarrow \text{M}^{2+[8]} + \text{Si}^{4+[4]}$  Thompson (1975), so ist die Beziehung zwischen Natrium und Titan durch ein Titan gegen Natrium  $p_{\text{korrigiert}}$  (Natrium – Phosphor) Diagramm darstellbar. (Abb. 9.50, C). Als Substitution für Natrium und Titan käme die von Bishop et al. (1978) beschriebene Substitution:  $\text{Na}^{+[8]} + \text{Ti}^{4+[6]} \Leftrightarrow \text{M}^{2+[8]} + \text{M}^{3+[6]}$  in Frage. Abbildung 9.50 C zeigt jedoch, daß das Verhältnis von Titan zu Natrium $p_{\text{korrigiert}}$  im Granat nicht wie nach der Substitutionsgleichung zu erwarten 1 : 1 beträgt sondern ca. 1 : 0.57. Bei phosphorfreen Analysen kommt das Verhältnis zwischen Natrium und Titan mit 1:0.9 dem idealem Verhältnis von 1:1 sehr nahe (Abb. 9.50, D). Es gibt zwei Möglichkeiten

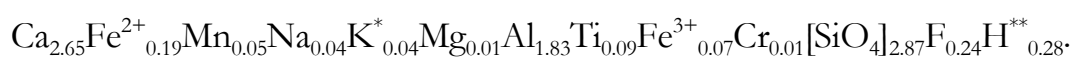
diese Beobachtungen zu interpretieren. Zum einen wäre es möglich, daß die Abweichungen des Gesamtverhaltens aller Analysen auf Meßfehler zurückzuführen sind, zum anderen könnte eine weitere Substitution beteiligt sein, die Natrium aus dem Granat entfernt. Da keine direkte Abhängigkeit des Natriumgehalts zu einem anderen Element außer Titan und Phosphor gefunden wurde, kommt für eine Verringerung des Natriumgehalts nur noch eine Substitution in Frage, bei der sich die Wertigkeit eines Elements ändert, z.B.:

- $\text{Na}^{+[8]} + \text{Ti}^{4+[6]} \Leftrightarrow \text{M}^{2+[8]} + \text{Ti}^{3+[6]}$  oder
- $\text{Na}^{+[8]} + \text{Fe}^{3+[6]} \Leftrightarrow \text{M}^{2+[8]} + \text{Fe}^{2+[6]}$ .

Um eine solche Substitutionen zu belegen, wären jedoch spektroskopische Untersuchungen in kontrollierbaren Modellsystemen notwendig. Die hier in einem natürlichem System gewonnenen Daten eignen sich, aufgrund ihrer heterogenität und geringen Konzentration, nicht für einen solchen Nachweis.

In Versuchen bei niedrigen Drücken und erhöhten Temperaturen, in denen sich wenig Fluidphase bildet, diese aber alle Körner benetzt (z.B. 15 kbar, 750°C, 1.8 Gew.% H<sub>2</sub>O; 25 kbar, 900°C, 1.8 Gew.% H<sub>2</sub>O), wurden Granate mit hohen Spessartingehalten von bis zu 17 Mol% gefunden.

Neugebildete Granate der Typs II bestehen aus ca. 80-90 Mol% Grossular, 3-8 Mol% Almandin, 1-2 Mol% Spessartin und enthalten 0.1-0.4 Gew.% Fluor sowie 1-1.7 Gew.% Titan. Die Strukturformel eines Granats Typ II aus dem Versuch bei 45kbar 700°C, 3 Gew.% H<sub>2</sub>O lautet:




---

\* vermutlich Verunreinigung

\*\* berechnet, siehe Anhang



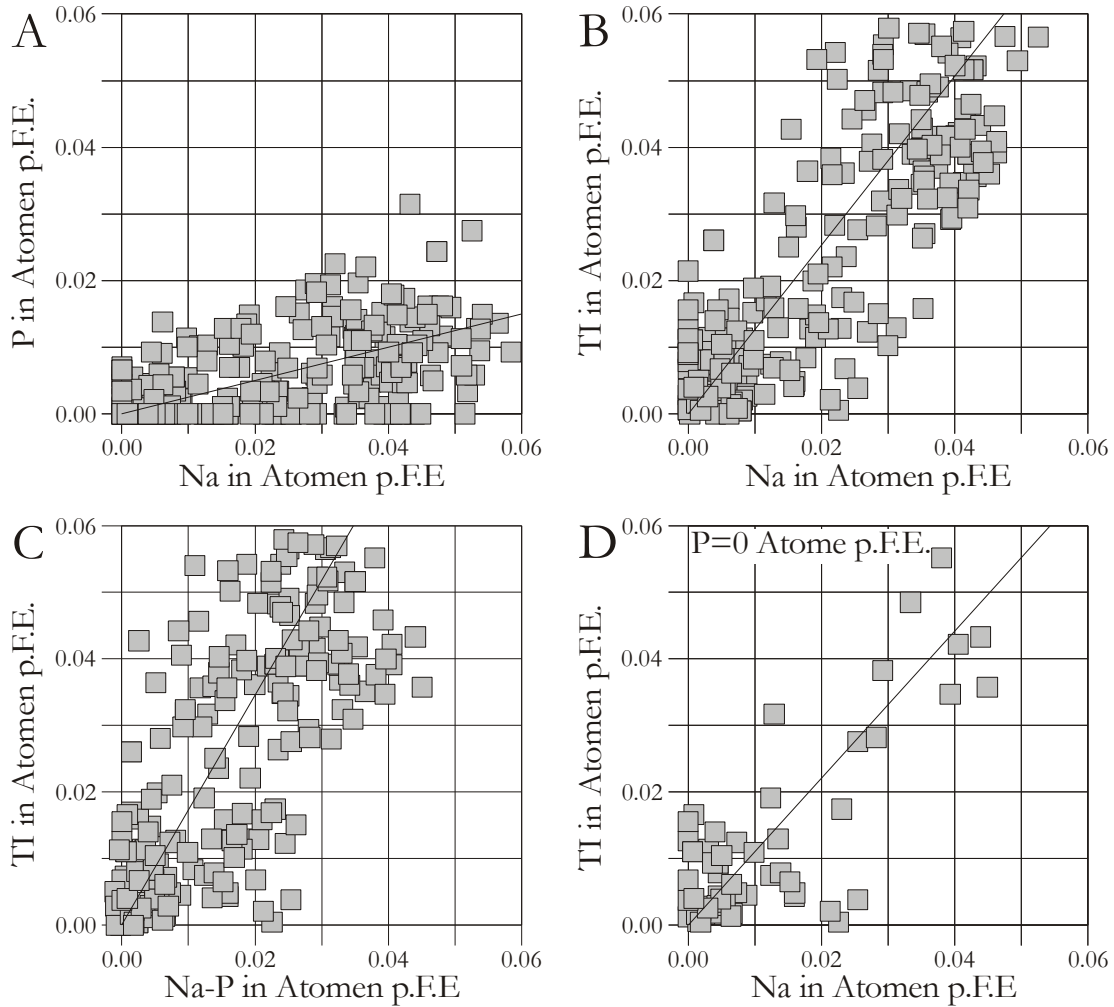
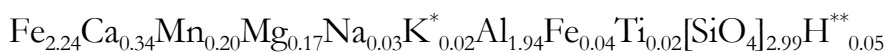


Abb. 9.50 Diagramm A: Abhängigkeit von Phosphor und Natrium. Diagramm B: Abhängigkeit von Titan und Natrium. Diagramm C: Abhängigkeit von Titan und (Natrium minus Phosphor) Diagramm. Basis der Abbildung: 150 zufällig ausgewählte Analysen aus den Versuchen bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt. Für das Diagramm C wurden nur die 58 phosphorfreen Analysen der 150 aufgewählten verwendet. Die eingezeichneten Regressionsgeraden zeigen den numerischen Trend der Analysen an.

Der Grossulargehalt in diesem Typ sinkt mit steigender Temperatur ab, während der Almandingehalt zunimmt. Höhere Drücke begünstigen wie beim Typ I den Einbau von Titan, Natrium und Phosphor aber auch von Fluor. Der Substitutionsmechanismus für den Einbau von Fluor dürfte lauten:  $4\text{O}^{2-} + \text{Si}^{4+[4]} \rightleftharpoons 4\text{F}^- + \bullet^{[4]}$ . Die meisten Analysen enthalten geringe

Mengen von Kalium, da es aufgrund der kleinen Korngrößen zu Mischanalysen mit der Umgebung kommt.

Die in den Reaktionssäumen um Biotit neugebildeten Granate des Typs III, die nicht mit der gesamten Probe im Gleichgewicht stehen, enthalten ca. 75-85 Mol% Almandin und sind nur an ihrem charakteristischen Gefüge zu erkennen (Abb. 9.7, I). Der Anteil der weiteren Komponenten kann in erheblichem Maße schwanken. Die Strukturformel eines Granates aus dem Versuch bei 45 kbar, 775 °C 1.9 Gew.%H<sub>2</sub>O lautet:



Granate, die zwar Teil eines Abbaugefüges sind, aber mit erheblichen Mengen Fluidphase koexistieren, (Abb. 9.7, II + III) entsprechen in ihrer Zusammensetzung dem Typ I.

#### 9.3.2.4 Epidot

Es kommen zwei unterschiedliche Epidotphasen (Analysen 804-873) in den Versuchsprodukten vor, die entweder zu über 90% aus Epidot i.e.S. ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$ ) und Klinozoisit ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$ ) bestehen oder deutliche Allanitgehalte  $\text{Ca}(\text{REE})\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_7/\text{SiO}_4/\text{O}/\text{OH}]$  aufweisen. Die allanitarmeren Relikte stammen aus dem Ausgangsmaterial. Die Allanite Aln ~20-49 Mol%, Czo 16-37 Mol%, Ep ~13-47 Mol%) können sowohl Relikte als auch Neubildungen sein. Für die folgenden Ergebnisse wurden nur Randanalysen der Allanite verwendet, da so am ehesten gewährleistet ist, daß die gemessenen Epidotphasen mit den Versuchsprodukten im Gleichgewicht standen. Trotzdem müssen diese Ergebnisse aufgrund der geringen Datenmenge mit Vorsicht betrachtet werden. Die Berechnung eines

---

\* vermutlich Verunreinigung

\*\* berechnet, siehe Anhang

aussagekräftigen Trends ist nur für die Versuche mit 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O möglich. Für alle anderen Wassergehalte ist eine sinnvolle Berechnung nur für einzelne Drücke möglich.

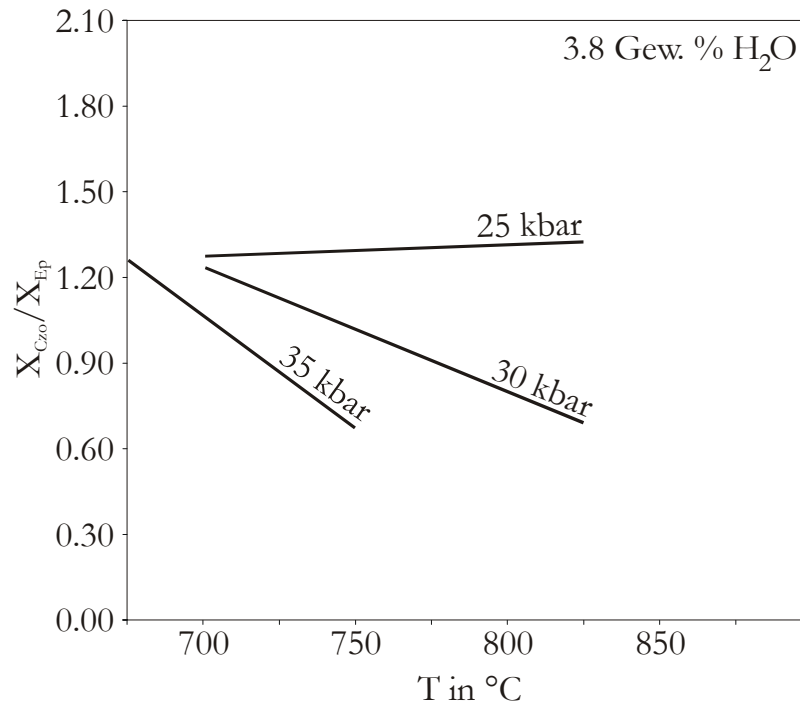


Abb. 9.51 Druck- und Temperaturabhängigkeit des des Konzentrationsverhältnisses zwischen Klinozoisit und Epidot in den Allaniten aus den Versuchsprodukten bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O.

Das Verhältnis von Klinozoisitgehalt zu Epidot der Allanite fällt mit steigender Temperatur und steigendem Druck ab (Abb. 9.51). Dies bedeutet, daß mit steigender Temperatur mehr dreiwertiges Eisen, an Stelle von Aluminium, in den Allaniten eingebaut wird. Der Allanitgehalt bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O beträgt ca. 20-49 Mol% und zeigt keinen zuverlässigen Trend an.

#### 9.3.2.5 Apatit

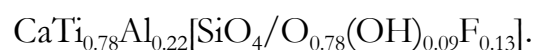
Die Hauptbestandteile des Apatits (Analysen 622-708) sind Kalzium, Phosphor, Fluor, Sauerstoff und Wasserstoff. Daneben treten in den Analysen Spuren von SiO<sub>2</sub> (~0.2-0.5 Gew.%) und Eisenoxid (~0.1-0.3

Gew.%) auf. Chlor ist in den Apatiten nicht enthalten. Die niedrigen Oxidsummen könnten sowohl auf Gehalt an nicht gemessenen Selten-Erdenelementen, Kohlenstoff oder anderen Elementen als auch auf Probleme bei der Messung hinweisen.

Die Apatite variieren nur im Fluorgehalt. Mit steigender Temperatur sinkt der Fluorgehalt ab. Bei Versuchen mit 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt nimmt der Fluorgehalt von ~1.0 Atom Fluor p.F.E. bei 675 °C auf ~0.6 Atome Fluor p.F.E. bei 1000°C ab. Der Druck hat keine bestimmbare Auswirkung auf den Fluorgehalt. Der H<sub>2</sub>O-Gehalt der Ausgangszusammensetzung hingegen scheint das Niveau des Fluorgehaltes im Apatit zu bestimmen. Niedrige H<sub>2</sub>O-Gehalte im Versuch führen zu höheren Fluorgehalten. Bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O liegen die Werte zwischen 1.0 Fluor p.F.E bei 675°C und 0.9 Fluor p.F.E. bei 900°C. In einzelnen Versuchen wurden sogar Apatite gefunden, deren Fluorgehalte größer als 1 Atom pro Formeleinheit ist. Dies könnte mit der Substitution  $\text{Si}^{4+} + \text{F}^- \Leftrightarrow \text{P}^{5+} + \text{O}^{2-}$  zusammenhängen. Ein solcher Apatit hat die Formel:  $\text{Ca}_{4.94}\text{Zn}_{0.02}\text{Ni}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}[(\text{PO}_4)_{0.95}(\text{SiO}_3\text{F})_{0.01}(\text{C}^*\text{O}_3\text{F})_{0.04}]_3\text{F}$  und wurde in einem Versuch mit 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O bei 35kbar 700°C gebildet.

#### 9.3.2.6 Titanit

Ähnlich wie bei den Daten der Epidotphasen wurden auch aus den Daten der Titanite nur Analysen (Nr. 714-797) von den Rändern verwendet. In diesen Titanitanalysen variieren die Elemente Titan, Fluor und Aluminium. In Spuren tritt Eisen auf. Ein bei 35 kbar, 750 °C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O gebildeter fluor- und aluminiumhaltiger Titanit hat die Formel:




---

\* rechnerisch bestimmt

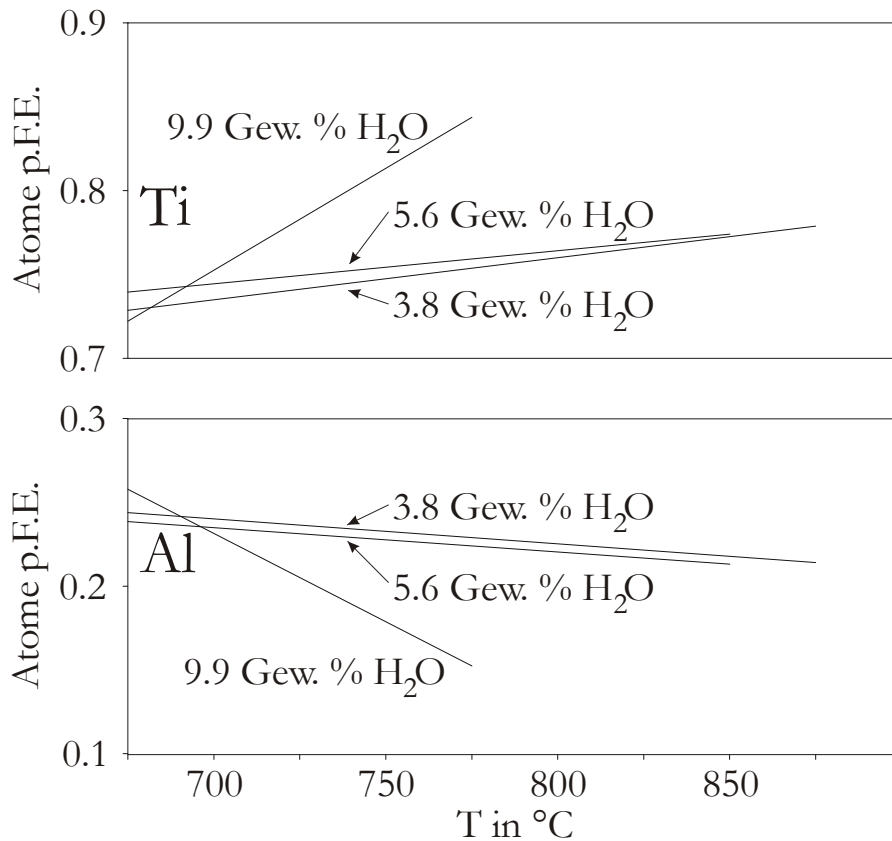


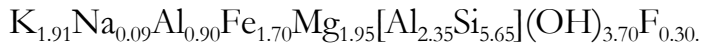
Abb. 9.52 Temperaturabhängigkeit des Titan- und Aluminiumgehalts im Titanit bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>O-Gehalten. Die Temperaturabhängigkeit wurde aufgrund der niedrigen oder nicht vorhandenen Druckabhängigkeit aus allen Analysen einer Versuchsreihe bestimmt.

Während der Titangehalt mit der Temperatur leicht steigt, fallen Fluor- und Aluminiumgehalt ab (Abb. 9.52). Der Betrag der Steigung des Titan- bzw. des Aluminiumgehalts ist vom H<sub>2</sub>O-Gehalt des Ausgangsmaterials abhängig. Bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O zeigt sich eine deutliche Steigung. Demgegenüber ist die Steigung bei allen niedrigeren H<sub>2</sub>O-Gehalten sehr gering. Eine Druckabhängigkeit des Titan- bzw. Aluminiumgehalts konnte nicht nachgewiesen werden. Der beschriebenen Abhängigkeit zwischen Titan, Aluminium und Fluor liegt die Substitution

- $\text{Ti}^{4+} + \text{O}^{2-} \Leftrightarrow \text{Al}^{3+} + (\text{F},\text{OH})^{-}$  zugrunde.

### 9.3.2.7 Biotit

Ein typischer Biotit bei 20 kbar, 750°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O setzt sich aus den Komponenten 22 Mol% Annit, 24 Mol% Phlogopit, 14 Mol% Muskovit, 4 Mol% Aspidolit, 19 Mol% Ti-Muskovit (K<sub>2</sub>Ti<sub>3</sub>[Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>](OH,F)<sub>4</sub>), 9 Mol% Eastonit und 8% Siderophyllit zusammen und hat die Strukturformel:



Das Verhältnis zwischen Annit und Phlogopit im Biotit (Analysen 358-364) verändert sich mit dem Druck. Während bei 15kbar, 750 °C das Fe<sup>2+</sup>/Mg-Verhältnis 2.5-3.8 beträgt, liegt es bei 20 kbar zwischen 0.6 und 0.9. Titan reichert sich im Biotit mit höherem Druck und höherem H<sub>2</sub>O-Gehalt ebenfalls an. Die Gehalte an Ti-Muskovit liegen zwischen 10 und 19 Mol%. Bei 15 kbar, 750 °C beträgt der Gehalt an Ti-Muskovit bei H<sub>2</sub>O-Gehalten größer als 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O ca. 10 Mol%, der Ti-Muskovitgehalt in Versuchen bei 20 kbar, 750 °C beträgt 15-21 Mol%. Die Datenmenge ist jedoch für eine sichere Berechnung nicht ausreichend, somit kann die geschilderte Abhängigkeit nur als Trend verstanden werden.

### 9.3.3 Chemische Zusammensetzung der Produktphasen in den Umkehrversuchen

#### (Versuchsreihen V)

In den Umkehrversuchen (30 kbar, 750 °C und 35 kbar, 750 °C) finden sich Phasen mit ähnlicher Zusammensetzung wie in äquivalenten Experimenten der Versuchsreihe I. (Tab. 9.2) Die geringen Abweichungen zwischen den Phasen der Versuchsreihe I und der Versuchsreihe V sind bei der Fluidphase und den Klinopyroxenen wahrscheinlich auf die räumliche Nähe dieser beiden Phasen und die geringen Korngröße zurückzuführen. Bei den Fluidphasen können erhöhte Abweichungen auf die Elektronenstrahl-schädigung während der Analysen zurückgeführt werden. Die Klinopyroxene bilden in den Umkehrversuchen aufgrund der erheblich

Tab. 9.2 Vergleichstabelle für charakteristische Atomkonzentrationen pro doppelter Formeleinheit der Produktphasen (Experimente bei 30kbar und 35kbar, 750°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O) der Versuchsreihen I und V. Si, Al, K, Na in der Fluidphase in Kationen % auf 100% normiert. Analysen Phe: 217,218; Cpx: 1051, 1052; Fl: 475, 476

Versuch	Versuchsreihe V Umkehrversuche		Versuchsreihe I	
	30kbar, 750 °C	35kbar, 750°C	30kbar, 750 °C	35kbar, 750°C
Si in Phengit (p.d.F.E.)	6.83	6.85	6.81	6.86
Al in Phengit (p.d.F.E.)	4.13	4.13	4.16	4.19
M <sup>2+</sup> in Phengit (p.d.F.E.)	0.98	0.92	0.97	0.92
Jadeit in Cpx	89 Mol%	80 Mol%	86 Mol%	83 Mol%
Ca-Pyroxen-Basis Cpx	4.0 Mol%	5.2 Mol%	4.8 Mol%	5.4 Mol%
Ferrosilit in Cpx	0.2 Mol%	1.4 Mol%	0.2 Mol%	1.0 Mol%
Enstatit in Cpx	1.8 Mol%	5.2 Mol%	2.1 Mol%	5.5 Mol%
Aegirin in Cpx	$\frac{3}{4}$	1.0 Mol%	$\frac{3}{4}$	2.7 Mol%
Si in Fluidphase	67.7 %	69.0 %	67.8 %	68.8 %
Al in Fluidphase	14.9 %	15.2 %	14.9 %	13.8 %
K in Fluidphase	10.8 %	9.8 %	9.9 %	9.2 %
Na in Fluidphase	5.4 %	3.3 %	5.2 %	2.9 %

größeren Korndurchmesser in einigen Fällen einen Zonarbau aus wodurch es zu weiteren Abweichungen kommen kann. Dieser Zonarbau ist nicht Ausdruck eines Ungleichgewichts, sondern Folge des Drucktemperaturpfades, der diesen Experimenten zugrunde liegt. Dabei wird z.B. zuerst bei 1050 °C der Druck in 10 Min von 25 kbar auf 35 kbar angehoben. Nach Erreichen des Drucks von 35 kbar wird die Temperatur in

einer Minute auf 750 °C gesenkt. Bei der Druckerhöhung bilden sich zuerst relativ jadeitarmer Klinopyroxene, während bei der Absenkung der Temperatur und der Temperung bei 750 °C ein jadeitreicherer Klinopyroxensaum aufwächst. Zusätzlich können Abweichungen in der Zusammensetzung der Phasen auftreten, da durch das Aufschmelzen und Homogenisieren des Ausgangsmaterials die volle Bandbreite der vorhandenen Elemente den neu wachsenden Phasen zum Wachstum zur Verfügung steht.

#### *9.3.4 Chemische Zusammensetzung der Produktphasen bei erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalten in den Versuchen (Versuchsreihe VI)*

Die Versuchsprodukte der Versuche bei 20 kbar, 600 °C, 30 kbar, 600 °C und 40 kbar, 650 °C mit H<sub>2</sub>O-Gehalten zwischen 17.4 Gew.% bis 23.8 Gew.% zeigen aufgrund der niedrigen Temperaturen durch ein heterogenes Gefüge eine mangelnde Gleichgewichtseinstellung bezogen auf die gesamte Probe. Somit haben lokale Faktoren und Gleichgewichte (z.B. der Abbau von Biotit) großen Einfluß auf die Zusammensetzung benachbarter Phasen. Eine größere Streuung der Analysen als in den Produkten der Versuchsreihen I-VI ist die Folge.

Die Phengite (Analysen 207-215) dieser Versuche sind alle siliziumreich. Sie besitzen Siliziumgehalte zwischen 6.79 und 6.92 Atomen pro doppelter Formeleinheit (p.d.F.E), Aluminiumgehalte von 4.01-4.38 Atomen p.d.F.E., Eisengehalte zwischen 0.6 bis 0.8 Atomen p.d.F.E. und Magnesiumgehalte von 0.18-0.41 Atomen p.d.F.E.

Der Jadeitgehalt der Klinopyroxene (Analysen 1043-1050) beträgt für die einzelnen Druck-Temperatur-Paare: 15kbar, 600°C ca. 86 Mol%; 30 kbar, 600 °C ca. 94-98 Mol% und 40 kbar, 650 °C ca. 85-90 Mol%.



Nur in den Versuchsprodukten bei 20 kbar, 600 °C, 17.4 Gew.% H<sub>2</sub>O tritt Kalifeldspat auf. In allen anderen Versuchen ist statt Kalifeldspat Kalifeldspathydrat enthalten (Analysen 609-617).

Granat (Analysen 1257-1260) besteht aus 35-41 Mol% Almandin, 45-50 Mol% Grossular, 2.7-7.0 Mol% Spessartin und 0.5 Mol% Pyrop und hat damit eine ähnliche Zusammensetzung wie der Granat des Ausgangsmaterial. Die in den Epidotphasen (Analysen 874-879) enthaltenen Komponenten Klinozoisit ca. 43-48 Mol% und Epidot 50-55 Mol% entsprechen ebenfalls den Zusammensetzungen der Epidotphase im Ausgangsmaterial. Auch die Titanite (Analysen 798-803) weichen mit einem Gehalt 5.9-6.7 Gew.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nicht von den Titaniten des Ausgangsgesteines ab. Da die Werte all dieser Phasen mit denen des Ausgangsmaterials übereinstimmen, handelt es sich vermutlich um Relikte.

Alle analysierten Apatite (Analysen ) in diesen Versuchen zeigen abnormal hohe Fluorgehalte zwischen 1.1 und 1.2 Atome p.F.E.. Außerdem wurden Phosphordefizite in den Apatiten gefunden.

### *9.3.5 Chemische Zusammensetzung der Produktphasen bei großem Probenvolumen (Versuchsreihe VII)*

Da bei dieser Versuchsreihe die Frage nach der Verteilung der Phasen in der Probenkapsel im Vordergrund stand, wurden nur die Versuchsprodukte des Experimentes bei 35kbar, 900°C, 7.5 Gew.% H<sub>2</sub>O analysiert. Obwohl bei diesem Versuch eine mit Nickel kontaminierte Goldkapsel verwendet wurde, lassen sich einige wichtige Fakten feststellen.

- Eine EMS-Meßreihe über die Länge 500 µm ergab, daß zwischen der Schmelze am Kapselboden und der an der Kapseldecke keine Konzentrationgradienten auftreten.

- Das Verhältnis zwischen der Konzentration an Nickelatomen im Phengit (im Mittel 2.4 Gew.% NiO; Analyse 219) und in der Fluidphase (Analyse 474) beträgt 38 : 1. Das Verhältnis zwischen Phengit und Granat (Analyse 1262) beträgt 40 : 1.

### 9.3.6 Chemische Zusammensetzung der Produktphasen der Multi-Anvil-Versuche (Versuchsreihe VIII)

Die Zusammensetzungen der Relikte von Kalifeldspat, Albit, Epidot, Phengit, Granat und SiO<sub>2</sub> bei 100kbar, 800 °C, 1.8 Gew.% H<sub>2</sub>O entspricht weitgehend den Zusammensetzungen des Ausgangsmaterials. Der neugebildete Granat besitzt die Zusammensetzung von Almandin 71.5 Mol%, Pyrop 14.3 Mol%, Skiagit 5.8 Mol% und Spessartin 1.4 Mol%. Zusätzlich enthält er 1.4 Gew.% TiO<sub>2</sub> (Analyse 1261). Von den Klinopyroxenen-SiO<sub>2</sub>-Verwachsungen konnten nur Mischanalysen gewonnen werden.

Die Phengite in der Umgebung des Risses im Versuch bei 80 kbar, 900 °C, 5.4 Gew.% H<sub>2</sub>O zeigen eine ungewöhnliche Zusammensetzung (Analyse 216). Neben einem Siliziumgehalt von 7.70-7.93 Atomen p.d.F.E. enthält dieser Glimmer beim maximalen M<sup>2+</sup>-Gehalt 4.64 M<sup>2+</sup>-Kationen nur 0.45 Aluminium Atome p.d.F.E.. Mit einer Oktaedersumme von 4.99 besteht dieser Phengit zu 86.5 Mol% aus der di/trioktaedrischen Glimmerkomponente K<sub>2</sub>M<sup>2+</sup><sub>5</sub>[Si<sub>8</sub>O<sub>20</sub>](OH)<sub>4</sub> (siehe hierzu Seifert & Schreyer, 1965): Die neu gebildeten Klinopyroxene (Analyse 1053) bestehen zu 83 Mol% aus Jadeit. Der Kaliumgehalt der Pyroxenanalysen ist wahrscheinlich Folge der feinkörnigen Verwachsung von Phengit, SiO<sub>2</sub> und Klinopyroxen.

## 9.4 Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Schlußfolgerungen der Kapitel 9.1 bis 9.3 zusammen gefaßt.

### 9.4.1 Druck-Temperatur-Felder der Produktphasen

Aus den Daten des Kapitels 9.2 und 9.3 lassen sich Felder für das Vorkommen bestimmter Phasen in Druck- und Temperatur-Diagrammen ableiten. Abbildung 9.53 zeigt die Phasenfelder der Hauptgemengteile und Abbildung 9.54 die Phasenfelder der Nebengemengteile.

Aus den Feldern des Quarzes und des Coesits läßt sich auf eine um ca. 2-3 kbar zu höheren Drücken verschobene Reaktionskurve schließen. Diese Abweichung von den bekannten Reaktionskurven kann auf eine metastabile Überschreitung der Reaktionskurve aufgrund von fehlenden Coesitkeimen zurückgeführt werden.

In Experimenten mit 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt treten in allen Versuchen Kalifeldspäte als koexistierende Phase auf. Bei höheren H<sub>2</sub>O-Gehalten wird Kalifeldspat zu höheren Temperaturen und höheren Drücken hin instabiler. Bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O, Drücken von 35-45 kbar und Temperaturen von 700-800°C koexistieren Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat nebeneinander. Die Größe des Kalifeldspathydratfelds ist eine komplexe Funktion des H<sub>2</sub>O-Gehalts. Während bei niedrigen H<sub>2</sub>O-Gehalten die niedrige H<sub>2</sub>O-Aktivität das Wachstum des Kalifeldspathydrats hemmt, bildet sich bei höheren H<sub>2</sub>O-Gehalten Phengit und Fluidphase statt des Kalifeldspathydrats. Bei Drücken von 30 bis 35 kbar und einem Wassergehalt von 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O führt dies zur Bildung einer kalifeldspat- und kalifeldspathydratfreien Zone zwischen den beiden Feldern, in dem die Menge an Phengit und Fluidphase zunimmt. Der jadeitische Klinopyroxen bildet sich oberhalb von 20 kbar. Bei 9.9

Gew.% H<sub>2</sub>O gibt es je nach Druck ab 800-900°C Anzeichen für den Abbau des Klinopyroxens.

Das Phengitfeld ist bei niedrigeren Drücken als 30 kbar zu höheren Temperaturen hin begrenzt. Auffällig ist das Fehlen von Phengit bei 25kbar, 900°C, 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O und das gleichzeitige Wiederauftreten von Kalifeldspat in diesem Versuch. Die Versuche bei 35 und 40 kbar, 1000°C, 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O zeigen, daß bei niedrigen Wassergehalten das Phengitfeld zu hohen Drücken hin stark erweitert wird.

Es existieren zwei Granatfelder, eines mit almandinbetonten Granaten bei hohen Temperaturen und Drücken von 15-35 kbar sowie, ein weiteres für grossularbetonte Granate bei niedrigen Temperaturen und hohen Drücken von 35-45 kbar (Abb. 9.54). Es gibt keine Hinweise darauf, daß die Lücke zwischen diesen beiden Feldern nur aufgrund mangelnder Beobachtungen existiert. Dafür sprechen auch die wesentlichen Unterschiede, nicht nur in ihren Hauptkomponenten, sondern auch in ihren Titan- und Fluorgehalten (vgl. Kap. 9.3.2.3.).

Zwischen den beiden Granatfeldern liegt zum Teil überlappend das Feld der Klinozoisite, welches aber nur mit Unsicherheiten abgegrenzt werden kann (Abb. 9.54).

Titanit baut zwischen 825 und 875°C ab (Abb.9.54). Dabei bildet sich bei Drücken  $\leq$  30 kbar Rutil; bei Drücken  $>$  30 kbar wird das Titan des abgebauten Titanits sowohl von der in großen Mengen vorhandenen Fluidphase, vom Granat und vom Phengit aufgenommen. Der Aluminiumgehalt im Titanit ist relativ konstant, er sinkt jedoch deutlich bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O und steigenden Temperaturen.

Apatit ist im gesamten Versuchsbereich vorhanden. Die Apatite sind stark fluorbetont.

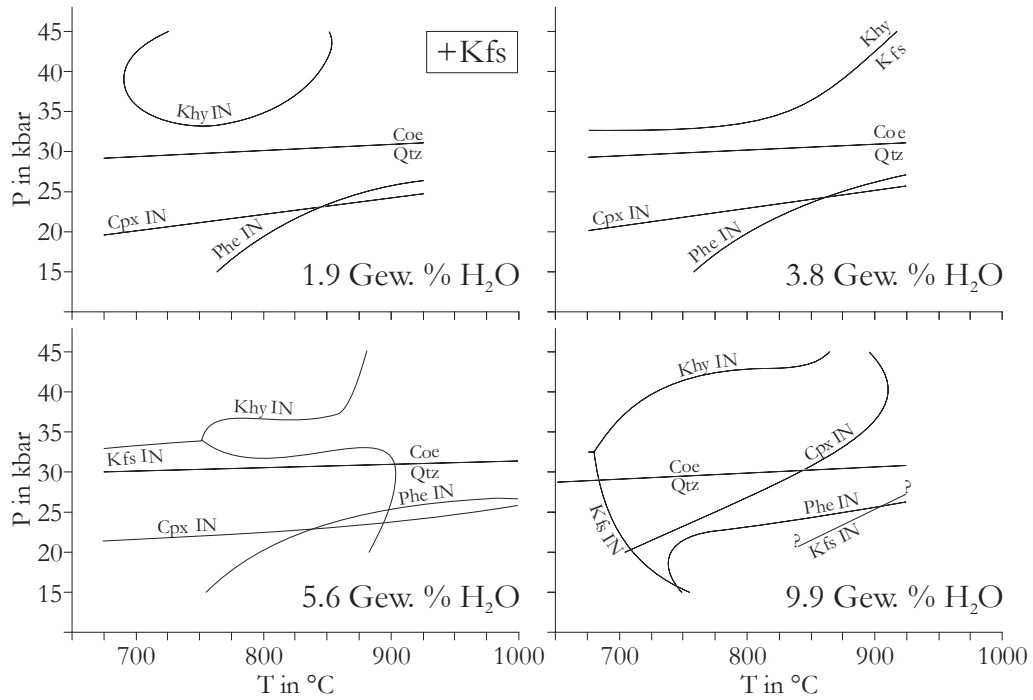


Abb. 9.53 Auftreten der wichtigsten Produktphasen im Druck-Temperatur-Diagramm in Abhängigkeit vom H<sub>2</sub>O-Gehalt. Relikte wurden nicht berücksichtigt.

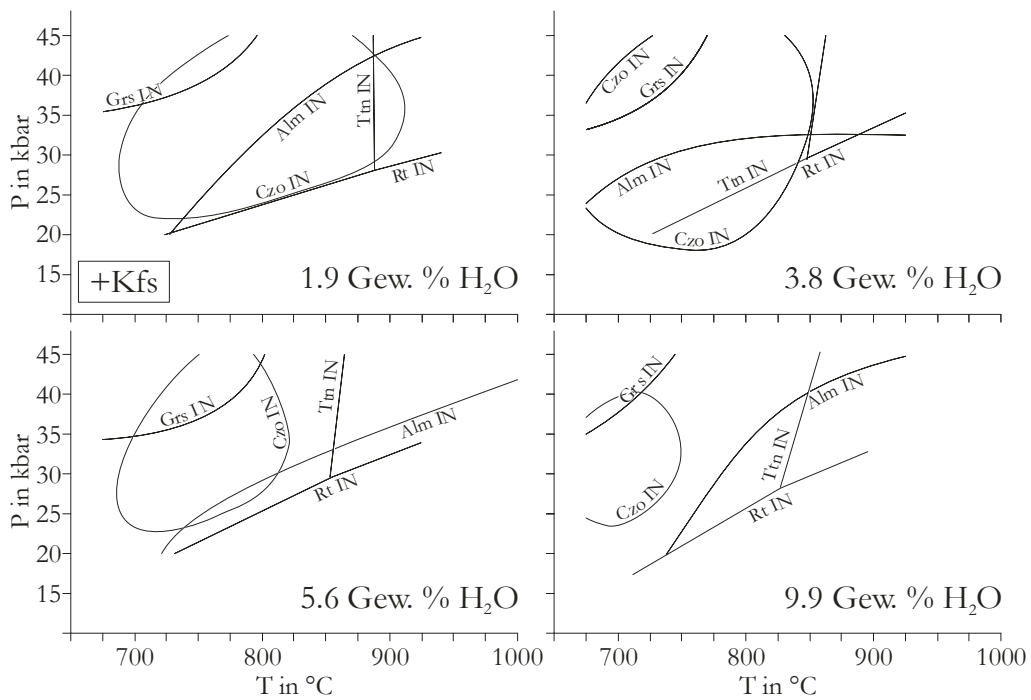


Abb. 9.54 Auftreten der akzesorischen Produktphasen im Druck-Temperatur-Diagramm in Abhängigkeit vom H<sub>2</sub>O-Gehalt. Apatit tritt gleichmäßig im gesamten Druck-Temperatur-Feld auf. Relikte wurden nicht berücksichtigt.

Biotit tritt bei 15 kbar, 750°C in allen Versuchen und bei 20kbar, 750°C in den Versuchen mit 1.9-5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt auf. Aus den vorliegenden Daten lassen sich keine weiteren Angaben ableiten.

#### 9.4.2 Paragenesen in den Versuchsprodukten

Aus den Phasenfeldern lassen sich die Paragenesen ableiten (Abb. 9.55-9.58). Die Basisparagenesen Quarz-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase bzw. Coesit-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase dominieren den größten Teil des Druck-Temperatur-Feldes. Tritt neben den Basisparagenesen Kalifeldspat, Kalifeldspathydrat und almandinreicher Granat auf, so macht sich dies in einer Änderung des Gefüges bemerkbar (vgl. Kap. 9.1). Es existieren je nach Druck und Temperaturbedingung die folgenden wichtigen Unterparagenesen

- Quarz-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspat
- Quarz-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Granat(Alm)
- Quarz-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspat-Granat(Alm)
- Coesit-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspat
- Coesit-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspat-Granat(Alm)
- Coesit-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspathydrat
- Coesit-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Kalifeldspat-Kalifeldspathydrat

Bei einem H<sub>2</sub>O-Gehalt von 9.9 Gew.% bilden sich bei hohen Temperaturen die klinopyroxenfreien Paragenesen (Abb. 9.57):

- Quarz-Fluidphase-Granat(Alm)
- Quarz-Phengit-Fluidphase-Granat(Alm)
- Coesit-Phengit-Fluidphase-Granat(Alm)
- Coesit-Phengit-Fluidphase

Die Grenzen der Paragenese: Quarz-Phengit-Fluidphase-Kalifeldspat-Biotit, die bei Drücken  $\leq 20$  kbar auftritt, lassen sich nicht genau bestimmen.

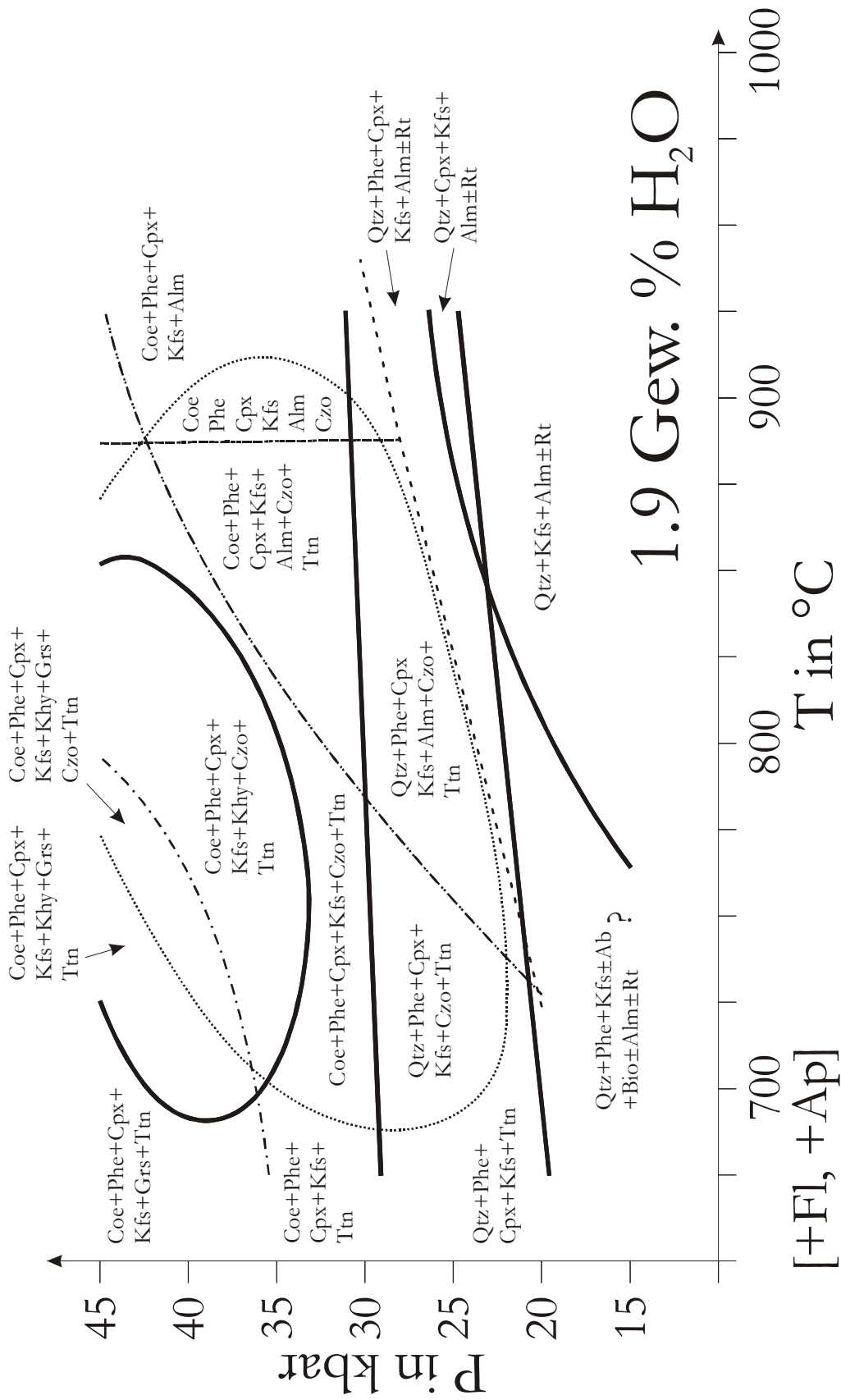


Abb. 9.55. Paragenesen der Versuche bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Die Abbildung basiert auf den Phasenfeldern der Abbildungen 9.53 und 9.54. Abkürzungen siehe Faltblatt am Ende dieser Arbeit.







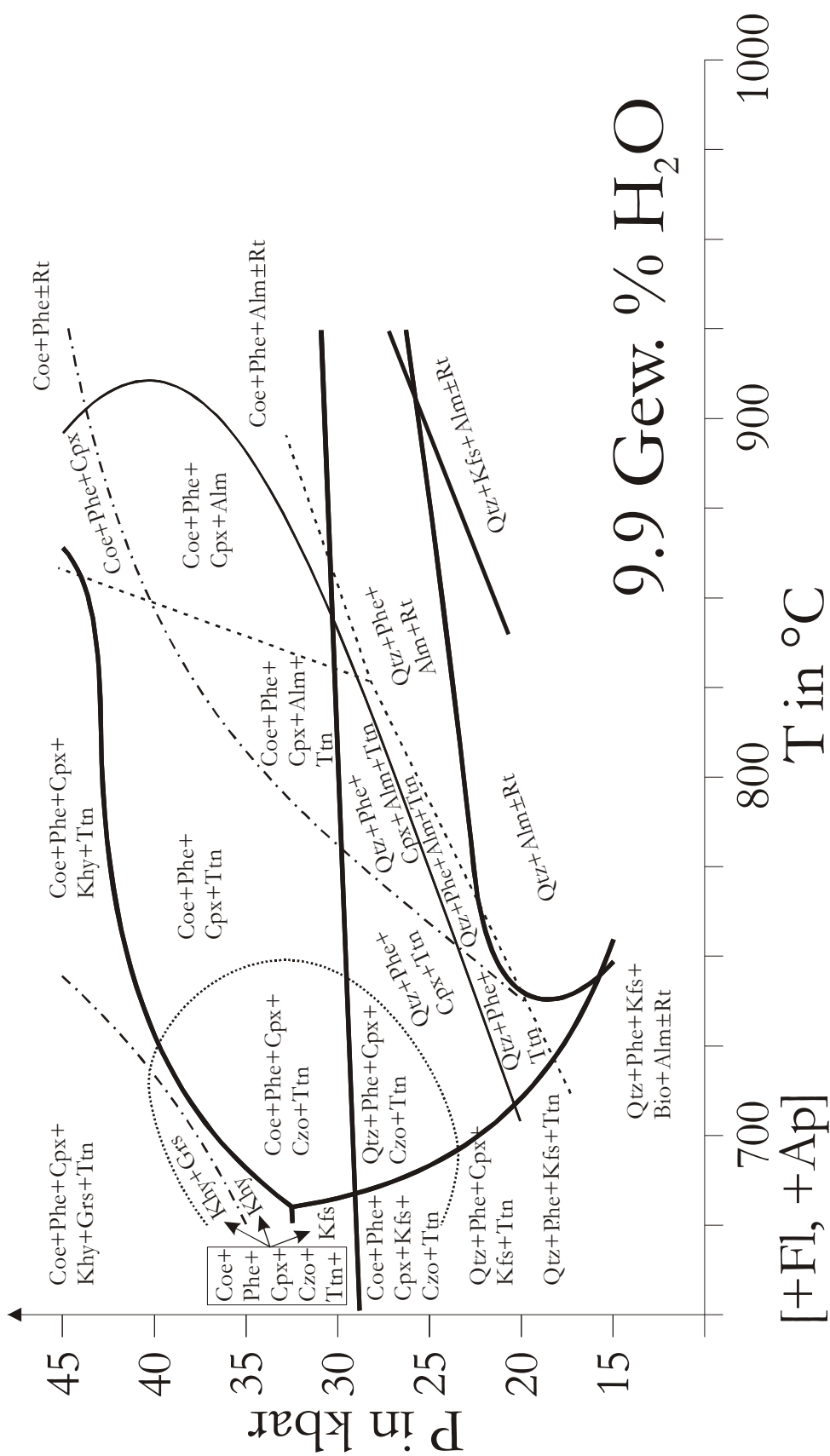


Abb. 9.58. Paragenesen der Versuche bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O. Die Abbildung basiert auf den Phasenfeldern der Abbildungen 9.53 und 9.54. Abkürzungen siehe Faltblatt am Ende dieser Arbeit.

Die Akzessorien können diese Unterparagenese noch einmal unterteilen, jedoch ohne das Gefügebild der Versuchsprodukte deutlich zu verändern.

#### *9.4.3 Chemische Variationen der Phengite und Fluidphase*

Setzt man die Zusammensetzungsdaten (Kap. 9.3) in Bezug zum Vorkommen der Phasen im Druck-Temperatur-Diagramm, so ist es mit Hilfe einer quadratischen Optimierung möglich, für jede Paragenese Linien gleicher Atomgehalte im Phengit zu berechnen. Berücksichtigt man bei der Definition der Paragenesefelder alle Phasen, so wird die Anzahl der Datenpunkte zur Berechnung der Linien in einem einzelnen Feld zu gering. Aus diesem Grund wurden die Paragenesefelder für die Berechnung der Silizium- und Aluminium-Konzentrationslinien der Phengite nur auf Basis der Phasenfelder von Quarz, Coesit, Phengit, Klinopyroxen, Fluidphase, Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat definiert. Für Felder mit ausreichender Anzahl an Datenpunkten wurden mit Hilfe des Programms MATLAB die Konzentrationslinien berechnet. Diese Berechnung wurde durchgeführt, ohne den Verlauf der Konzentrationslinien in anderen Paragenesefeldern in die Berechnung mit einzubeziehen. Die auf diese Vorgehensweise zurückzuführenden Unterschiede zwischen den Konzentrationslinien der einzelnen Felder, wurden anschließend durch einen Abgleich der Linien von Hand auf Basis geometrischer Bedingungen korrigiert. Der Verlauf der Konzentrationslinien in kleinen Paragenesefeldern konnte aus dem Verlauf der Linien in den größeren Feldern und aus einzelnen Datenpunkten abgeleitet werden. Die Abbildungen 9.59-9.61 zeigen die resultierenden Diagramme für den Gehalt von Silizium, Aluminium und Titan im Phengit.

Die Konzentrationslinien des Siliziums im Phengit (Abb. 9.59) sind insbesondere in bezug auf Temperaturänderungen empfindlich. Bei niedrigen Temperaturen bilden sich die Phengite mit den höchsten

Siliziumgehalten. Der jeweilige H<sub>2</sub>O-Gehalt des Versuchs bestimmt neben der Paragenese den maximal möglichen Siliziumgehalt. Bei hohen H<sub>2</sub>O-Gehalten zeigen die Phengite niedrige Siliziumgehalte. Der Druck beeinflusst den Siliziumgehalt der Phengite nur dann besonders stark, wenn sie in den Paragenesen Kalifeldspat, Coesit, Klinopyroxen und Fluidphase bzw. Biotit, Kalifeldspat, Quarz und Fluidphase koexistieren. In diesen Paragenesen steigt der Siliziumgehalt mit höheren Drücken deutlich an. Die Größenordnung der Temperatur- und Druckabhängigkeit geht mit höherem Fluidgehalt zurück.

Bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O kam es zu Problemen bei der Optimierung in dem schmalen Bereich, wo es weder Kalifeldspat noch Kalifeldspathydrat gibt, also bei etwa 35 kbar (Abb. 9.59). In dieser Zone konnten die Konzentrationslinien aufgrund ungenügender Datendichte nur unzureichend angepaßt werden. Die Steigungen dieser Linien sind deshalb wahrscheinlich mit erheblichen Fehlern behaftet.

Der Aluminiumgehalt verhält sich bezüglich Temperatur, H<sub>2</sub>O-Gehalt und Druck im Trend entgegengesetzt zum Siliziumgehalt (Abb. 9.60).

Die Paragenesfelder zur Berechnung der Titan-Konzentrationslinien wurden auf der Basis der Phasen: Quarz, Coesit, Phengit, Kalifeldspat, Kalifeldspathydrat, Titanit und Rutil definiert. Titanit und Rutil müssen in diese Berechnungen mit einbezogen werden, da diese Phasen die Titanaktivität in der Probe kontrollieren. Titan reichert sich in titanitführenden Paragenesen mit steigender Temperatur im Phengit an (Abb. 9.61). Die Abhängigkeiten des Titangehaltes von Druck und Temperatur sind bei rutilführenden Paragenesen erheblich größer als bei titanitführenden. Bei Phengiten, die weder mit Titanit noch mit Rutil

koexistieren, ist der Titangehalt überwiegend vom Druck abhängig. Eine Erhöhung des Drucks führt zum Absinken des Titangehalts im Phengit.

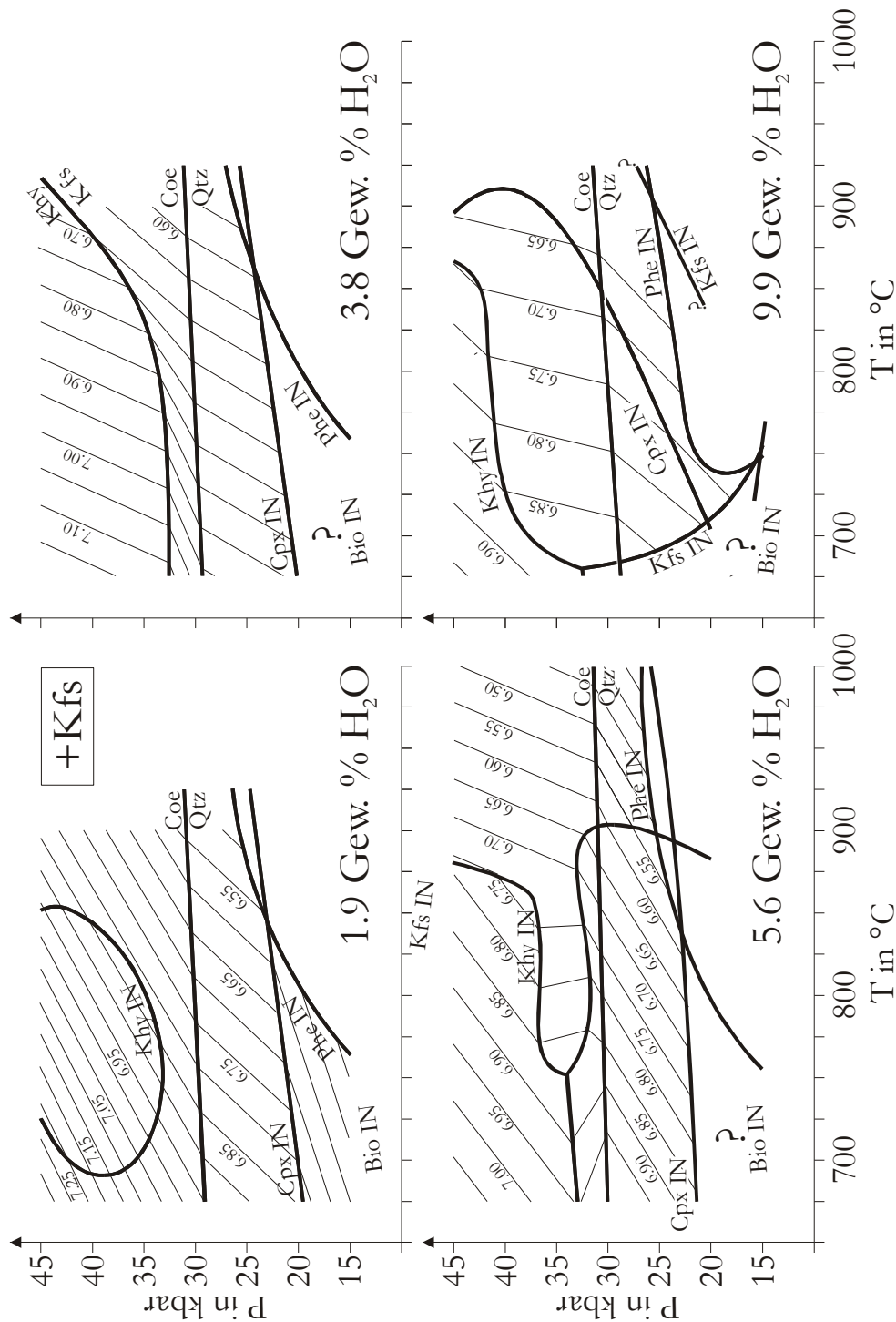


Abb. 9.59. Verlauf der Linien gleichen Siliziumgehaltes im Phengit als Funktion von Druck, Temperatur, Wassergehalt und Paragenese. Coe = Coesit, Qtz = Quarz, Kfs = Kalifeldspat, Khy = Kalifeldspathydrat, Cpx = Klinopyroxen, Phe = Phengit, IN = Abbaugrenze.

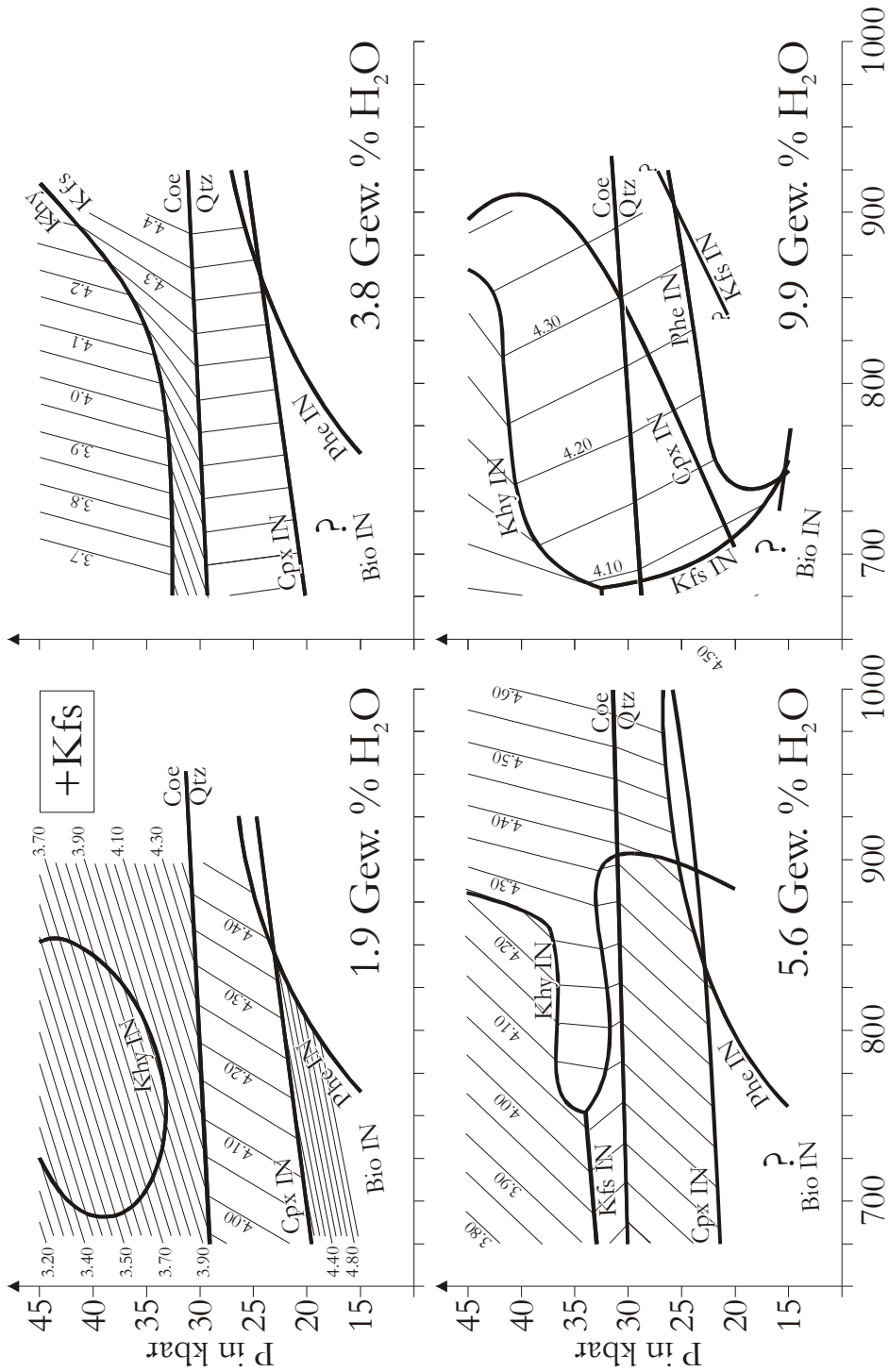


Abb.9.60. Verlauf der Linien gleichen Aluminiumgehaltes im Phengit als Funktion von Druck, Temperatur, Wassergehalt und Paragenese. Coe = Coesit, Qtz = Quarz, Kfs = Kalifeldspat, Khy = Kalifeldspathydrat, Cpx = Klinopyroxen, Phc = Phengit, IN=Abbaugrenze.

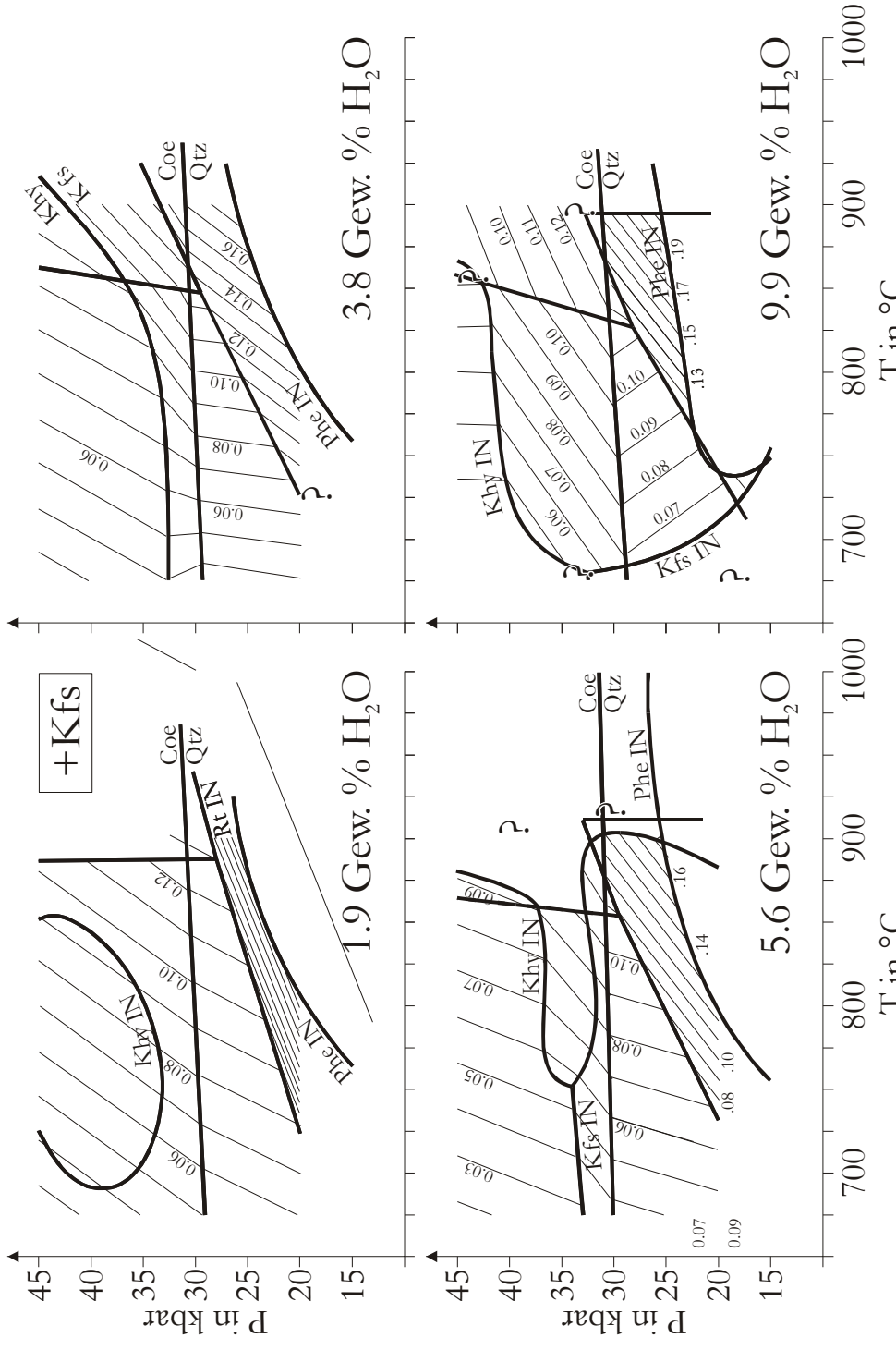


Abb.9.61. Verlauf der Linien gleichen Titangehaltes im Phengit als Funktion von Druck, Temperatur, Wassergehalt und Paragenese. Coe = Coesit, Qtz = Quarz, Kfs = Kalifeldspat, Khy = Kalifeldspathydrat, Ttn = Titanit, Rt = Rutil, Phe = Phengit, IN = Abbaugrenze.

Die Fluidphasen haben bei niedrigen Temperaturen foyaitische Zusammensetzungen (Abb. 9.40 u. 9.41). Mit steigenden Temperaturen wandern sie zunehmend in Richtung des Granit- / Alkaligranitfeldes. Eine Erhöhung des Drucks hat zur Folge, daß der foyaitische Charakter der Niedrigtemperaturfluidphase zunimmt, und für das Erreichen des granitischen Charakters höhere Temperaturen nötig sind.



## 10 Diskussion der Ergebnisse

### 10.1 Vergleich mit den Experimenten von Huang & Wyllie an S-Typ granitischen Gesteinen

Huang & Wyllie (1981) führten Experimente bis zu 35 kbar mit einem S-Typ Granit bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>O-Gehalten durch. Sie gingen jedoch davon aus, daß alle Ihre Versuche im unterkritischen Bereich durchgeführt wurden, was nicht der Fall war. Deshalb wird hier bei der Beschreibung der Versuchsergebnisse von Huang & Wyllie, statt der von ihnen verwendeten Begriffe Schmelze und Gas, nur der Begriff Fluidphase verwendet. Gleiches gilt auch für den von ihnen beschriebenen Muskovit, der aufgrund seiner sicherlich vorhandenen phengitischen Komponente hier als Phengit angesprochen wird. Huang & Wyllie beobachteten bei Temperaturen von ca. 600 bis ca. 900°C zunächst Phengit-Klinopyroxen-Quarz-Fluidphase-Paragenesen, die mit steigender Temperatur in disthen- bzw. korundhaltige Paragenesen (z.B. Disthen-Quarz-Fluid) übergingen. In den Versuchen meiner Arbeit treten hingegen bei hohen Temperaturen Granat-Phengit-Quarz-Fluidphase-Paragenesen auf, die bei noch höheren Temperaturen in die Paragenese Granat-Quarz-Fluidphase übergeht. Da es sich sowohl beim Ausgangsmaterial von Huang & Wyllie, als auch beim Ausgangsmaterial dieser Arbeit um S-Typ-granitische Zusammensetzungen handelt, wäre zu erwarten gewesen, daß die entstehenden Paragenesen in ihrem Phasenbestand weitgehend identisch sind. Da dies nicht der Fall ist, müssen geringe chemische Unterschiede in den S-Typ-granitischen Ausgangssubstanzen der Grund für diese Differenzen sein. Für die Bildung solcher unterschiedlicher Paragenesen kommt als kritischer Faktor das Verhältnis von Magnesium, Eisen, Mangan und Kalzium zu Aluminium in Frage, da dieses für die Bildung von Granat oder Disthen bzw. Korund wichtig ist. Ist

das Verhältnis dieser Elemente niedrig genug, bildet sich bei hohen Temperaturen Alumosilikat und Korund. Bei einem geringfügig höheren Verhältnis bleiben granat-phengit- bzw. granatführende Paragenesen stabil. Entscheidend für die Ausbildung der einen oder anderen Paragenese ist die Lage der Ausgangszusammensetzung relativ zur Konode Fluidphase-Phengit (Abb. 10.1). Aus der Bildung unterschiedlicher kristalliner Phasen folgt auch, daß die koexistierenden Fluidphasen unterschiedlich zusammengesetzt sind. Dies bedeutet, daß sich granitische Gesteine mit unterschiedlichen  $M^{2+}$ -Gehalten aufgrund des chemischen Transportes durch die Fluidphase in das Gestein hinein und aus dem Gestein heraus wahrscheinlich geochemisch verschieden entwickeln. Da die koexistierenden Paragenesen abhängig von der Ausgangszusammensetzung sind, ergibt sich die Notwendigkeit, bei der petrologischen Bearbeitung S-Typ-granitischer Gesteine eine Unterteilung

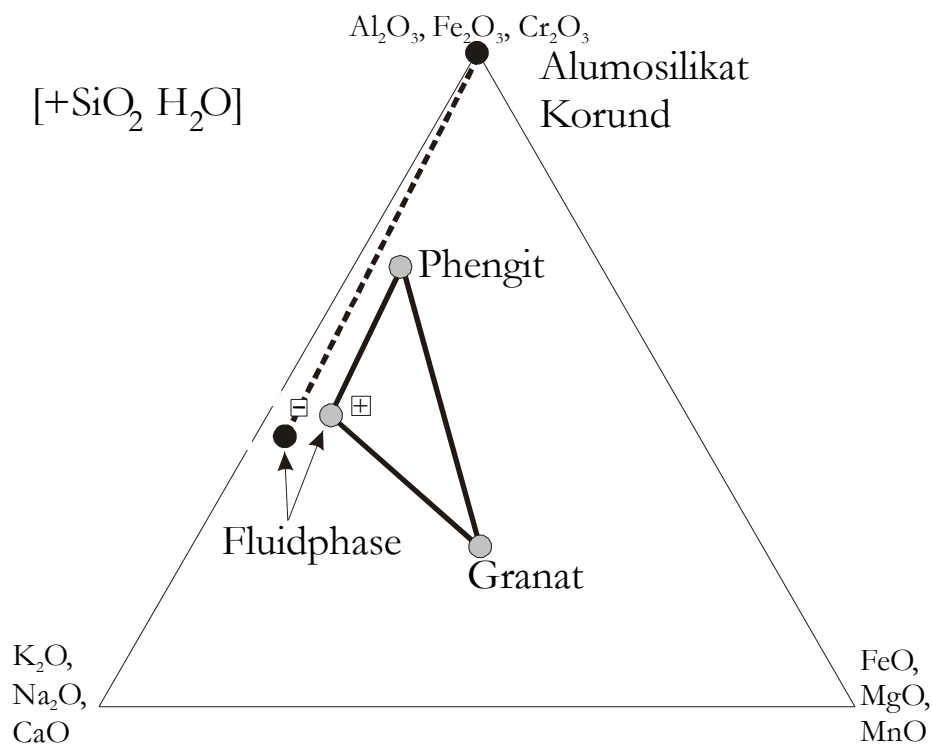


Abb. 10.1 Paragenesen in Huang & Wyllie (1981, gebrochene Linien, schwarze Punkte), Versuche aus dieser Arbeit (durchgezogene Linien, graue Punkte). Die Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien sind durch ein - (Huang & Wyllie) und + (diese Arbeit) markiert. Diagramm in Mol%.

zwischen  $M^{2+}$ -reichen Zusammensetzungen und  $M^{2+}$ -armen Zusammensetzungen vorzunehmen. Zu einer quantitativen Unterteilung wären jedoch noch weitere Experimente mit unterschiedlichen Ausgangszusammensetzungen nötig.

Bei niedrigen Temperaturen bilden beide Ausgangszusammensetzungen identische Paragenesen aus. Die wichtigsten Paragenesen sind: Kalifeldspat-SiO<sub>2</sub>-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase, SiO<sub>2</sub>-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase und SiO<sub>2</sub>-Kalifeldspathydrat-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase. Die Zusammensetzung der koexistierenden Phasen wird sich jedoch von einander unterscheiden (keine Angaben zu den Zusammensetzungen bei Huang & Wyllie, 1981).

## 10.2 Lokale Gleichgewichte bei erniedrigten H<sub>2</sub>O-Gehalten

Bei geringen H<sub>2</sub>O-Gehalten ist die Menge an freier Fluidphase sehr gering. Da die Menge der Fluidphase entscheidend das maximale Transportvermögen zwischen den Kristallen eines Systems bestimmt, wird damit die Fähigkeit des Systems, über den gesamten Bereich einer Probe identische Versuchsprodukte zu bilden, herabgesetzt. Die Ausbildung lokaler Reaktionsgefüge ist Ausdruck dieses mangelnden Transportvermögens. Als Folge bilden sich lokale Gefüge aus. Die Phasen eines solchen Gefüges stehen im lokalen Gleichgewicht zueinander, mit Phasen von einer anderen Stelle der Kapsel verglichen, befinden sie sich jedoch im Ungleichgewicht. Typische lokale Gleichgewichte sind z.B. Abbaugefüge von Biotit bei niedrigen Temperaturen. Solche Gefüge lassen sich auch in den Dora-Maira Meta-Graniten finden (vgl. Kap. 3.2). Dies deutet darauf hin, daß dieser Effekt sogar in der Natur mit ihren längeren Reaktionszeiten eine wesentliche Rolle spielt.

Wie in Kapitel 9.1 beschrieben, tritt in der Umgebung von ehemaligem Biotit insbesondere Granat, Phengit und Klinopyroxen auf. Während jedoch Phengit- bzw. Klinopyroxen in Versuchen bei höheren Temperaturen und H<sub>2</sub>O-Gehalt nicht mehr gehäuft in der Umgebung ehemaliger Biotite zu beobachten ist, ist dies bei Granat immer noch der Fall. Dieser Umstand weist darauf hin, daß die Transportkapazität des Fluids nicht für alle Elemente von gleicher Bedeutung ist.

Für das Wachstum einer Phase müssen die zur Bildung notwendigen Elemente aus der Umgebung herangeführt werden. Ist die Transportkapazität gering, so ist die Wahrscheinlichkeit für lange Transportwege niedrig. Aus diesem Grund können Phasen (z.B. Granat), die einen hohen Anteil an selteneren Elementen enthalten, schlechter gebildet werden als Phasen (z.B. Phengit), die zum überwiegenden Teil aus häufigen Elementen bestehen. Je mehr häufig vorkommende Elemente (hier z.B. Silizium, Aluminium, Kalium) in einer Phase enthalten sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich eine solche Phase weit entfernt vom Materiallieferanten (in diesem Fall Biotit) bildet.

Die Folgen dieser Zusammenhänge sind selbst noch in homogenisierten Hochtemperaturversuchen mit niedrigem H<sub>2</sub>O-Gehalt zu beobachten. Dort treten z.B. Granate immer gehäuft auf, und das dort vorliegende Gefüge deutet auf einen ehemaligen Biotit hin (Abb. 9.7, III). Die Granate stehen jedoch trotzdem mit allen Phasen in der Kapsel im Gleichgewicht. Diese Häufung ist lediglich Abbild der Transportmöglichkeiten der Fluidphase. Die Granate bilden sich zum Beginn des Versuches in direkter Nähe zum Lieferanten. Es bleibt also festzuhalten, daß lokale Gleichgewichte und Anhäufungen bestimmter Phasen in natürlichen Gesteinen ein Hinweis auf geringe Fluidgehalte bzw. niedrige Temperaturen sein könnten.

### 10.3 Fluidphasen und Magmengenese aus granitoiden Gesteinen

Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit ist die erstmalige, chemische Charakterisierung der Quenchprodukte der koexistierenden Fluidphase in einem granitischen Gestein bei unterschiedlichen Druck-Temperatur-Bedingungen. Die entstehenden Fluidphasen haben bei niedrigen Temperaturen und höheren Drücken eine foyaitische bzw. syenitische Zusammensetzung (Abb. 10.2 u. 10.3). Mit steigenden Temperaturen und sinkenden Drücken zeigen die Zusammensetzungen der entstehenden Fluidphase zunehmend einen granitischen Charakter (Abb. 10.2 u. 10.3). Dieses Ergebnis könnte eine neue Möglichkeit zur Bildung siliziumuntersättigter Fluidzusammensetzungen aufzeigen (Schreyer, 1999). Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, daß die in den Experimenten entstandenen Fluidphasen erheblich höhere  $H_2O$ -Gehalte haben als normale foyaitische Magmen. Die Frage ist also, ob aus einer solchen Fluidphase genügend  $H_2O$  freigesetzt werden kann, ohne daß das entstehende Magma seinen foyaitischen oder  $SiO_2$ -untersättigten Charakter verliert. Des weiteren ist fraglich, ob diese Fluidphase überhaupt in höhere Gesteinsschichten aufsteigen kann.

Ob beim Aufstieg der  $SiO_2$ -untersättigte Charakter erhalten bleibt ist von zwei wichtigen Aspekten abhängig.

- Mögliche Wechselwirkung mit der Umgebung beim Aufstieg.
- Entmischung in eine silikatische Schmelze und eine wässrige Lösung beim Unterschreiten der kritischen Kurve.

Über die Auswirkung der Wechselwirkung mit nicht granitoiden Gesteinen lassen sich aufgrund fehlender Daten keine Aussagen machen. Bei der Wechselwirkung der Fluidphase mit granitischen Gesteinen kann auf der Basis der Ergebnisse dieser Arbeit davon ausgegangen werden, daß der

granitische Charakter der Fluidphase beim Aufstieg mit sinkendem Druck zunimmt (Abb. 10.2). Eine Extrahierung einer siliziumuntersättigten Fluidphase ist somit am wahrscheinlichsten, wenn die Fluidphase möglichst wenig in Wechselwirkung mit dem Nebengestein tritt, also ein quasi geschlossenes System bildet. Dies bedeutet jedoch, daß auch eventuell beim Aufstieg in der Fluidphase gebildete Kristalle das System nicht verlassen dürfen. Für eine abschließende und konkrete Aussage über diese Problem fehlen jedoch zur Zeit die nötigen experimentellen Daten.

Ähnliches gilt auch für die Entmischung der überkritischen Fluidphase in eine wässrige Lösung und ein silikatisches Magma. Aus den Arbeiten von Bureau & Keppler (1999) läßt sich zwar ableiten, daß diese Entmischung zur Bildung einer an  $H_2O$  wesentlich ärmeren, silikatischen Phase führt, jedoch gibt es keine Daten über die Zusammensetzung der beiden entstehenden flüssigen Phasen. Aus diesem Grund können auch keine Aussagen über ihren magmatischen Charakter gemacht werden.

Abschließend bleibt festzustellen, daß die Extrahierung einer  $SiO_2$ -untersättigten Schmelze zwar nicht unmöglich scheint, jedoch noch Experimente zum Verhalten dieser Schmelze als geschlossenes System zur Lösung dieser Frage nötig sind.

#### **10.4 Kristallchemie der Phengite im granitischen System**

In der bisherigen Literatur ist die Kristallchemie der Phengite weitgehend von der inversen Tschermaks-Substitution geprägt. Diese bildet die Grundlage für das Phengit-Barometer nach Massonne & Schreyer (1987) und Massonne & Schreyer (1989). Bei Massonne & Schreyer (1987 u. 1986) werden jedoch bereits Abweichungen der Phengite von der idealen inversen Tschermaks-Substitution beschrieben. Neben der Abweichung der Oktaederbesetzung zu Werten höher als vier Atome p.d.F.E., verursacht

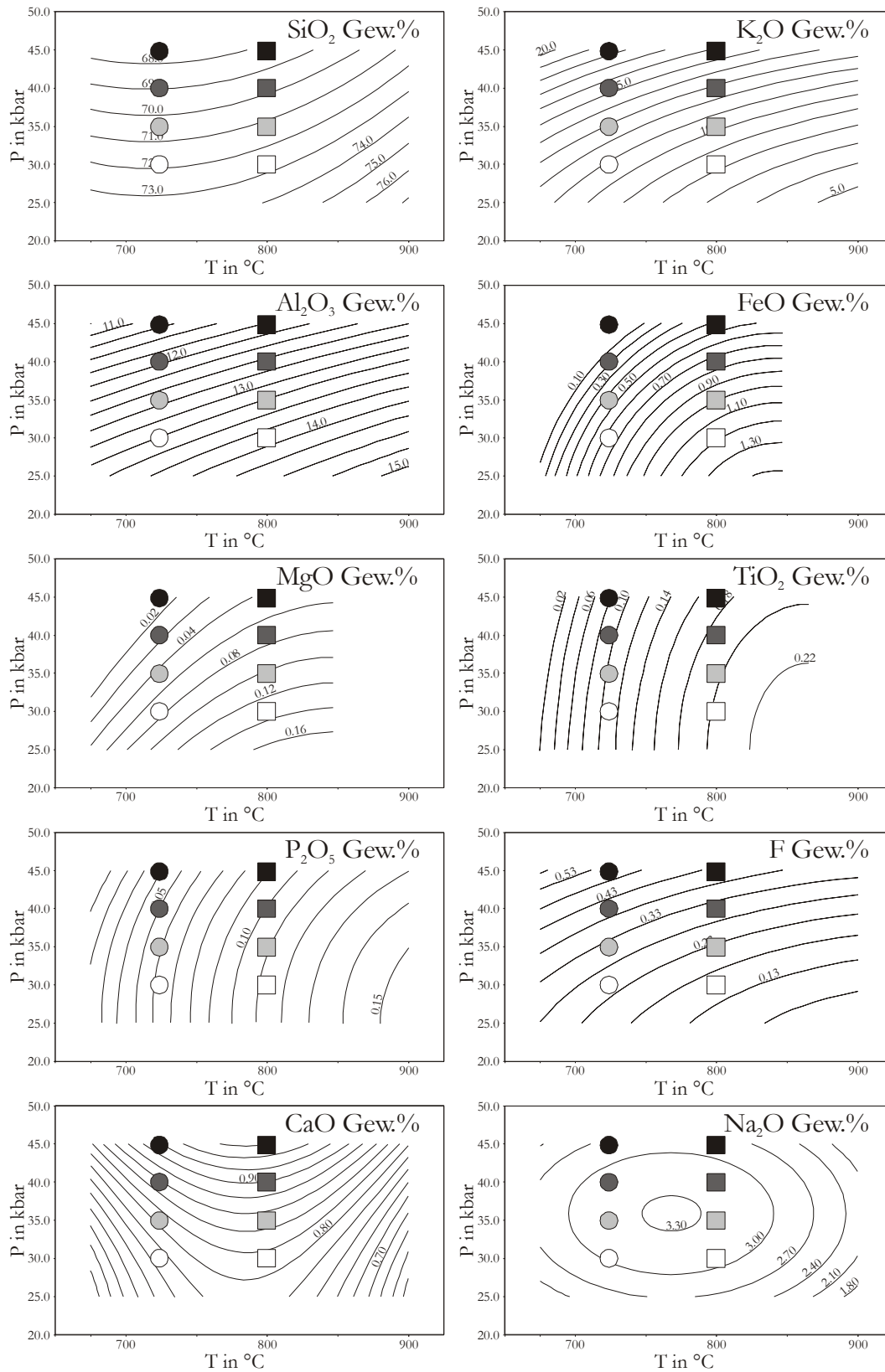


Abb. 10.2 Konzentration in Gew.% der Elemente in der Fluidphase ( $\Sigma_{\text{Ohne H}_2\text{O}} = 100$ ). Die Signaturen entsprechen den Punkten in Abbildung 10.3. Basis: quadratische Anpassung für Quenchprodukte aus Versuchen mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt.

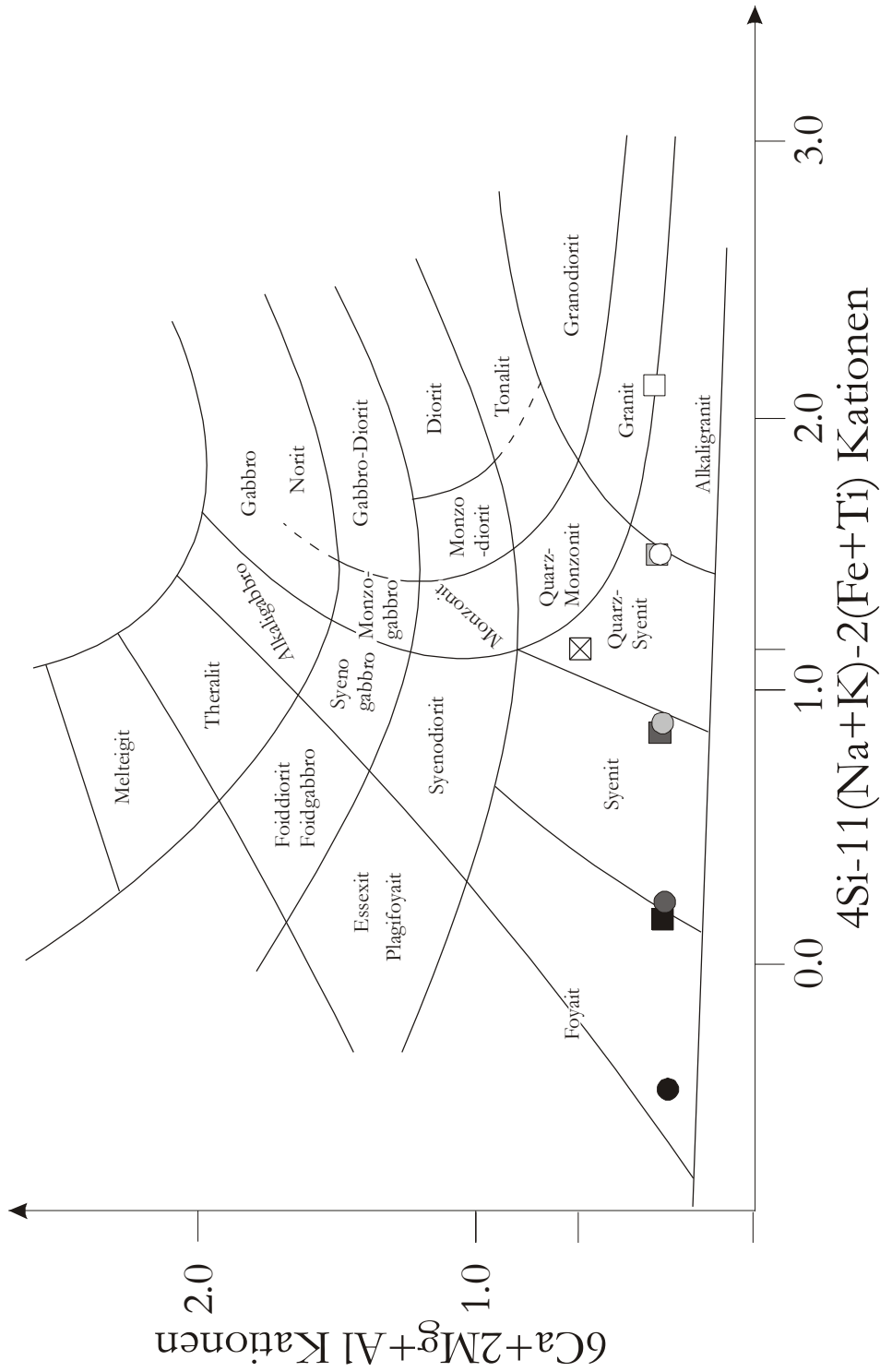
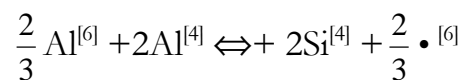


Abb. 10.3 Magmatischer Charakter bei unterschiedlichen Druck-Temperatur-Bedingungen extrahierter Fluidphasen Die Zusammensetzungen, Druck- und Temperaturwerte der einzelnen Signaturen entsprechen den in Abbildung 10.2 dargestellten Punkten. Das  $\boxtimes$  stellt die abgeschätzte Zusammensetzung des  $SiO_2$ -Phengit-Granat-Klinopyroxen-Einschlusses in Zirkon dar (siehe Kap. 10).



durch die Substitution zwischen Muskovit und Phlogopit, gibt es in den Daten von Massonne & Schreyer (1987, Abbildung 4) bereits Hinweise für eine Substitution, die die Oktaederbesetzung erniedrigt. Diese jetzt vorliegende Arbeit weist nach, daß es eine Substitution gibt, mit der Silizium im Tetraeder gegen oktaederisches und tetraederisches Aluminium ohne Einbeziehung zweiwertiger Kationen ausgetauscht werden kann.

Warum wurde diese Substitution bisher nicht erkannt? Die bisherigen Experimente zu Phengiten wurden alle in Systemen durchgeführt, in denen immer genügend zweiwertige Kationen für eine inverse Tschermaks-Substitution zur Verfügung standen. Dies ist bei den Experimenten dieser Arbeit nicht der Fall. Die Konzentration der zweiwertigen Kationen ist sehr gering und damit auch ihre Aktivität im System und deren Änderungen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Das Verhalten der Phengite wird somit weitgehend durch die Aktivitäten von Silizium, Kalium, Aluminium, Fluor und H<sub>2</sub>O bestimmt. Bestimmend für die Substitution:



sind nur die Aktivitäten von Silizium und Aluminium im System. Ein gutes Maß für diese Aktivitäten ist der Gehalt der Elemente in der Fluidphase (Abb. 10.2 ). Die Abnahme von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in der Fluidphase, und somit die Abnahme der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Aktivität, begünstigten die Bildung von mono/dioktaedrischer-Glimmerkomponenten. (MDO). Die Abbildungen 9.32 und 9.33 zeigen außerdem, daß zur Bildung MDO-reicher Glimmer hohe Drücke und niedrige Temperaturen nötig sind.

Die Bedeutung dieser Substitution könnte für die Phengitbarometrie von UHPM-Gesteinen von entscheidener Bedeutung sein, da sie der Grund für die oft aus der Phengitbarometrie abgeleiteten überhöhten Drücke von UHPM-Gesteinen sein könnte.

## 10.5 Anwendung der experimentelle Beobachtungen auf die Interpretation der Biotit-Phengit-Gneise von Dora Maira

Die Biotit-Phengit-Gneise zeigen heute einen weitgehend durch die retrograde Metamorphose der Grünschieferfazies geprägten Mineralbestand. Trotzdem gibt es einige Hinweise auf ein mögliches älteres Hochdruckereignis.

Chopin et al. (1991) interpretierten das Auffinden von Rutil und grossularreichem Granat als Einschlüsse in unterschiedlichen Phasen des Biotit-Phengit-Gneises als möglichen Hinweis auf die Hochdruckreaktion:



Die Experimente zeigen jedoch keine Hinweise auf den Abbau von Titanit bei Drücken bis zu 45kbar. Rutil bildete sich als Abbauprodukt nur bei hohen Temperaturen und Drücken unter 35 kbar. Bei diesen Bedingungen koexistiert mit Rutil jedoch almandinbetonter Granat.

Grossularreiche Granate wurden hingegen bei hohen Drücken 35-45kbar und niedrigen Temperaturen 675-775°C gefunden.

Somit ist es unwahrscheinlich, daß die von Chopin et al. (1991) vorgeschlagene Reaktion wirklich in den Biotit-Phengit-Gneisen abgelaufen ist. Rutil könnte prograd beim Abbau von Biotit gebildet worden sein und anschließend, wie von Schertl (1992) beschrieben, in Granat bzw. Titanit eingeschlossen worden sein. Die Grossulare aber könnten ein Hinweis auf eine Hochdruckmetamorphose sein, da sie, wie die bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen in den Versuchen gebildeten grossularreichen Granate, erhebliche Mengen an Titan enthalten. Vergleicht man die grossularreichen Granate der Versuche mit denen der Biotit-Phengit-Gneise, so sieht man, daß der Titangehalt von 0.5 Gew.% in den Granaten für eine

Bildung im Bereich von 35kbar und darunter spricht. Die Temperatur dürfte aufgrund der experimentellen Ergebnisse bei ca. 725°C gelegen haben.

Der im Zirkon eingeschlossene Granat der Probe 17685 hat eine Zusammensetzung, die ungefähr denen der neugebildeten almandinbetonten Granate in Abbildung 9.49 bei ca. 35kbar 825°C 9.9Gew.% H<sub>2</sub>O entspricht.

Die in vielen Kalifeldspäten eingeschlossenen Granate zeigen besonders häufig idiomorphe Kornformen. Ihre Zusammensetzung von ~50 Mol% Grossular und ~40 Mol% Almandin könnte bei Drücken über 35 kbar und Temperaturen um 750 °C entstanden sein. Die perfekten Kornformen und das Fehlen von Einschlüssen könnten ein Hinweis auf das Vorhandensein einer freien Fluidphase sein.

Alle Granate, die sich im Biotit-Phengit-Gneis finden, sind relativ grossularreich, und können aufgrund der experimentellen Ergebnisse nicht bei niedrigen Drücken gebildet worden sein.

Die bisherigen Kenntnisse über Phengit ließen keine Aussage über den Siliziumgehalt von Phengiten in granitischen Gesteinen bei hohen Drücken und Temperaturen zu, wenn Biotit instabil ist. Die Experimente belegen aber, daß die Siliziumgehalte von 6.9-7.2 p.d.F.E. der Phengite in den Biotit-Phengit-Gneisen ohne weiteres zu Drücken von über 30 kbar passen. Werden die Zusammensetzungen der Phengite des Biotit-Phengit-Gneises in gleicher Weise dargestellt wie die Phengite im Kapitel 9.3.1.2, so zeigt sich, daß sie im gleichen Bereich liegen (Abb. 10.4) wie die Phengite in den Abbildungen 9.32 und 9.33. Außerdem wird deutlich, daß die Phengiteinschlüsse im Zirkon aus einem sehr hohen Anteil von mono/dioktaedrischen Glimmern bestehen, was für hohe Drücke und niedrige Temperaturen während der Bildung spricht. Da im Biotit-Phengit-Gneis ein Einschluß von jadeitreichen Klinopyroxen im Zirkon gefunden

wurde, muß der im Biotit-Phengit-Gneis vorhandene Albit bei niedrigeren Drücken retrograd gebildet worden sein. Somit ist der muskovitreiche Phengiteinschluß in Albit ebenfalls Teil der retrograden Paragenese des Biotit-Phengit-Gneises (Abb. 10.4). Der Phengiteinschluß im Titanit hat eine mittlere Zusammensetzung, d.h. der Phengit wurde während der prograden oder retrograden Metamorphose gebildet (Abb. 10.4). Das Auftreten von Titanit im Granat könnte als Anzeichen für eine Bildung während der prograden Metamorphose angesehen werden, da idiomorphe Granate ähnlicher Zusammensetzung auch im Albit eingeschlossen sind.

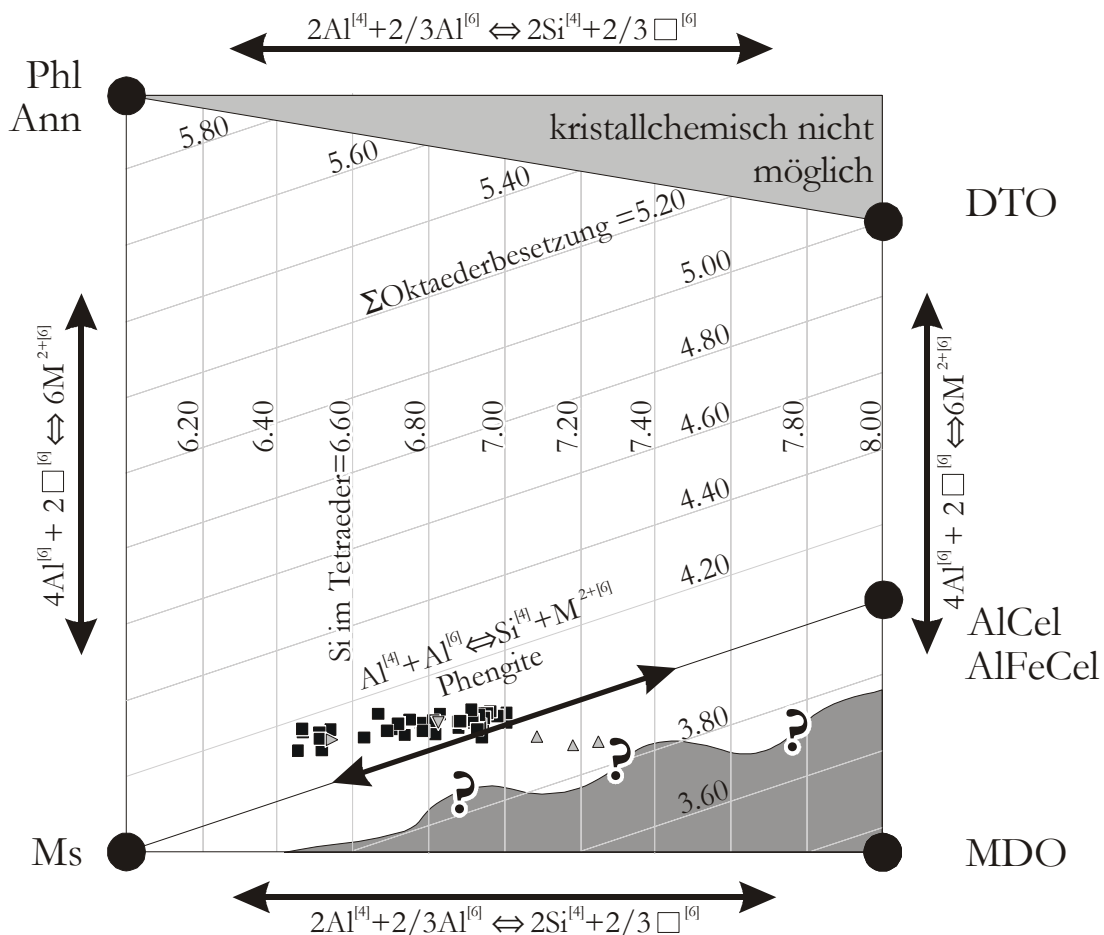


Abb. 10.4 Zusammensetzung der Phengite der Biotit-Phengit-Gneise (Probe 17685). ▴ = Phengiteinschluß in Albit; ▽ = Phengiteinschluß in Titanit; △ = Phengit in Zirkon, ■ = Zonierung eines "großen" Phengits.

Vergleicht man direkt die F-Werte ( $\text{Fe}^{2+} / \{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}\}$ ) der Glimmer aus den Biotit-Phengit-Gneisen mit den Phengiten aus den Versuchsprodukten (Abb. 10.5), so stellt man fest, daß die Bereiche überlappen, aber daß der

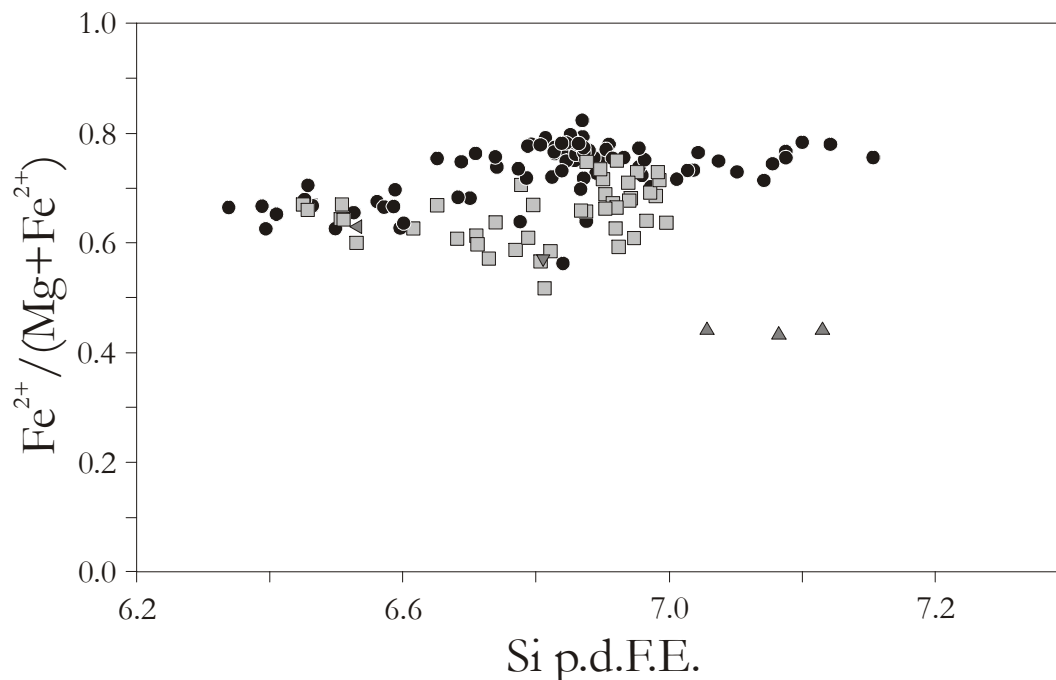


Abb. 10.5 Beziehung zwischen F-Werten ( $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ) und Siliziumgehalten natürlicher Phengite ( $\square$ ,  $\triangleleft$ ,  $\nabla$ ,  $\blacktriangle$ ) der Probe 17685 bzw. synthetischer Phengite ( $\bullet$ ) aus den Versuchen bei 45kbar 3.8 Gew.%  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt. Signaturen:  $\square$  = Zonierung großer Phengite,  $\triangleleft$  = Einschluß in Albit,  $\nabla$  = Einschluß in Titanit,  $\blacktriangle$  = Einschluß in Zirkon,  $\bullet$  = synthetische Phengite.

Magnesiumgehalt der Phengite in den Zirkoneinschlüssen deutlich erhöht ist. Da während der Experimente keine Hinweise auf einen Anreicherungsmechanismus des Magnesiums im Phengit beobachtet wurden, könnte dies darauf hindeuten, daß die im Einschluß im Zirkon enthaltenen Mineralien ( $\text{SiO}_2$ , Phengit, Klinopyroxen und Granat, Kap 8.1) ein lokales System bilden. Da die Zusammensetzung des Einschlußes aufgrund der Flächenverhältnisse der in ihm koexistierenden Phasen abgeschätzt (Phe 40%,  $\text{SiO}_2$  30%, Cpx 20%, Gtr 10%, Abb. 8.1) ungefähr einem Quarz-Syenit entspricht (Abb. 10.3), bilden die koexistierenden Phasen andere Zusammensetzungen, aus als bei der S-Typ granitischen

Zusammensetzung. Wann es zur Einschlußbildung kam und ob es sich bei dem Eduktmaterial um ein Fremdgestein, eisen- bzw. magnesiumreiche feste Phasen des Biotit-Phengit-Gneises oder um eine aus dem Biotit-Phengit-Gneis entstandene partielle Schmelze handelt, läßt sich auf Basis der vorliegenden Beobachtungen nicht entscheiden.

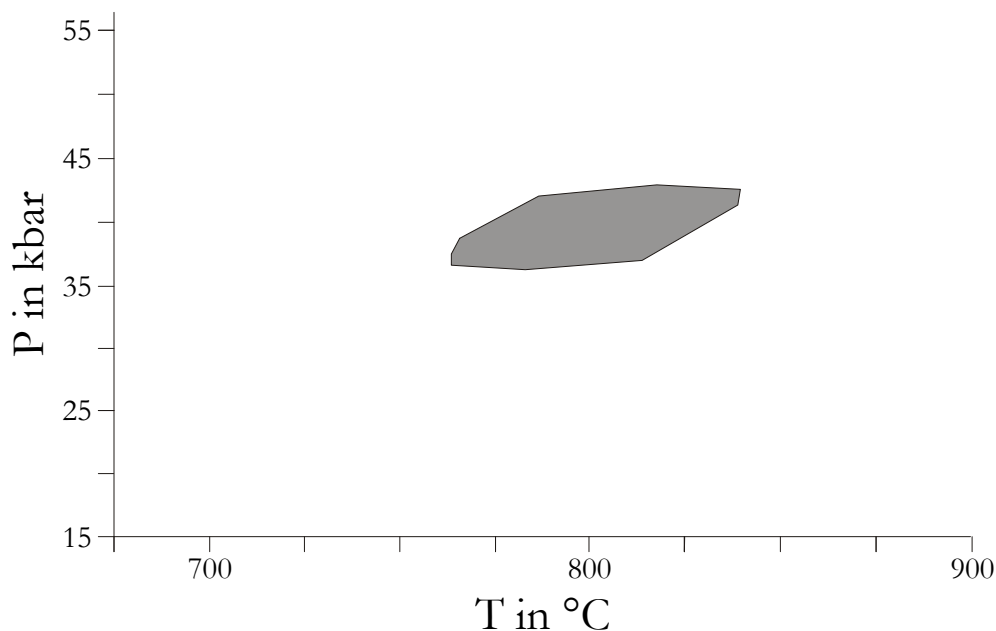


Abb. 10.6 Aus der im Zirkon eingeschlossenen Paragenese Granat-Phengit-Klinopyroxen durch Variation von Waters & Martin (1996) und Powell (1985) berechnetes Druck-Temperatur-Datum.

Dieser Einschluß ist, neben den Vergleichen zwischen Gestein und Experiment, ein zusätzlicher direkter Hinweis auf eine ältere UHP-Metamorphose der Biotit-Phengit-Gneise. Aus dem Granat-Phengit-Klinopyroxen-Einschluß kann direkt ein Druck-Temperatur-Datum errechnet werden. Zur Berechnung des Drucks wurde das Geobarometer nach Waters & Martin (1996), der Temperatur das Thermometer von Powell (1985) angewendet. Beide Berechnungsmethoden wurden in das Programm CARLO (siehe Anhang LXXVI, LXXVII) integriert, mit dessen Hilfe das Druck-Temperatur-Datum automatisch für die verschiedene Permutation einer festgelegten Anzahl von Variationen des Eisen-, Magnesium-, Aluminium- und Siliziumgehaltes innerhalb ihrer statistischen Fehlergrenzen

(Kap. 5.6.2) berechnet werden kann. Das Ergebnis der Berechnung ist in Abbildung 10.6. dargestellt. Der durch den Einschluß in Zirkon markierten Metamorphosepeak entspricht dem Metamorphosepeak der Pyrop-Coesit-Quarzite nach Schertl (1992). Es ergibt sich für den Einschluß ein Druck-Temperatur-Bereich von 36-43 kbar und 760-840°C.

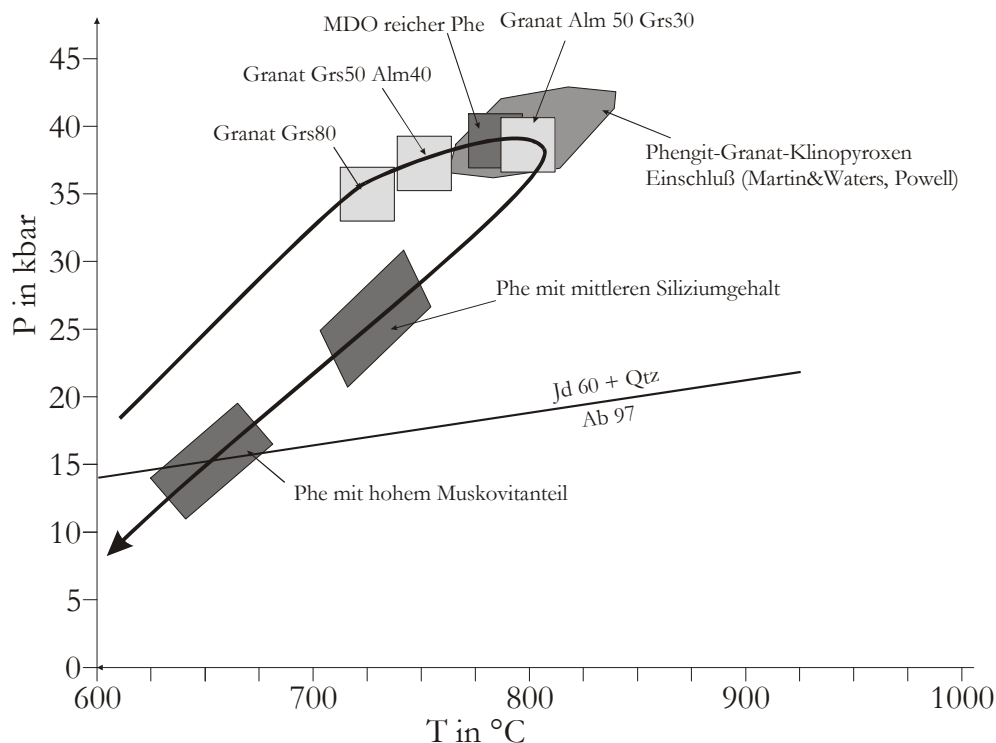


Abb. 10.7 Möglicher Verlauf der UHP-Metamorphose der Biotit-Phengit-Gneise. Die Abbildung basiert auf der Zusammensetzung der Granate, der Barometrie des Phengit-Granat-Klinopyroxen-Einschlusses und der Abfolge der Glimmer-Zusammensetzungen. Für den prograden und retrograden Druck-Temperatur-Pfad wurden ähnliche Temperaturen wie für die Pyrop-Coesit-Quarzite (Schertl, 1992) angenommen.

Für die Temperaturentwicklung kann aufgrund der vergleichbaren maximalen Metamorphosebedingungen ein ähnlicher Verlauf wie für die direkt benachbarten Pyrop-Coesit-Quarzite erwartet werden. Stellt man alle Indizien für eine UHP-Metamorphose zusammen, so ergibt sich Abbildung 10.7. Die unterschiedlichen Granat-Zusammensetzungen sprechen für eine relativ isobare Temperaturerhöhung bei hohen Drücken. Aus diesem Datum und Vergleichen wird der Schluß gezogen, daß die Biotit-Phengit-Gneise die

---

UHP-Metamorphose in gleicher Weise durchlaufen haben, wie die Pyrop-Coesit-Quarzite.



## 11 Zusammenfassung

Hochdruckexperimente über ein großes Druck-Temperatur-Feld haben ergeben, daß sich je nach H<sub>2</sub>O-Gehalt überwiegend SiO<sub>2</sub>-Phengit-Kalifeldspat-Klinopyroxen-Fluidphase-, SiO<sub>2</sub>-Phengit-Kalifeldspathydrat-Klinopyroxen-Fluidphase- und SiO<sub>2</sub>-Phengit-Klinopyroxen-Fluidphase-Paragenesen gebildet haben. Untergeordnet tritt Granat, Epidot, Titanit und Rutil auf. Die Granate bilden zwei Gruppen, eine extrem grossularreiche Gruppe bei niedrigen Temperaturen und hohen Drücken und ein hochtemperierte Niederdruck Gruppe, die almandinbetont ist. Zwischen beiden Gruppen liegt das Stabilitätsfeld der Allanite. Titanit baut oberhalb von 825-875°C ab, bei niedrigen Drücken bildet sich dabei Rutil, während bei höheren Drücken Phengit, Granat und die Fluidphase Titan binden.

Die mit den festen Phasen koexistierende Fluidphase wird mit steigendem Druck und sinkender Temperatur kaliumreicher und entwickelt sich in Richtung siliziumuntersättigter, foyaitischer Zusammensetzungen. Aus diesen Fluidphasen können sich bei schnellem weitgehend wechselwirkungsfreiem Aufstieg siliziumuntersättigte Magmen bilden.

Die koexistierenden Phengite haben Siliziumgehalte zwischen 6.6 und 7.3 Atomen p.d.F.E.. Der Siliziumgehalt fällt mit steigendem H<sub>2</sub>O-Gehalt des Ausgangsmaterials aufgrund der höheren Anteile an Fluidphase und des Abbaus von Kalifeldspat bzw. Kalifeldspathydrat und einer damit verbundenen Anreicherung von Aluminium in der festen Phase. Da der M<sup>2+</sup>-Gehalt der Phengite konstant ist, können Anpassungen der Zusammensetzung bei den Phengiten nur über die Substitution  $Al^{[6]} + 2Al^{[4]} \Leftrightarrow + 2Si^{[4]} + \bullet^{[6]}$  vorgenommen werden. Titan reichert sich mit steigender Temperatur und sinkenden Drücken im Phengit an. Besonders deutlich ist dieser Trend wenn Phengit mit Rutil koexistiert.

Die in den Biotit-Phengit-Gneisen enthaltenen Phengite entsprechen in ihrer Art und Lage in den Diagrammen denen der Versuche. Insbesondere die Phengiteinschlüsse in den Zirkonen entsprechen in ihrer Zusammensetzung denen der Versuche bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen. Das Mg/M<sup>2+</sup>-Verhältnis der natürlichen Phengite ist gegenüber denen der Versuchsprodukte erhöht. Dies könnte ein Hinweis auf den Einfluß von magnesiumreichen Fluiden auf die Biotit-Phengit-Gneise sein. Als potentielle Quelle kämen hierfür insbesondere die Pyrop-Coesit-Quarzite in Frage.

Zusätzlich weisen die Grossulargehalte aller Granate der Biotit-Phengit-Gneise im Vergleich mit den Granaten der Versuchsprodukte auf Hochdruckbedingungen hin. Der während der Neubearbeitung der Biotit-Phengit-Gneise gefundene Einschluß von Klinopyroxen-Granat-Phengit ergibt ebenfalls ein Druck-Temperatur-Datum von 36-42 kbar und 760-820 °C. Diese Beobachtungen sind der Beweis, daß die Biotit-Phengit-Gneise ähnlichen Metamorphosebedingungen ausgesetzt waren wie die Pyrop-Coesit-Quarzite.

**Literaturverzeichnis**

- Beckmann C. (1993): Verteilung der Seltenen Erdenelemente in Hochdruckgesteinen des Dora-Maira Massivs, Westalpen. Diplomarbeit, Ruhr-Universität-Bochum.
- Berman R.G. (1988): Internally-Consistent Thermodynamic Data for 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, 445-533.
- Biino G.G. & Compagnoni R. (1992): Very-high pressure metamorphism of the Brossaco coronite metagranite, southern Dora Maira Massif, Western Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 72, 347-363.
- Bishop F.C., Smith J.V., Dawson J.B. (1978): Na, K, P and Ti in Garnet, pyroxene and olivine from peridotite and eclogite xenoliths from African kimberlites. *Lithos*, 11, 155-173.
- Boettcher A.L. & Wyllie P.J. (1968): Melting of Granite with excess water to 30 kilobars pressure. *J. Geol.*, 76, 235-244.
- Boyd F.R. & England J.L. (1960): Apparatus for phase-equilibrium measurements at pressures up to 50 kbars and temperatures up to 1750°C. *J. Geophys. Res.*, 65, 741-748.
- Bureau H. & Keppler H. (1999) Complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids in the upper mantle: experimental evidence and geochemical implications. *Earth and Planetary Science Letters*.
- Burnham C.W. (1963): LCLSQ-An IBM 7090 computer-program for least-squares refinement of crystallographic lattice constants. *Geophysical Laboratory Yearbook, Carnegie Institution of Washington, Washington D.C.*
- Cawthorn R.G. & K.D. Collerson (1974): The recalculation of pyroxene end-member parameters and estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses. *Am. Min.*, 59, 1203-1208.
- Chopin C. (1984): Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the Western Alps: a first record and some consequences. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 107-118.
- Chopin C., Henry C. & Michard A. (1991): Geology and petrology of the coesite-bearing terrain, Dora Maira Massif, Western Alps. *Eur. J. Mineral.*, 3, 263-291.
- Cuthbert S. J. & Carswell D.A. (1990): Formation and exhumation of medium-temperature eclogites in the scandinavian Caledonides. In: *Eclogite-Facies Rocks* (ed. Carswell D.A.), Blackie, Glasgow
- De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. (1980): A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and

- major-element analysis-ist relationships with current nomenclature, *Chemical Geology*, 29, 183-210.
- Faires J.D. & Burden R.L. (1995): *Numerische Methoden: Näherungsverfahren und ihre praktische Anwendung*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg-Berlin-Oslo, 630 Seiten.
- Gebauer D., Schertl H.-P., Brix M., Schreyer W. (1997): 35 Ma old ultrahigh-pressure metamorphism and evidence for very rapid exhumation in the Dora Maira Massif, Western Alps., *Lithos*, 528,
- Green T.H. & Hellman P.L. (1982): Fe-Mg partitioning between coexisting garnet and phengite at high pressure, and comments on a garnet-phengite geothermometer. *Lithos*, 15, 253-266.
- Griffin W.L. (1986): On the eclogites of Norway-65 years later. *Mineralogical Magazine*, 54, 125-165.
- Heinrich C.A. (1982): Kyanite-eclogite to amphibolite facies evolution of hydrous mafic and pelitic rocks, Adula nappe, Central Alps. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 81, 30-38.
- Holland T.J. & Powell R. (1998): An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *J. metamorphic Geol.*, 16, 309-343.
- Huang W.L. & Wyllie P.J. (1973): Melting reactions of muscovite-granite to 35 kbar as a model for fusion of metamorphosed subducted oceanic sediments. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42, 1-14.
- Huang W.L. & Wyllie P.J. (1981): Phase relations of S-type granite with H<sub>2</sub>O to 35 kbar: Muscovite Granite From Harney Peak, South Dakota. *J. Geophys. Res.*, 86, 10515-10529.
- Ito E., Takahashi E. & Matsui Y. (1984): The mineralogy and chemistry of the lower mantle: an implication of the ultra-high pressure relations in the system MgO-FeO-SiO<sub>2</sub>. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 67, 238-248.
- Le Maitre R.W. (1984) A proposal by the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. *Australian Journal of Science*, 31, 243-255.
- Leistner H. (1999): Temperaturgradienten Messung in Piston-Zylinder-Pressen. *Fortschr. Mineral. Bh.* 1, 81-82.
- Massonne H.J. & Schreyer W. (1986): High-pressure syntheses and X-ray properties of white micas in the System K<sub>2</sub>O-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Neues Jahrb. Mineral.*, 153, 177-215.
- Massonne H.-J. & Schreyer W. (1987): Phengite geobarometry based on limiting assemblage with K-feldspar, phlogopit and quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96, 212-224.

- Massonne H.J. & Schreyer W. (1989): Stability field of the high pressure assemblage talc + phengite and two new phengite barometers. 1, 391-410.
- Mirwald P.W. & Massonne H.J. (1980): Quarz-Coesite transition and the comparative friction measurements in piston-cylinder apparatus using talc-alsimag-glass (TAG) and NaCl high pressure cells: A discussion. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 10, 469-477.
- Morimoto N. (1989): Nomenclature of pyroxens. Subcommittee on Pyroxenes IMA. Canadian Mineralogist, 27, 143-156.
- Okay A.I., Shutong X. & Sengör C.A.M. (1989): Coesite from the Dabie Shan eclogites, Central China., Eur. J. Mineral., 1, 595-598.
- Paillat O., Elphick S. C., Brown W. L. (1992) The solubility of water in  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  melts: a re-examination of Ab- $\text{H}_2\text{O}$  phase relationships and critical behaviour at high pressures. Contrib. Min. Petrol., 112, 490-500.
- Powell R. (1985): Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet-clinopyroxene geothermometer revisited. J. metamorphic Geol., 3, 231-243.
- Rickwood P.C. (1968): On Recasting Analyses of Garnet into End-Member Molecules. Contrib Mineral. and Petrol., 18, 175-198.
- Rieder M., Cavazzini G., Frank-Kamenetskii V.A., Gittardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Müller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.-L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R. (1998): Nomenclature of micas. Canadian Mineralogist, 36, 905-912.
- Robertson J.K. & Wyllie P.J. (1971a): Experimental studies on rocks from the Deboullie stock, northern Maine, including melting relations in the water-deficient environment. J. Geol., 79, 549-571.
- Robertson J.K. & Wyllie P.J. (1971b): Rock-Water systems, with special reference to water deficient region. Am. J. Sci., 271, 252-277.
- Schertl H.-P. (1992): Petrologie und Geochemie einer ultrahochdruckmetamorphen Gesteinsserie von Parigi, Dora Maira Massiv/Westalpen. Dissertationsschrift, Ruhr-Universität-Bochum, 111 Seiten.
- Schertl H.-P. & Schreyer W. (1996a) Mineral Inclusions in Heavy Minerals of the Ultrahigh pressure Metamorphic Rocks of the Dora-Maira Massif and Their Bearing on the Relative Timing of the Petrological Events. In: Earth Processes: Reading the Isotopic Code, Geophysical Monograph, 95, 331-342.
- Schertl H.-P. & Schreyer W. (1996b): Geochemistry and possible protoliths of coesite bearing pyrope quartzites and related rocks from Dora Maira Massif, Western Alps, Italy. Supplement to EOS Transactions, AGU, Vol. 77, 46, F762.

- Schertl H.-P., Schreyer W., Chopin C. (1991): The pyrope-coesite rocks and their country rocks at Parigi, Dora Maira Massif, Western Alps: detailed petrography, mineral chemistry and PT-Path. *Contrib Mineral Petrol*, 108,1-21.
- Schreyer W. (1999): Ultrahigh-Pressure Metamorphism and Geodynamics in Collision-Type Orogenic Belts. Final Report of the ILP Task Group III-6. *International Geological Review*, (im Druck).
- Seifert F. & Schreyer W. (1965): Synthesis of a new mica,  $\text{KMg}_{2.5}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ . *Am. Min.*, 50,1114-1118.
- Seki Y. & Kennedy C.G. (1964): The breakdown of potassium feldspar  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , at high temperatures and pressures. *Am. Min.*, 49, 1688-1706
- Shen A.H. & Keppler H. (1997): Direct observation of complete miscibility in the albite  $\text{H}_2\text{O}$  system. *Nature*, 385,710-712.
- Smith D.C. (1988): A review of the peculiar mineralogy of the „Norwegian coesite-eclogite province“, with crystalchemical, petrological, geochemical and geodynamical notes and an extensive bibliography. In: *Eclogite and Eclogite-Facies Rocks* (ed. Smith D.C.), 1-206. Elsevier, Amsterdam
- Stern C.R. & Wyllie P.J. (1973): Water-saturated and -undersaturated melting relations of a granite to 35 kilobars. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 18, 163-167.
- Stern C.R. & Wyllie P.J. (1981): Phase Relationships of I-Type Granite with  $\text{H}_2\text{O}$  to 35 Kilobars: The Dinkey Lakes Biotite-Granite from the Sierra Nevada Batholith. 86, 10412-10422.
- Thompson R. N. (1975): Is upper mantle phosphorus contained in sodic garnet? *Earth Planet. Sci. Letters*, 26, 372-376.
- Tilton G.R., Schreyer W., Schertl H.-P. (1991): Pb-Sr-Nd isotopic behavior of deeply subducted crustal rocks from Dora-Maira Massif, Western Alps, Italy-II: what is the age of the ultrahigh-pressure metamorphism?. *Contrib Mineral Petrol*, 108, 22-33.
- Tilton G.R., Ames L., Schertl H.-P., Schreyer W. (1997): Reconnaissance isotopic investigations on rocks of an undeformed granite contact within the coesite-bearing unit of the Dora Maira Massif. *Lithos*, 41, 25-36.
- Tuttle O.F.& Bowen N.L. (1958): Origin of granite in the light of experimental studies in the system  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ . *Geol. Soc. Am. Mem.*, 74, 153.
- Vialon P. (1966): Etude géologique du massif cristallin Dora Maira, Alpes cottiennes internes, Italie. Thèse d'état Université de Grenoble, 293 Seiten.

Waters D.J. & Martin H.N. (1993): Geobarometry in phengite-bearing eclogites. *Terra Abstracts*, 5,410-411.

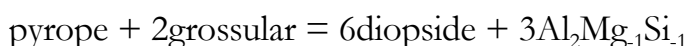
Waters D.J. & Martin H.N. (1996): The Garnet-Cpx-Phengite Barometer: Recommended calibration and calculation method, updated 1 March 1996. <http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/research/ecbarcal.html>.

INHALT DER WEB-SEITE: Waters D.J. & Martin H.N. (1996):

The Garnet-Cpx-Phengite Barometer

Recommended calibration and calculation method, updated 1 March 1996

The barometer uses the equilibrium



The calibration is based on the self-consistent thermodynamic dataset of Holland and Powell (1990, *J Metamorphic Geol.* 8, 89-124). We have fitted a linear expression to the isopleths of  $\ln K$  such that the linearised isopleths deviate by less than 100 bars from those calculated from the full dataset in the applicable part of the P-T range 6 - 40 kbar, 400 - 900°C:

$$P(\text{kbar}) = 28.05 + 0.02044T - 0.002995T \cdot \ln K$$

where T is in Kelvin and the  $\ln K$  term is calculated as follows:

$$\ln K = 6 \ln a_{\text{di}} - \ln a_{\text{prp}} - 2 \ln a_{\text{grs}} + 3 \ln \left( \frac{X_{\text{AlM1}}(4-\text{Si})}{X_{\text{MgM1}}(\text{Si}-2)} \right)$$

In the phengite (right-hand) term, Si cations are per formula unit of  $12(\text{O},\text{OH})$ , and M1 are the dioctahedral cation sites. Ideal mixing on sites was used for data extraction in mica end members by Holland and Powell (1990) and so must also be used in the application. Cancellation of the site terms held in common between the muscovite and celadonite end members leads to the formulation above.

Activity models for garnet and clinopyroxene are a major source of uncertainty in applying the barometer. An independent test of its accuracy is provided by the experiments of Schmidt MW (1993, *Am. J. Sci.* 293, 1011-1060). The barometer calibration above overestimates the experimental pressures by a little over 3 kbar when the activity models outlined below are

used. Until such time as there is better characterisation of the a-X relations in all three phases, and better thermochemical data on the Tschermak exchange in phengite, we recommend the following:

(Note that, because of the limitations of HTML, I have had to use y in place of the small greek letter gamma to represent an activity coefficient)

make an empirical correction of -0.000543 to the T.lnK term coefficient (on the assumption that the discrepancy with the Schmidt experiments, and with certain other natural data sets, lies mainly in the inadequacy of the activity models), so that

$$P(\text{kbar}) = 28.05 + 0.02044T - 0.003539T \cdot \ln K$$

use simple Mg-Ca mixing in garnet.

Normalise the analysis to 12 oxygens, 8 cations.

Then,  $X_{\text{Mg}} = \text{Mg}/3$ ,  $X_{\text{Ca}} = \text{Ca}/3$ ,  $X_{\text{Al}} = \text{Al}/2$ , where Mg etc. represents the number of Mg cations per formula unit.

$$\ln a(\text{prp}) = 3\ln(X_{\text{Mg}}) + 3\ln(\gamma_{\text{Mg}}) + 2\ln(X_{\text{Al}})$$

$$\ln a(\text{grs}) = 3\ln(X_{\text{Ca}}) + 3\ln(\gamma_{\text{Ca}}) + 2\ln(X_{\text{Al}})$$

From Newton and Haselton (1981), with units converted to J/mol:

$$\ln(\gamma_{\text{Mg}}) = [(13807 - 6.276T) \cdot X_{\text{Ca}} \cdot (1 - X_{\text{Mg}})] / RT$$

$$\ln(\gamma_{\text{Ca}}) = [(13807 - 6.276T) \cdot X_{\text{Mg}} \cdot (1 - X_{\text{Ca}})] / RT$$

use the reciprocal salt-solution model of Holland (1990, CMP 105, 446-453) for Cpx.

Normalise the analysis to 6 oxygens, 4 cations. Then  $X_{\text{Ca}, \text{M2}} = \text{Ca cations}$ ,  $X_{\text{Mg}, \text{M1}} = \text{Mg cations}$ .

For long-range-disordered or  $\text{Fe}^{3+}$ -bearing pyroxene:

$$\ln a(\text{di}) = \ln(X_{\text{Ca}, \text{M2}} \cdot X_{\text{Mg}, \text{M1}}) + \ln \gamma_{\text{CaMg}}$$

From Holland (1990),

$$\ln(\gamma_{\text{CaMg}}) = \{X_{\text{Na}, \text{M2}} [W_{\text{A}}(X_{\text{Al}, \text{M1}} + X_{\text{Fe}^{3+}, \text{M1}}) + (W_{\text{A}} - W_{\text{B}})X_{\text{Fe}^{2+}, \text{M1}}]\} / RT$$

where  $W_{\text{A}} = 26000 \text{ J}$ ,  $W_{\text{B}} = 25000 \text{ J}$ .

For ordered omphacite near the di-jd join, an additional activity coefficient  $\gamma_{\text{ord}, \text{di}}$  appears, arising from the Landau ordering model. Its value can be calculated from equation (12b) of Holland (1990).

use ideal mixing on sites for phengite.

using the activity expressions in Holland and Powell (1990)

$$a(\text{Al}_2\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}) = X_{\text{Al}, \text{M2}} \cdot X_{\text{Al}, \text{T2}} / (X_{\text{Mg}, \text{M2}} \cdot X_{\text{Si}, \text{T2}})$$



For a microprobe analysis normalised to 11 oxygens (without H<sub>2</sub>O) this can be expressed in terms of cations as

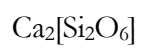
$$(Al+Si-4).(4-Si)/[Mg.(Si-2)]$$

**I Abkürzungen der Phasen und Komponenten**

Ae	=	Ägirin	$\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Ab	=	Albit	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
AlCel	=	Aluminium-Seladonit	$\text{K}_2\text{Mg}_2\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Alm	=	Almandin	$\text{Fe}_2^{+3}\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Aln	=	Allanit	$\text{Ca}(\text{REE})\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2[\text{O}/(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
Adr	=	Andradit	$\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$
AlTtn	=	Aluminium-Titanit	$\text{CaAl}[\text{SiO}_4](\text{OH},\text{F})$
Ann	=	Annit	$\text{K}_2\text{Fe}^{2+}_6[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
An	=	Anorthit	$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$
Ap	=	Apatit	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$
Asp	=	Aspidolit	$\text{Na}_2\text{Mg}_6[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Bio	=	Biotit	
CaTs	=	Ca-Tschermaks-Pyroxen	$\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$
Cpx	=	Klinopyroxen	
Coe	=	Coesit	$\text{SiO}_2$
CrMs	=	Chrom-Muskovit	$\text{K}_2\text{Cr}^{3+}_4[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Czo	=	Klinozoisit	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}[(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
Di	=	Diopsid	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
DTO	=	di/trioktaedrischer Glimmer	$\text{K}_2\text{M}^{2+}_5[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Eas	=	Eastonit	$\text{K}_2\text{Mg}_4\text{Al}_2[\text{Al}_4\text{Si}_4](\text{OH},\text{F})_4$
En	=	Enstatit	$\text{Mg}_2[\text{SiO}_6]$
Ep	=	Epidot (allgemein)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Al},\text{Fe}^{3+})[(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
Ep	=	Epidot (i.e.S.)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}[(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
ESB	=	Eskola-Pyroxen-Basis-Komponente	$\text{Al}_{1.33}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Esk	=	Eskola-Pyroxen	$\text{Ca}_{0.5}\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
FAlm	=	Fluoralmandin	$\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2\text{F}_4$
FeAlCel	=	Eisen-Aluminium-Seladonit	$\text{K}_2\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
FeMs	=	Ferri-Muskovit	$\text{K}_2\text{Fe}^{3+}_4[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
FeTtn	=	Ferri-Titanit	$\text{CaFe}^{3+}[\text{SiO}_4](\text{OH},\text{F})$
FGrS	=	Fluorgrossular	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2\text{F}_4$
Fs	=	Ferrosilit	$\text{Fe}^{2+}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Grt	=	Granat	

Grs	=	Grossular	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Hed	=	Hedenbergit	$\text{CaFe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
HGrs	=	Hydrogrossular	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2(\text{OH})_4$
Jd	=	Jadeit	$\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Kfs	=	Kalifeldspat	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Khy	=	Kalifeldspathydrat	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \bullet \text{H}_2\text{O}$
L	=	Fluidphase	
MDO	=	mono/dioctaederischer Glimmer	$\text{K}_2\text{Al}_{3.33}[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Mnz	=	Monazit	$(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})\text{PO}_4$
Ms	=	Muskovit	$\text{K}_2\text{Al}_4[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Phe	=	Phengit	$\text{K}_2\text{Al}_{2+x}\text{M}^{2+}_{2-x}[\text{Al}_x\text{Si}_{6+x}\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Pie	=	Piemontit	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Mn}^{3+}[(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
Pg	=	Paragonit	$\text{Na}_2\text{Al}_4[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
PNaGrt	=	Phosphor-Natrium-Granat	$\text{Na}_3\text{Al}_2[\text{PO}_4]_3$
Prp	=	Pyrop	$\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
$\text{M}^{1+}\text{Ttn}$	=	$\text{M}^{1+}$ -Titanit	$\text{M}^{1+}\text{Ti}[\text{SiO}_4](\text{OH},\text{F})$
$\text{M}^{2+}\text{Aln}$	=	$\text{M}^{2+}$ -Allanit	$\text{Ca}(\text{REE})\text{M}^{2+}\text{Al}_2[\text{O}/(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
$\text{M}^{2+}\text{Ttn}$	=	$\text{M}^{2+}$ -Titanit	$\text{M}^{2+}\text{Ti}[\text{SiO}_5]$
$\text{M}^{3+}\text{Ep}$	=	$\text{M}^{3+}$ -Epidot	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{M}^{3+}[(\text{OH})/\text{Si}_3\text{O}_{12}]$
Mrg	=	Margarit	$\text{Ca}_2\text{Al}_4[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Phl	=	Phlogopit	$\text{K}_2\text{Mg}_6[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
Qtz	=	Quarz	$\text{SiO}_2$
RTtn	=	REE-Titanit	$\text{Ca}(\text{REE}^{3+})[\text{SiO}_4](\text{OH},\text{F})$
Rt	=	Rutil	$\text{TiO}_2$
Sid	=	Siderophyllit	$\text{K}_2\text{Fe}^{2+}_4\text{Al}_2[\text{Al}_4\text{Si}_4](\text{OH},\text{F})_4$
Ski	=	Skiagit	$\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$
Sps	=	Spessartin	$\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
TiMs	=	Titan-Muskovit	$\text{K}_2\text{Ti}_3[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
TiNaGrt	=	Titan-Natrium-Granat	$\text{Na}_2\text{CaTi}_2[\text{SiO}_4]_3$
TO	=	trioktaedrischer Glimmer	$\text{K}_2\text{M}^{2+}_6[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH},\text{F})_4$
TSB	=	Tschermaks-Pyroxen-Basis-Komponente	$\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{O}_6]$
Ttn	=	Titanit	$\text{CaTi}[\text{SiO}_5]$
Uw	=	Uwarovit	$\text{CaCr}^{3+}_3[\text{SiO}_4]_3$

Wo = Wollastonit













### III Berechnung von Mineralformeln

Für die Berechnung von Druck-Temperatur-Daten, zur Bestimmung von thermodynamischen Daten und zur Interpretation des physikalisch-chemischen Verhaltens von Mineralien ist es wichtig deren Analysen in Mineralendgliedkomponenten zu zerlegen.

Die Berechnung von Mineralformeln gliedert sich immer in zwei Teile, erstens die Berechnung der in einer Mineralformel enthaltenen Zahl von Atomen, (im Folgenden Normierung genannt), sowie zweitens die Berechnung der Endgliedkomponenten aus den Atomen.

#### A.1. Normierung von Mineralanalysen

Die kristallchemischen Eigenschaften eines Minerals (z.B. Besetzung der Positionen) sind ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des Normierungsalgorithmus. Es gibt drei wichtige Algorithmen zur Normierung von Mineralanalysen. Bei allen Verfahren werden zuerst die Molmengen der Elemente in den Analysen bestimmt. Die Berechnung der Molmengen geschieht durch Division der Oxid-Gewichtsprozent durch das Molekulargewicht des Oxids und Multiplikation mit der Zahl der in der Oxidformel enthaltenen Atome des Elements. Die Liste der Molmengen wird auch als Molproportion bezeichnet.

##### A.1.1. Normierung auf Kationenvalezenzen

Aus der Strukturformel der meisten Minerale läßt sich eine charakteristische Zahl an Kationen- oder Anionenvalezenzen bestimmen, d.h. die Ladung der Summe aller Kationen oder Anionen ist konstant und unabhängig von der chemischen Zusammensetzung des Minerals. Zur Normierung müssen neben der Zahl der charakteristischen Kationenvalezenzen noch zwei weitere Werte berechnet werden. Der erste Wert gibt die Zahl der Kationenvalezenzen an, die in der Molproportion enthalten sind. Teilt man nun die

Kationenvalezen der Molproportion durch die charakteristische Zahl der Kationenvalezen, so erhält man einen Normierungsfaktor F. Werden alle Molmengen der Molproportion jeweils durch F dividiert, so erhält man ein Ergebnis mit der gewünschten charakteristischen Zahl an Kationenvalezen.

Bei Elementen mit mehr als einer Wertigkeit muß die Normierung / Endgliedberechnung nach jeder Änderung einer Wertigkeit durchlaufen werden.

#### *A.1.2. Normierung auf die Gesamtkationenzahl*

Analog zu dem im Abschnitt 6.1.1 beschriebenen Verfahren kann auch die Anzahl der Kationen als Normierungsmaß herangezogen werden. Bei diesem Verfahren werden, um den Normierungsfaktor F zu erhalten, die Kationen der Molproportion aufsummiert und durch die Summe der Kationen in der allgemeinen Strukturformel dividiert. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur für Minerale deren Kationenanzahl weitgehend invariant ist, z.B. Granat. In diesen Fällen besitzt das Verfahren jedoch den Vorteil, von Änderungen der Wertigkeiten einiger Elemente (z.B. Fe, Mn) unabhängig zu sein. Man erhält jedoch dabei keine Informationen über das Verhältnis der Wertigkeiten eines Elementes (z.B.  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$ ).

#### *A.1.3 Normierung auf Atompositionen*

Bei der Normierung auf eine bestimmte Atomposition wird der Normierungsfaktor F aus der Menge der Elemente der betreffenden Position in der Molproportion durch Division mit der Anzahl der Atome der betreffenden Position in der allgemeinen Strukturformel bestimmt. Diese Methode wird meist bei Mineralen angewendet, bei denen eine bestimmte Position definitiv mit einer oder mehreren Kationentypen besetzt ist, und die Wahrscheinlichkeit hoch ist, daß einige Elemente anderer Positionen nicht

analysiert wurden. Ein gutes Beispiel hierfür sind Epidot-Allanit Mischkristalle, die z.B. auf 3 Si pro Formeleinheit normiert werden können.

## A.2 Berechnung der Endglieder

Für die Berechnung von Endgliedern sollen hier drei wesentliche Methoden erläutert werden. Alle Methoden können zur Berechnung von Wertigkeiten in iterativen Algorithmen eingesetzt werden.

### A.2.1 Berechnung von Endgliedern auf der Basis charakteristischer Elementverhältnisse

Diese Methode wird bei Mineralen angewendet deren Endglieder durch die Besetzung einer Position mit definierten Elementen charakterisiert werden können. Ein gutes Beispiel ist das Feldspatsystem: Albit, Kalifeldspat, Anorthit. Alle drei Feldspatendglieder lassen sich durch die Besetzung der A-Position (Erdalkali-/Alkaliposition) wie folgt berechnen:

$$X_{\text{Kalifeldspat}} = \text{K} / (\text{K} + \text{Na} + \text{Ca}) \quad (0.1)$$

$$X_{\text{Albit}} = \text{Na} / (\text{K} + \text{Na} + \text{Ca}) \quad (0.2)$$

$$X_{\text{Anorthit}} = \text{Ca} / (\text{K} + \text{Na} + \text{Ca}) \quad (0.3)$$

Dieses Verfahren kann insbesondere zu Fehlern führen, wenn geringe Mengen einer nicht in Betracht gezogenen Komponente im Mineral enthalten sind. Aus diesem Grund sollte immer ein Vergleich zwischen den Kationen / Anionen aus der Normierung und der Summe der Kationen / Anionen der berechneten Komponenten vorgenommen werden. In der Regel führen Berechnungen dieser Art zu einem fehlerfreien Ergebnis. Falls dennoch geringfügige Abweichungen auftreten, müssen weitere Endglieder berücksichtigt und / oder weitere Elemente analysiert werden. Der Vorteil dieses Algorithmus liegt in seiner einfachen Form und Struktur.

### A.2.3 Berechnung durch serielle, lineare Zerlegung

Der wesentliche Vorteil dieses Algorithmus, der sehr häufig angewendet wird, liegt in seinem seriellen Charakter. Dadurch ist eine schrittweise

Entwicklung und Anpassung der Berechnung an das Mineral möglich. Die Grundidee besteht darin, definierte Endglieder nacheinander zu berechnen, indem die für die Endglieder notwendigen Elemente „verbraucht“ werden.

Beispiel: Die Uwarowitkomponente ( $X_{uw}$ ) einer Granatanalyse wird aus dem Normierungsergebnis berechnet, indem Chrom durch 2 geteilt wird. Anschließend wird vom Kalzium und vom Silizium  $3 \cdot X_{uw}$  subtrahiert. Aus den restlichen Elementen wird das nächste Endglied berechnet. Sehr detaillierte Zerlegungsalgorithmen werden z.B. in den Arbeiten von Rickwood (1968) und Cawthorn & Collerson (1974) dargestellt.

Einer wesentlicher Nachteil bei diesem Verfahren liegt in den häufig am Ende der Berechnung vorhandenen Restelementen, d.h. in den Elementen die nicht während der Berechnung verbraucht wurden. In diesen können sich nicht unerhebliche Mengen unberücksichtigter Komponenten befinden. Durch eine inkorrekte Festlegung der Reihenfolge bei der seriellen Berechnung sind zusätzliche Abweichungen von einer korrekten Zerlegung möglich.

#### *A.2.3 Berechnung der Endglieder durch Lösung eines linearen Gleichungssystems*

Diese Methode wird bereits seit langem bei der Berechnung der Mineralanteile von Gesteinen eingesetzt. Sie basiert darauf, daß alle möglich Endglieder, die für diese Mineralanalysen in Frage kommen bekannt sind. Zusätzlich müssen diese Endglieder linear unabhängig sein<sup>2</sup> und die Summe aller Molbrüche der enthaltenen Endglieder muß 1.00 ergeben (Kriterium der vollständigen Zerlegung). Sind diese Voraussetzungen für ein Mineral zutreffend, so kann der folgende Algorithmus eingesetzt werden.

---

<sup>2</sup> D.h. kein Endglied kann durch eine beliebige lineare Kombination anderer Endglieder darstellbar sein..

Das Zerlegungsproblem wird als lineares Gleichungssystem betrachtet. Dabei definieren  $n$  Elemente bzw. Elementpositionen jedes der  $n$  Endglieder die Spaltenvektoren einer  $n \times n$  Matrix. Dies bedeutet, daß nur  $n$  Elemente bzw. Elementpositionen betrachtet werden müssen, überzählige Elemente / Elementposition können zur Kontrolle des Ergebnisses oder zur Bestimmung von Wertigkeiten und anderen Unbekannten herangezogen werden. Zur Verdeutlichung folgt eine Berechnung am Beispiel des Phengits:

Phengit: 8 Glimmerendglieder (doppelte Formeleinheit):

Zusammensetzung der Glimmerendglieder:

Muskovit: (Ms)	$K_2Al_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$
Fe <sup>3+</sup> -Muskovit: (FeMs)	$K_2Fe_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$
Annit: (Ann)	$K_2Fe_6[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$
Phlogopit (Phl)	$K_2Mg_6[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$
Al-Mono/Di-oktaedrischer Glimmer: (MDO, hypothetisches Endglied)	$K_2Al_{3,333}[Si_8O_{20}](OH)_4$
Paragonit: (Par)	$Na_2Al_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$
Sprödglimmer: (Spr)	$(Ca,Ba)_2Al_4[Al_4Si_4O_{20}](OH)_4$
Ti-Muskovit: (TiMs, Hypothetisches Endglied)	$K_2Ti_3[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$

Im Folgenden seien *Ms*, *FeMs*, *Ann*, *Phl*, *MDO*, *Par*, *TiMs* und *Spr* die Molbrüche der Endglieder und  $Al^{[4]}$ ,  $Al^{[6]}$ , *Si*, *Fe*, *Mg*, *Na*, *Ti*, (*Ca+Ba*) die Atome der Analysen nach der Normierung. Da bei 8 Endgliedern nur 8 Elemente bzw. Elementpositionen benötigt werden, um das Gleichungssystem zu beschreiben, wird Kalium zur Berechnung nicht benötigt. Kalium wurde als nicht zu berücksichtigendes Element ausgewählt,

da bei EMS-Analysen häufig ein „Kaliumverlust“<sup>3</sup> während der Analyse auftritt. Eine Trennung von  $Fe^{2+}$  und  $Fe^{3+}$  ist für die Endgliedberechnung nicht nötig, da die eisenhaltigen Endglieder linear unabhängig sind.

Es ergeben sich für die Endglieder die Spaltenvektoren:

$$\begin{array}{l}
 \text{Mus:} \\
 \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{FeMs:} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{Ann:} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{Phl:} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} \\
 \\
 \text{MDO:} \\
 \begin{pmatrix} 3\frac{1}{3} \\ 0 \\ 8 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{Par:} \\
 \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{TiMs:} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix} ; \text{Spr:} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} \begin{matrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{matrix}
 \end{array}$$

Das Gleichungssystem lautet dann:

$$\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{FeMs} \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Ann} \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Phl} \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{MDO} \begin{pmatrix} 3\frac{1}{3} \\ 0 \\ 8 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Par} \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{TiMs} \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \text{Spr} \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Al^{[4]} \\ Al^{[6]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ CaBa \end{pmatrix}$$

Wie zu Beginn ausgeführt läßt sich dieses Gleichungssystem mit einer Matrix darstellen. Es ergibt sich:

$$M \bullet k = v \quad (0.4)$$

<sup>3</sup> Das Kalium wird in der Struktur verdrängt, und somit nicht mehr durch den Elektronenstrahl angeregt.

$$\text{mit: } M = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 3\frac{1}{3} & 4 & 0 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 4 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 8 & 6 & 6 & 4 \\ 0 & 4 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}; v = \begin{pmatrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca+Ba \end{pmatrix} \text{ und } k = \begin{pmatrix} Ms \\ FeMs \\ Ann \\ Phl \\ MDO \\ Par \\ TiMs \\ Spr \end{pmatrix}$$

Bekannt ist die Matrix  $M$  und der Zusammensetzungsvektor  $v$  während der Ergebnisvektor  $k$  unbekannt ist. Das Problem kann somit gelöst werden, wenn eine Matrix  $\bar{M}$  gefunden wird für die gilt:

$$\bar{M} \cdot v = k, \quad (0.5)$$

d.h. eine Matrix die multipliziert mit dem Zusammensetzungsvektor  $v$  den gesuchten Komponentenvektor  $k$  ergibt. Setzt man nun Gleichung 0.4 in Gleichung 0.5 ein, so ergibt sich:  $\bar{M} \cdot M \cdot k = k$ . Daraus folgt:  $\bar{M} \cdot M = E$  wobei  $E$  die Form einer Einheitsmatrix<sup>4</sup> hat. Eine Matrix  $\bar{M}$  mit diesen Eigenschaften wird als Inverse der Matrix  $M$  bezeichnet. Um die Inverse der Matrix  $M$  zu bestimmen, wird  $M$  um die Einheitsmatrix  $E$  erweitert. Es ergibt sich die erweiterte Matrix:

$$\left( \begin{array}{cccccccc|cccccccc} 4 & 0 & 0 & 0 & 3\frac{1}{3} & 4 & 0 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 8 & 6 & 6 & 4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right)$$

Formt man nun die erweiterte Matrix so um, daß im linken Teil eine Einheitsmatrix entsteht (z.B. mit dem Gaußalgorithmus), so befindet sich

<sup>4</sup> Für die Elemente  $e_{ij}$  einer Einheitsmatrix gilt  $e_{ij}=0$  mit  $i \neq j$  sowie  $e_{ij}=1$  für  $i=j$ .

anschließend im rechten Teil die gesuchte Matrix  $\bar{M}$ . Nach der Umformung erhält man:

$$\left( \begin{array}{cccccccc|ccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 & 5/16 & -5/48 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -11/12 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3/4 & 9/16 & 5/16 & -1/2 & -1/2 & 0 & -1 & -1/4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & -3/8 & -5/24 & 1/2 & 1/3 & 0 & 2/3 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3/8 & 1/8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{array} \right)$$

und somit ist:

$$\bar{M} = \begin{pmatrix} 1/4 & 5/16 & -5/48 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -11/12 \\ -3/4 & 9/16 & 5/16 & -1/2 & -1/2 & 0 & -1 & -1/4 \\ 1/2 & -3/8 & -5/24 & 1/2 & 1/3 & 0 & 2/3 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3/8 & 1/8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix}$$

Durch einsetzen von  $\bar{M}$  und  $v$  in  $\bar{M} \cdot v = k$ , erhält man die allgemeine Berechnungsvorschrift für die Komponenten eines Phengits mit den ausgewählten Endgliedern:

$$\begin{pmatrix} 1/4 & 5/16 & -5/48 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -11/12 \\ -3/4 & 9/16 & 5/16 & -1/2 & -1/2 & 0 & -1 & -1/4 \\ 1/2 & -3/8 & -5/24 & 1/2 & 1/3 & 0 & 2/3 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3/8 & 1/8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Al^{[6]} \\ Al^{[4]} \\ Si \\ Fe \\ Mg \\ Na \\ Ti \\ Ca + Ba \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Ms \\ FeMs \\ Ann \\ Phl \\ MDO \\ Par \\ TiMs \\ Spr \end{pmatrix}$$



Ausgedrückt mit Gleichungen für die einzelnen Molbrüche der Endglieder ergibt sich:

$$Ms = \frac{1}{4} \cdot Al^{[6]} + \frac{5}{16} \cdot Al^{[4]} - \frac{5}{48} \cdot Si - \frac{1}{2} \cdot Na - \frac{11}{12} (Ba + Ca)$$

$$FeMs = -\frac{3}{4} \cdot Al^{[6]} + \frac{9}{16} \cdot Al^{[4]} - \frac{5}{16} \cdot Si - \frac{1}{2} \cdot Fe - \frac{1}{2} \cdot Mg - Ti - \frac{1}{4} (Ba + Ca)$$

$$Ann = \frac{1}{2} \cdot Al^{[6]} - \frac{3}{8} \cdot Al^{[4]} - \frac{5}{24} \cdot Si + \frac{1}{2} \cdot Fe + \frac{1}{2} \cdot Mg + \frac{2}{3} \cdot Ti + \frac{1}{2} (Ba + Ca)$$

$$Phl = \frac{1}{6} \cdot Mg$$

$$MDO = -\frac{3}{8} \cdot Al^{[4]} + \frac{1}{8} \cdot Si^{[4]} + \frac{1}{2} (Ba + Ca)$$

$$Par = \frac{1}{2} \cdot Na$$

$$TiMs = \frac{1}{3} \cdot Ti$$

$$Spr = \frac{1}{2} \cdot (Ba + Ca)$$

Eine Änderung der Wertigkeit eines Elements ändert nicht die abbildende Matrix  $\bar{M}$ , macht jedoch eine Neuberechnung der Komponenten notwendig.

Es ist möglich Normierung und Zerlegung in einem Algorithmus zusammenzufassen, und somit sowohl die Komponenten als auch die Wertigkeiten eines Elements zu bestimmen. Im Falle des Phengits scheidet diese Möglichkeit aus, da Kalium aufgrund seiner zu hohen Fehlerwahrscheinlichkeit als zusätzliches Kriterium für die Wertigkeit des Eisens nicht in Frage kommt. Möglich ist die direkte Berechnung einer Wertigkeit nur, wenn ein verlässliches zusätzliches Kriterium zur Verfügung steht.

#### IV Anmerkungen zu den Analysen

Bei allen EMS-Analysen wurden die folgenden Elemente erfaßt:

P, Si, Ti, Al, Cr, Mg, Ca, Mn, Fe, Ni, Zn, Ba, Na, K, F, Cl.

Bei einigen Messungen wurden außerdem Cer und Lanthan gemessen. Aus Platzgründen konnten bei vielen Phasen nicht alle gemessenen Elemente in den Tabellen angegeben. Die Summe der Gewichtsprozent und die Summe einzelner Atompositionen beinhalten aber auch diese nicht aufgeführten Elemente. Somit ist es möglich, den Gehalt dieser Atome aus der Differenzen zwischen angegebenen Elementen und den einzelnen Summen zu ermitteln.

Aus Platzgründen wurden auch bei einigen Phasen nicht alle Komponenten angegeben.

Negative Komponenten und Komponentensummen die unter 0.99 liegen sind Hinweise auf fehlerhafte Analysen. Die Verwendung solcher Analysen ließ sich oftmals jedoch nicht verhindern.

Analysen der Klinopyroxene mit mehr als 0.5 Gew.%  $K_2O$  wurden korrigiert. Die Korrektur wurde durch Subtraktion entsprechender Mengen der entsprechenden Fluidphase vorgenommen. Es wurden jedoch die Originalanalysen angegeben.

Aufgrund von Problemen mit dem Pyropstandard kommt es im Granat zu einer leichten Unterbesetzung der Tetraederpositionen und einer leichten Überbesetzung der Oktaederpositionen.















P	45	45	45
T	850	875	900
Probe	GN59C	GN30B	GN12D
Analysennr.	49	50	51
SiO <sub>2</sub>	48.48	48.50	47.39
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.80	0.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.58	26.92	27.97
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.00	0.00
MgO	1.26	1.10	1.59
MnO	0.03	0.09	0.10
FeO	5.29	4.70	5.05
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.12	0.21
K <sub>2</sub> O	11.33	10.82	11.21
F	0.23	0.23	0.00
Summe	94.51	93.62	94.34
Na <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	.07	.12	.21
K <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	11.24	11.14	11.04
H <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	4.21	4.22	4.34
Summe	98.63	98.17	98.51
Si	6.6994	6.7104	6.5423
Al	1.2837	1.2856	1.4537
Summe	8.0000	8.0000	8.0000
Ti	0.0699	0.0830	0.0748
Al	3.0446	3.1044	3.0977
Cr <sup>3+</sup>	0.0064	0.0000	0.0000
Mg	0.2593	0.2264	0.3280
Mn	0.0041	0.0109	0.0115
Fe <sup>2+</sup>	0.6118	0.5435	0.5836
Summe	4.0380	3.9970	4.1011
Na	0.0195	0.0318	0.0563
K	1.9976	1.9100	1.9738
Summe	2.0171	1.9419	2.0301
F	0.1018	0.1015	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	3.8834	3.8985	3.9967
Summe	4.0000	4.0000	4.0000
Ms	0.4601	0.4637	0.5208
Cr-Ms	0.0016	0.0000	0.0000
M <sup>3+</sup> -Ms	0.0000	0.0027	0.0000
Par	0.0097	0.0164	0.0277
MDO	0.3497	0.3552	0.2711
Phl	0.1020	0.0906	0.0973
Ann	0.0376	0.0364	0.0533
M <sup>2+</sup> -TO	0.0077	0.0043	0.0028
Ti-Ms	0.0233	0.0287	0.0249
Summe	1.0000	1.0000	1.0000





























P	45	45	45	45	45
T	800	825	850	875	900
Probe	GN43D	GN42C	GN59A	GN30A	GN12B
Analysennr.	162	163	164	165	166
SiO <sub>2</sub>	49.85	49.97	48.92	47.25	47.51
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.76	0.86	0.76	1.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.86	25.02	24.60	24.98	27.32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.14	0.00	0.07	0.00
MgO	1.00	1.05	1.05	1.24	1.44
MnO	0.25	0.17	0.06	0.06	0.02
FeO	6.07	6.74	5.84	6.31	4.37
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.06	0.31	0.14	0.06
K <sub>2</sub> O	11.57	11.36	11.65	11.66	10.92
F	0.53	0.00	1.08	0.72	0.37
Summe	94.98	95.33	93.98	93.04	93.26
Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	.15	.06	.28	.13	.06
K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	11.07	11.33	10.69	10.79	11.19
H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	4.07	4.36	3.75	3.85	4.14
Summe	98.54	99.66	96.75	96.01	97.68
Si	6.9068	6.8649	6.8874	6.7428	6.5973
Al	1.0932	1.1351	1.1126	1.2572	1.3965
Summe	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000
Ti	0.0622	0.0783	0.0910	0.0811	0.1303
Al	2.9666	2.9162	2.9691	2.9445	3.0752
Cr <sup>3+</sup>	0.0032	0.0156	0.0000	0.0083	0.0000
Mg	0.2076	0.2153	0.2210	0.2635	0.2990
Mn	0.0289	0.0200	0.0071	0.0072	0.0027
Fe <sup>2+</sup>	0.7035	0.7744	0.6877	0.7525	0.5079
Summe	3.9979	4.0234	3.9800	4.0711	4.0222
Na	0.0416	0.0147	0.0846	0.0384	0.0171
K	2.0454	1.9911	2.0932	2.1230	1.9338
Summe	2.0901	2.0058	2.1795	2.1614	1.9508
F	0.2344	0.0000	0.4787	0.3263	0.1621
OH <sub>korrr.</sub>	3.7656	3.9953	3.5213	3.6604	3.8379
Summe	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Ms	0.3410	0.3613	0.3322	0.4088	0.5112
Cr-Ms	0.0008	0.0039	0.0000	0.0021	0.0000
M <sup>3+</sup> -Ms	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Par	0.0199	0.0073	0.0388	0.0178	0.0087
MDO	0.4550	0.4324	0.4445	0.3714	0.2987
Phl	0.1173	0.1291	0.1146	0.1254	0.0847
Ann	0.0346	0.0359	0.0368	0.0439	0.0478
M <sup>2+</sup> -TO	0.0091	0.0039	0.0019	0.0035	0.0008
Ti-Ms	0.0207	0.0261	0.0303	0.0270	0.0451
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000















P	45	45	45	45	45
T	800	825	850	875	900
Probe	GN43A	GN42D	GN59D	GN30C	GN12D
Analysennr.	202	203	204	205	206
SiO <sub>2</sub>	48.52	51.12	53.16	45.87	50.46
TiO <sub>2</sub>	0.77	0.85	0.79	0.22	1.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.10	21.86	20.06	29.19	23.11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.04	0.01	0.00	0.04
MgO	2.82	1.98	1.87	1.50	2.51
MnO	0.11	0.21	0.06	0.02	0.16
FeO	8.85	7.10	7.18	4.25	6.36
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.15	0.08	0.17	0.03
K <sub>2</sub> O	10.86	11.36	11.29	11.68	11.39
F	1.52	0.00	0.64	0.57	0.00
Summe	93.44	95.15	94.96	93.30	95.86
Na <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	.00	.15	.08	.16	.03
K <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	10.83	11.10	11.21	10.92	11.42
H <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	3.45	4.31	4.02	3.99	4.39
Summe	96.86	99.20	98.90	96.51	100.28
Si	6.9793	7.0752	7.3513	6.4434	6.8943
Al	1.0107	0.9125	0.6487	1.5566	1.1052
Summe	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000
Ti	0.0836	0.0886	0.0821	0.0229	0.1824
Al	2.3977	2.6539	2.6203	3.2757	2.6160
Cr <sup>3+</sup>	0.0165	0.0048	0.0016	0.0000	0.0041
Mg	0.6052	0.4085	0.3860	0.3136	0.5110
Mn	0.0140	0.0245	0.0070	0.0028	0.0185
Fe <sup>2+</sup>	1.0645	0.8216	0.8304	0.4987	0.7264
Summe	4.1948	4.0321	3.9313	4.1176	4.0599
Na	0.0000	0.0412	0.0220	0.0470	0.0089
K	1.9924	2.0062	1.9915	2.0926	1.9857
Summe	2.0058	2.0475	2.0136	2.1396	1.9947
F	0.6906	0.0000	0.2803	0.2532	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	3.3094	3.9798	3.7049	3.7351	3.9991
Summe	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.2261
Ms	0.1791	0.1954	0.0811	0.6122	0.2769
Cr-Ms	0.0041	0.0012	0.0004	0.0000	0.0010
M <sup>3+</sup> -Ms	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Par	0.0000	0.0201	0.0109	0.0220	0.0045
MDO	0.4963	0.5376	0.6757	0.2217	0.4472
Phl	0.1774	0.1369	0.1384	0.0831	0.1211
Ann	0.0975	0.0640	0.0643	0.0523	0.0850
M <sup>2+</sup> -TO	0.0027	0.0091	0.0018	0.0011	0.0033
Ti-Ms	0.0295	0.0295	0.0274	0.0076	0.0608
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



**X Phengite der UHP-Versuche, der Umkehrversuche und der  
 Versuche mit großem Volumen**

P	80	P	35	30	P	35
T	900	T	750	750	T	900
H <sub>2</sub> O-Gehalt	5.4%	H <sub>2</sub> O-Gehalt	9.9%	9.9%	Typ	gr. Vol.
Probe	GN33A	Probe	GN32A	GN71A	Probe	GN17 A
Analysennr.	216	Analysennr.	217	218	Analysennr.	219
SiO <sub>2</sub>	54.65	SiO <sub>2</sub>	49.11	48.83	SiO <sub>2</sub>	50.78
TiO <sub>2</sub>	0.23	TiO <sub>2</sub>	0.76	0.71	TiO <sub>2</sub>	1.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.83	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.13	25.09	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
MgO	20.16	MgO	1.29	1.02	MgO	2.11
FeO	1.84	MnO	0.03	0.27	MnO	0.03
NiO	0.62	FeO	5.40	6.15	FeO	3.35
Na <sub>2</sub> O	0.14	Na <sub>2</sub> O	0.20	0.22	Na <sub>2</sub> O	0.23
K <sub>2</sub> O	11.08	K <sub>2</sub> O	10.68	11.22	K <sub>2</sub> O	10.95
F	2.39	F	0.22	0.00	F	0.00
Summe	92.53	Summe	93.12	93.69	Summe	98.07
Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	0.14	Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	0.20	0.21	Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	.24
K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	10.65	K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	10.93	10.89	K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	11.49
H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	3.02	H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	4.19	4.28	H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	4.53
Summe	95.12	Summe	97.57	97.64	Summe	103.15
Si	7.8878	Si	6.8501	6.8292	Si	6.7147
Al	0.1061	Al	1.1477	1.1667	Al	1.2837
Summe	8.0000	Summe	8.0000	8.0000	Summe	8.0000
Ti	0.0252	Ti	0.0802	0.0751	Ti	0.1354
Al	0.2044	Al	2.9834	2.9687	Al	2.8696
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	Cr <sup>3+</sup>	0.0016	0.0016	Cr <sup>3+</sup>	0.0023
Mg	4.3381	Mg	0.2683	0.2133	Mg	0.4152
Fe <sup>2+</sup>	0.2216	Mn	0.0041	0.0317	Mn	0.0030
Ni	0.0715	Fe <sup>2+</sup>	0.6302	0.7192	Fe <sup>2+</sup>	0.3705
Summe	4.8994	Summe	3.9960	4.0210	Summe	4.0697
Na	0.0400	Na	0.0532	0.0588	Na	0.0581
K	2.0402	K	1.9006	2.0013	K	1.8477
Summe	2.0802	Summe	1.9538	2.0601	Summe	1.9057
F	1.0905	F	0.0966	0.0000	F	0.0000
OH <sub>korrr.</sub>	2.9095	OH <sub>korrr.</sub>	3.8970	3.9938	OH <sub>korrr.</sub>	3.9996
Summe	4.0000	Summe	4.0000	4.0000	Summe	6.2934
Ms	0.0167	Ms	0.3644	0.3681	Ms	0.3891
Cr-Ms	0.0000	Cr-Ms	0.0004	0.0004	Cr-Ms	0.0006
Par	0.0192	Par	0.0272	0.0286	Par	0.0305
MDO	0.0182	MDO	0.4250	0.4146	MDO	0.3574
Phl	0.0443	Phl	0.1050	0.1199	Phl	0.0617
Ann	0.8652	Ann	0.0440	0.0342	Ann	0.0687
Ti-Ms	0.0142	Ti-Ms	0.0270	0.0250	Ti-Ms	0.0451
Summe	1.0000	Summe	1.0000	1.0000	Summe	1.0000









































Phengittyp	Phe in Ttn	Phe in Ab
Probe	17685	17685
Analysennr.	356	357
SiO <sub>2</sub>	50.50	46.78
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.29	28.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	0.04
MgO	2.33	1.73
MnO	0.15	0.00
FeO	4.50	4.66
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.15
K <sub>2</sub> O	10.45	10.89
F	0.91	0.69
Summe	95.56	93.15
Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	.12	.16
K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	11.35	10.99
H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	3.99	3.97
Summe	100.47	97.22
Si	6.8188	6.5311
Al	1.1812	1.4689
Summe	8.0000	8.0000
Ti	0.0305	0.0131
Al	3.0023	3.1985
Cr <sup>3+</sup>	0.0158	0.0048
Mg	0.4700	0.3593
Mn	0.0174	0.0000
Fe <sup>2+</sup>	0.5086	0.5439
Summe	4.0446	4.1197
Na	0.0286	0.0416
K	1.8001	1.9401
Summe	1.8417	1.9817
F	0.3899	0.3069
OH <sub>korrr.</sub>	3.5980	3.6931
Summe	4.0000	4.0000
Ms	0.3820	0.5574
Cr-Ms	0.0039	0.0012
M <sup>3+</sup> -Ms	0.0000	0.0000
Par	0.0155	0.0210
MDO	0.4159	0.2655
Phl	0.0848	0.0906
Ann	0.0783	0.0599
M <sup>2+</sup> -TO	0.0029	0.0000
Ti-Ms	0.0102	0.0044
Summe	1.0000	1.0000

















ANHANG XIV Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O 220

P	45
T	900
Probe	GN12D
Analysennr.	405
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13
SiO <sub>2</sub>	67.81
TiO <sub>2</sub>	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00
MgO	0.01
CaO	0.22
MnO	0.08
FeO	0.29
NiO	0.01
ZnO	0.03
BaO	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.85
K <sub>2</sub> O	7.00
F	0.29
Cl	0.00
Summe	87.98

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15
SiO <sub>2</sub>	77.08
TiO <sub>2</sub>	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00
MgO	0.02
CaO	0.25
MnO	0.09
FeO	0.33
NiO	0.01
ZnO	0.03
BaO	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.97
K <sub>2</sub> O	7.95
F	0.33
Cl	0.00
Summe	100.00



















ANHANG XVII Quenchprodukte in den Versuchsprodukte mit 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O 229

P	35	35	40	45
T	875	900	750	775
Probe	GN35D	GN34B	GN19D	GN50C
Analysennr.	468	469	470	471
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.90	0.11	0.07	0.09
SiO <sub>2</sub>	54.59	67.50	60.58	55.92
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.14	0.23	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.48	15.03	17.79	17.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.14	0.00	0.15
MgO	0.05	0.00	0.05	0.25
CaO	7.39	0.23	5.85	0.29
MnO	0.01	0.12	0.08	0.02
FeO	0.34	0.53	1.41	0.91
NiO	0.00	0.00	0.04	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.11
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	1.30	1.40	0.66	0.13
K <sub>2</sub> O	8.12	5.19	9.40	12.95
F	0.46	0.31	0.22	0.01
Cl	0.01	0.00	0.00	0.00
Summe	90.59	90.57	96.60	88.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.60	0.12	0.07	0.10
SiO <sub>2</sub>	60.13	74.42	62.65	63.11
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.16	0.24	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.65	16.57	18.40	19.88
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.15	0.00	0.17
MgO	0.06	0.00	0.05	0.28
CaO	8.14	0.25	6.05	0.33
MnO	0.01	0.13	0.09	0.03
FeO	0.37	0.59	1.46	1.03
NiO	0.00	0.00	0.04	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.13
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	1.44	1.55	0.68	0.15
K <sub>2</sub> O	8.94	5.73	9.73	14.61
F	0.51	0.34	0.23	0.01
Cl	0.01	0.00	0.00	0.00
Summe	100.00	100.00	100.00	100.00

**XVIII Quenchprodukte bei erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalt oder großem**

**Probenvolumen**

	30	30	35
T	600	600	900
H <sub>2</sub> O-Gehalt	17.40%	25.50%	gr. Volumen
Probe	GN09A	GN09D	GN17A
Analysennr.	472	473	474
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.20
SiO <sub>2</sub>	52.68	59.60	70.32
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.09	18.37	13.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.05
MgO	0.04	0.03	0.08
CaO	0.00	0.00	0.27
MnO	0.00	0.03	0.06
FeO	0.08	0.34	0.83
NiO	0.00	0.00	0.09
ZnO	0.00	0.14	0.00
BaO	0.54	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.32	1.94	1.56
K <sub>2</sub> O	10.74	11.32	3.95
F	0.15	0.00	0.07
Cl	0.04	0.00	0.00
Summe	80.61	91.77	91.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.22
SiO <sub>2</sub>	65.35	64.94	76.99
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.96	20.02	14.96
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.05
MgO	0.05	0.04	0.09
CaO	0.00	0.00	0.29
MnO	0.00	0.03	0.06
FeO	0.10	0.37	0.91
NiO	0.00	0.00	0.10
ZnO	0.00	0.15	0.00
BaO	0.67	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.39	2.12	1.71
K <sub>2</sub> O	13.33	12.33	4.33
F	0.18	0.00	0.08
Cl	0.05	0.00	0.00
Summe	100.00	100.00	100.00

**XIX Quenchprodukte der Umkehrversuche**

P	30	35
T	750	750
Probe	GN71A	GN32A
Analysennr.	475	476
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.25
SiO <sub>2</sub>	64.21	65.73
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.99	12.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.00
MgO	0.01	0.00
CaO	0.31	0.64
MnO	0.20	0.09
FeO	0.11	0.71
NiO	0.00	0.08
ZnO	0.09	0.11
BaO	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.62	1.63
K <sub>2</sub> O	7.99	7.33
F	0.09	0.21
Cl	0.01	0.01
Summe	87.83	89.18

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.28
SiO <sub>2</sub>	73.11	73.70
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.65	13.75
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.00
MgO	0.01	0.00
CaO	0.35	0.71
MnO	0.23	0.11
FeO	0.13	0.80
NiO	0.00	0.09
ZnO	0.11	0.12
BaO	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.98	1.82
K <sub>2</sub> O	9.10	8.22
F	0.11	0.23
Cl	0.02	0.01
Summe	100.00	100.00

**XX Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	25	45	45	45	45	45
T	750	900	700	750	800	825	850
Phase	Kf	Kf	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy
Probe	GN38C	GN14D	GN57C	GN40B	GN43B	GN42A	GN59C
Analysennr.	477	478	479	480	481	482	483
SiO <sub>2</sub>	65.49	0.01	62.04	60.61	62.71	62.18	62.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.51	18.44	17.86	15.85	16.43	16.78	17.44
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.09	0.00	0.12	0.00	0.00
CaO	0.03	0.00	0.00	0.03	0.07	0.11	0.08
FeO	0.39	0.07	0.17	0.17	0.23	0.43	0.12
BaO	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	3.17	1.96	0.25	0.15	0.32	0.41	0.55
K <sub>2</sub> O	11.63	14.31	14.49	14.28	14.16	14.11	14.87
F	0.06	0.02	0.05	0.48	0.28	0.51	0.35
Summe	99.57	98.72	95.29	91.60	94.81	94.91	95.70
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.44	0.08	0.19	0.19	0.26	0.47	0.14
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	6.18	5.73	6.05	5.91	6.04
Summe	99.62	98.73	101.49	97.35	100.88	100.87	101.75
Si	2.9937	2.9775	2.9934	3.0477	3.0418	3.0198	3.0069
Al	0.9972	1.0145	1.0158	0.9393	0.9396	0.9606	0.9914
Fe <sup>3+</sup>	0.0151	0.0027	0.0068	0.0071	0.0094	0.0173	0.0050
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0035	0.0000	0.0046	0.0000	0.0000
Summe	3.9916	3.9920	4.0122	3.9893	3.9814	3.9805	3.9983
Ca	0.0016	0.0000	0.0000	0.0017	0.0039	0.0059	0.0043
Ba	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.2806	0.1772	0.0236	0.0146	0.0302	0.0382	0.0519
K	0.6781	0.8518	0.8919	0.9157	0.8763	0.8742	0.9151
Summe	0.9717	1.0334	0.9243	0.9410	0.9305	0.9426	0.9742
F	0.0085	0.0028	0.0078	0.0765	0.0433	0.0790	0.0532
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	1.9905	1.9223	1.9567	1.9162	1.9427
Summe	0.0101	0.0028	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
An	0.0016	0.0016					
Ab	0.2888	0.2888					
Kf	0.6978	0.6978					
Summe	0.9882	0.9882					

**XXI Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	25	25
T	750	750	675	700	725	750	775	825
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN38D	GN55D	GN62A	GN63A	GN64C	GN07C	GN65C	GN27B
Analysennr.	484	485	486	487	488	489	490	491
SiO <sub>2</sub>	65.06	64.16	63.87	63.31	63.03	64.18	64.40	64.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.23	18.58	17.83	18.73	18.69	18.44	18.49	18.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
FeO	0.03	0.03	0.03	0.07	0.34	0.36	0.08	0.13
BaO	0.00	0.05	0.16	0.02	0.08	0.00	0.38	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.79	2.21	0.51	0.23	0.85	1.28	0.76	1.53
K <sub>2</sub> O	12.52	13.79	16.91	16.31	15.63	15.65	16.03	14.56
F	0.00	0.04	0.06	0.02	0.00	0.11	0.13	0.06
Summe	99.05	99.06	99.59	99.10	99.00	100.43	100.51	99.73
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.04	0.04	0.08	0.38	0.39	0.09	0.15
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.05	99.06	99.60	99.10	99.04	100.47	100.52	99.75
Si	2.9991	2.9764	2.9880	2.9646	2.9523	2.9673	2.9760	2.9783
Al	0.9906	1.0161	0.9830	1.0339	1.0319	1.0045	1.0073	1.0029
Fe <sup>3+</sup>	0.0012	0.0013	0.0013	0.0028	0.0135	0.0137	0.0030	0.0051
Cr <sup>3+</sup>	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	3.9897	3.9925	3.9745	4.0013	3.9856	3.9718	3.9889	3.9833
Ca	0.0064	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0009	0.0029	0.0004	0.0014	0.0000	0.0068	0.0000
Na	0.2492	0.1986	0.0465	0.0213	0.0769	0.1148	0.0685	0.1376
K	0.7364	0.8163	1.0091	0.9745	0.9338	0.9229	0.9451	0.8596
Summe	1.0019	1.0239	1.0646	1.0065	1.0266	1.0512	1.0252	1.0172
F	0.0000	0.0059	0.0086	0.0022	0.0000	0.0154	0.0191	0.0081
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0000	0.0070	0.0091	0.0061	0.0022	0.0162	0.0197	0.0086
An	0.0064	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000
Ab	0.2487	0.1940	0.0436	0.0212	0.0749	0.1092	0.0668	0.1352
Kf	0.7350	0.7972	0.9479	0.9682	0.9096	0.8780	0.9219	0.8451
Summe	0.9901	0.9916	0.9915	0.9893	0.9845	0.9890	0.9887	0.9803

P	25	25	30	30	30	30	30	30
T	850	900	700	725	750	750	825	850
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN58D	GN04C	GN49D	GN48B	GN01C	GN16C	GN20C	GN46D
Analysennr.	492	493	494	495	496	497	498	499
SiO <sub>2</sub>	63.90	64.15	65.00	62.18	62.87	63.59	64.23	63.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.05	19.07	17.89	18.13	18.32	18.43	18.72	18.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.06	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.09
CaO	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.06	0.10	0.15	0.04	0.12	0.07	0.01	0.21
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	1.50	1.68	0.22	0.22	0.29	0.36	0.61	1.02
K <sub>2</sub> O	14.95	14.21	16.37	16.91	17.22	16.73	16.02	15.30
F	0.15	0.11	0.01	0.00	0.06	0.05	0.00	0.12
Summe	98.93	99.60	100.01	97.80	99.35	100.01	99.82	99.36
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.11	0.17	0.05	0.13	0.07	0.01	0.23
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.93	99.61	100.03	97.80	99.37	100.02	99.82	99.38
Si	2.9866	2.9626	3.0097	2.9659	2.9591	2.9639	2.9772	2.9700
Al	0.9945	1.0377	0.9763	1.0190	1.0163	1.0125	1.0224	1.0207
Fe <sup>3+</sup>	0.0022	0.0038	0.0059	0.0017	0.0048	0.0026	0.0004	0.0082
Cr <sup>3+</sup>	0.0038	0.0021	0.0011	0.0000	0.0000	0.0017	0.0000	0.0033
Summe	3.9811	4.0037	3.9860	3.9849	3.9761	3.9764	3.9996	3.9914
Ca	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.1357	0.1509	0.0200	0.0201	0.0264	0.0329	0.0545	0.0922
K	0.8917	0.8371	0.9669	1.0288	1.0337	0.9949	0.9474	0.9075
Summe	1.0360	0.9947	0.9991	1.0573	1.0744	1.0468	1.0115	1.0066
F	0.0228	0.0156	0.0007	0.0000	0.0083	0.0080	0.0000	0.0176
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0272	0.0156	0.0007	0.0000	0.0121	0.0127	0.0000	0.0182
An	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.1310	0.1517	0.0200	0.0190	0.0246	0.0314	0.0539	0.0916
Kf	0.8607	0.8415	0.9677	0.9731	0.9621	0.9504	0.9366	0.9015
Summe	0.9917	0.9944	0.9877	0.9920	0.9867	0.9818	0.9905	0.9932



P	30	30	30	35	35	35	40	40
T	875	900	900	675	700	725	700	750
Phase	Kf	Kf	Kf	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy
Probe	GN45C	GN02C	GN10C	GN21C	GN47C	GN41B	GN56A	GN19C
Analysennr.	500	501	502	503	504	505	506	507
SiO <sub>2</sub>	64.17	63.13	63.59	63.29	63.09	59.94	61.03	59.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.44	17.98	18.32	18.03	17.04	17.10	17.72	17.87
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.09	0.29	0.15	0.08	0.21	0.17	0.10	0.73
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.62	1.15	0.61	0.14	0.09	0.07	0.00	0.30
K <sub>2</sub> O	16.20	15.68	15.91	13.46	14.14	15.41	14.60	14.46
F	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	0.13	0.14	0.04
Summe	100.05	98.30	98.72	95.34	95.02	92.94	93.77	93.61
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.32	0.17	0.09	0.23	0.19	0.11	0.81
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	6.24	6.15	5.95	6.04	6.06
Summe	100.06	98.33	98.73	101.59	101.19	98.91	99.83	99.75
Si	2.9779	2.9776	2.9810	3.0216	3.0416	2.9888	2.9945	2.9508
Al	1.0088	0.9993	1.0122	1.0146	0.9685	1.0051	1.0249	1.0396
Fe <sup>3+</sup>	0.0033	0.0113	0.0059	0.0031	0.0084	0.0072	0.0042	0.0301
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0009	0.0041	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	3.9874	3.9769	3.9943	4.0362	4.0102	3.9954	4.0217	3.9903
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000
Na	0.0562	0.1053	0.0553	0.0131	0.0086	0.0064	0.0004	0.0288
K	0.9593	0.9436	0.9515	0.8196	0.8697	0.9802	0.9140	0.9107
Summe	1.0274	1.0529	1.0101	0.8404	0.8853	0.9934	0.9183	0.9582
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0218	0.0197	0.0217	0.0059
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	1.9873	1.9771	1.9803	1.9783	1.9935
Summe	0.0058	0.0002	0.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
An	0.0000	0.0000	0.0000					
Ab	0.0547	0.1000	0.0547					
Kf	0.9337	0.8961	0.9419					
Summe	0.9883	0.9961	0.9966					



**XXII Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	25	25
T	750	750	675	700	725	750	775	825
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN38A	GN55A	GN62B	GN63B	GN64B	GN07B	GN65B	GN27C
Analysennr.	514	515	516	517	518	519	520	521
SiO <sub>2</sub>	64.15	64.54	63.90	64.20	62.85	61.76	63.89	64.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.26	18.87	18.18	18.25	18.17	19.04	18.46	17.85
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	0.04	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.19	0.23	0.13	0.29	0.10	2.17	0.12	0.09
BaO	0.00	0.05	0.00	0.20	0.03	0.00	0.04	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.90	3.42	0.41	0.51	0.46	0.59	0.74	1.20
K <sub>2</sub> O	12.71	11.66	16.55	16.06	16.54	15.00	15.42	15.00
F	0.01	0.07	0.05	0.12	0.10	0.00	0.07	0.04
Summe	99.13	99.21	99.55	99.65	98.31	99.50	98.85	99.26
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	0.26	0.15	0.32	0.11	2.42	0.14	0.10
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.15	99.24	99.56	99.68	98.32	99.75	98.86	99.27
Si	2.9724	2.9678	2.9835	2.9877	2.9746	2.8832	2.9845	3.0047
Al	0.9973	1.0228	1.0006	1.0011	1.0133	1.0474	1.0165	0.9768
Fe <sup>3+</sup>	0.0074	0.0090	0.0052	0.0112	0.0040	0.0849	0.0048	0.0034
Cr <sup>3+</sup>	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000
Summe	3.9745	3.9935	3.9841	3.9888	3.9879	3.9311	4.0010	3.9849
Ca	0.0022	0.0083	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0009	0.0000	0.0036	0.0005	0.0000	0.0007	0.0000
Na	0.2603	0.3048	0.0373	0.0463	0.0425	0.0529	0.0668	0.1083
K	0.7515	0.6838	0.9857	0.9536	0.9987	0.8930	0.9188	0.8887
Summe	1.0321	1.0029	1.0359	1.0060	1.0455	0.9940	0.9919	1.0051
F	0.0019	0.0100	0.0069	0.0177	0.0151	0.0000	0.0100	0.0057
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0019	0.0122	0.0069	0.0193	0.0151	0.0000	0.0100	0.0057
An	0.0022	0.0082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.2522	0.3039	0.0360	0.0461	0.0407	0.0533	0.0673	0.1077
Kf	0.7281	0.6818	0.9516	0.9479	0.9552	0.8984	0.9263	0.8842
Summe	0.9825	0.9939	0.9876	0.9940	0.9959	0.9517	0.9936	0.9920

P	25	25	25	25	30	30	30	30
T	850	875	900	900	675	750	750	750
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN58A	GN66C	GN04B	GN14B	GN18B	GN01B	GN39B	GN16B
Analysennr.	522	523	524	525	526	527	528	529
SiO <sub>2</sub>	63.44	64.82	65.08	64.83	62.44	63.53	62.87	63.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.37	18.31	18.55	19.03	18.41	18.61	19.06	18.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.05	0.01	0.15	0.10	0.07	0.01	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.11	0.16	0.10	0.13	0.14	0.00	0.00	0.25
BaO	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	1.60	1.62	2.24	2.56	1.41	0.35	0.42	0.35
K <sub>2</sub> O	14.39	14.60	13.37	12.78	15.56	15.35	16.39	16.44
F	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
Summe	98.31	100.20	99.62	99.73	98.19	98.38	99.03	99.20
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.17	0.11	0.15	0.15	0.00	0.00	0.28
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.33	100.21	99.63	99.75	98.21	98.38	99.03	99.23
Si	2.9773	2.9884	2.9890	2.9724	2.9526	2.9779	2.9483	2.9868
Al	1.0161	0.9946	1.0044	1.0284	1.0258	1.0281	1.0534	0.9932
Fe <sup>3+</sup>	0.0044	0.0060	0.0038	0.0050	0.0053	0.0000	0.0000	0.0098
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0017	0.0005	0.0054	0.0037	0.0027	0.0005	0.0003
Summe	3.9942	3.9830	3.9975	4.0008	3.9799	4.0100	4.0017	3.9828
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0018	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.1452	0.1449	0.1995	0.2273	0.1290	0.0321	0.0382	0.0318
K	0.8613	0.8584	0.7835	0.7475	0.9389	0.9177	0.9805	0.9809
Summe	1.0160	1.0214	0.9878	0.9806	1.0717	0.9627	1.0290	1.0190
F	0.0194	0.0197	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0206	0.0219	0.0011	0.0000	0.0003	0.0098	0.0006	0.0000
An	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.1429	0.1419	0.2020	0.2318	0.1204	0.0333	0.0372	0.0312
Kf	0.8478	0.8404	0.7931	0.7623	0.8760	0.9532	0.9529	0.9627
Summe	0.9907	0.9823	0.9951	0.9941	0.9964	0.9866	0.9901	0.9939

P	30	30	30	30	30	35	35	35
T	800	825	875	900	900	675	725	750
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Khy	Khy	Khy
Probe	GN26D	GN20B	GN45C	GN10B	GN02B	GN21B	GN41C	GN03B
Analysennr.	530	531	532	533	534	535	536	537
SiO <sub>2</sub>	63.26	64.42	63.58	64.18	63.80	61.58	61.00	61.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.65	18.64	18.49	18.39	18.17	17.96	17.30	18.61
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.05	0.10	0.03	0.00	0.00	0.10	0.03
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.04	0.13	0.00	0.11	0.09	0.09	0.24	0.08
BaO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.57	0.69	1.17	1.06	0.62	0.26	0.02	0.16
K <sub>2</sub> O	16.72	16.23	15.31	15.14	16.07	15.27	15.56	12.39
F	0.10	0.00	0.11	0.05	0.00	0.19	0.00	0.00
Summe	99.65	100.33	99.16	99.28	98.75	95.35	94.35	93.26
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.14	0.00	0.12	0.10	0.10	0.27	0.09
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.09	6.10	6.18
Summe	99.66	100.34	99.16	99.29	98.76	101.45	100.47	99.45
Si	2.9575	2.9748	2.9699	2.9843	2.9903	2.9841	2.9930	2.9986
Al	1.0279	1.0145	1.0181	1.0080	1.0035	1.0257	1.0006	1.0641
Fe <sup>3+</sup>	0.0017	0.0049	0.0000	0.0044	0.0035	0.0038	0.0098	0.0032
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0017	0.0038	0.0011	0.0000	0.0000	0.0040	0.0012
Summe	3.9875	3.9908	3.9880	3.9930	3.9938	4.0099	3.9936	4.0638
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0516	0.0619	0.1062	0.0958	0.0564	0.0243	0.0017	0.0151
K	0.9974	0.9562	0.9126	0.8983	0.9609	0.9439	0.9739	0.7666
Summe	1.0574	1.0240	1.0346	1.0032	1.0174	0.9715	0.9801	0.7872
F	0.0148	0.0000	0.0158	0.0068	0.0003	0.0293	0.0000	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.9697	1.9961	1.9982
Summe	0.0201	0.0000	0.0158	0.0073	0.0003	2.0000	2.0000	2.0000
An	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Ab	0.0488	0.0605	0.1027	0.0954	0.0554			
Kf	0.9432	0.9338	0.8821	0.8954	0.9444			
Summe	0.9919	0.9943	0.9847	0.9909	0.9998			

P	35	35	35	35	35	40	40	40
T	800	850	875	900	900	700	725	750
Phase	Khy	Kf	Kf	Kf	Kf	Khy	Khy	Khy
Probe	GN23C	GN29C	GN35C	GN34D	GN13B	GN56B	GN61C	GN19A
Analysennr.	538	539	540	541	542	543	544	545
SiO <sub>2</sub>	62.47	63.07	64.15	64.28	63.19	61.28	61.96	60.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	17.73	18.12	18.63	18.63	17.57	17.74	17.25
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00
FeO	0.18	0.77	0.12	0.05	0.10	0.00	0.14	0.06
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.38	0.27	0.50	0.18	0.19	0.14	0.11
K <sub>2</sub> O	15.18	16.55	16.91	16.35	17.24	15.05	12.84	14.78
F	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	1.31	0.15
Summe	95.77	99.26	99.71	99.89	99.54	95.02	93.99	93.14
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.86	0.13	0.06	0.11	0.00	0.15	0.07
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	6.23	0.00	0.00	0.00	0.00	5.67	5.54	5.95
Summe	102.01	99.35	99.72	99.89	99.55	100.69	99.55	99.10
Si	3.0022	2.9623	2.9896	2.9799	2.9587	2.9954	3.0158	2.9943
Al	1.0086	0.9815	0.9951	1.0180	1.0283	1.0121	1.0175	1.0088
Fe <sup>3+</sup>	0.0072	0.0303	0.0047	0.0021	0.0040	0.0000	0.0056	0.0027
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	4.0108	3.9465	3.9854	3.9979	3.9893	4.0090	4.0388	4.0038
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0117	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000
Na	0.0051	0.0345	0.0240	0.0448	0.0168	0.0183	0.0128	0.0106
K	0.9310	0.9916	1.0055	0.9667	1.0296	0.9385	0.7974	0.9360
Summe	0.9389	1.0575	1.0333	1.0136	1.0495	0.9651	0.8243	0.9658
F	0.0043	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1499	0.2012	0.0229
OH <sub>korr.</sub>	1.9957	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.8472	1.7988	1.9710
Summe	2.0000	0.0031	0.0021	0.0000	0.0021	2.0000	2.0000	2.0000
An		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Ab		0.0326	0.0232	0.0442	0.0160			
Kf		0.9377	0.9731	0.9538	0.9810			
Summe		0.9703	0.9964	0.9980	0.9970			

P	40	40	40	40	40	45	45	45
T	775	800	825	875	900	700	725	750
Phase	Khy	Khy	Khy	Khy	Kf	Khy	Khy	Khy
Probe	GN51C	GN37D	GN54C	GN52D	GN06B	GN57A	GN67D	GN40D
Analysennr.	546	547	548	549	550	551	552	553
SiO <sub>2</sub>	60.87	60.42	59.63	62.12	63.91	61.22	62.11	59.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.83	17.48	17.47	17.44	18.28	17.63	18.07	17.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.05	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.06
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.03	0.05	0.05	0.12	0.11	0.08	0.22	0.03
BaO	0.20	0.00	0.10	0.18	0.00	0.34	0.07	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.25	0.08	0.02	0.35	0.07	0.10	0.17
K <sub>2</sub> O	15.47	15.27	15.49	14.29	16.64	15.19	14.73	15.30
F	0.06	0.04	0.04	0.00	0.00	0.08	0.24	0.08
Summe	94.57	93.91	93.10	94.72	99.41	94.89	95.84	92.97
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.06	0.05	0.14	0.12	0.09	0.24	0.04
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	6.10	6.06	5.99	6.06	0.00	6.11	6.11	5.97
Summe	100.67	99.98	99.09	100.79	99.42	101.01	101.97	98.95
Si	2.9805	2.9787	2.9742	3.0167	2.9830	2.9852	2.9852	2.9828
Al	1.0288	1.0157	1.0272	0.9982	1.0054	1.0134	1.0236	1.0007
Fe <sup>3+</sup>	0.0014	0.0022	0.0019	0.0050	0.0042	0.0032	0.0087	0.0014
Cr <sup>3+</sup>	0.0023	0.0018	0.0000	0.0000	0.0009	0.0012	0.0000	0.0024
Summe	4.0093	3.9973	4.0015	4.0193	3.9898	4.0045	4.0132	3.9902
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0038	0.0000	0.0019	0.0034	0.0000	0.0065	0.0013	0.0000
Na	0.0063	0.0236	0.0077	0.0023	0.0314	0.0066	0.0097	0.0167
K	0.9666	0.9605	0.9858	0.8854	0.9909	0.9450	0.9033	0.9730
Summe	0.9767	0.9959	1.0046	0.8940	1.0258	0.9640	0.9247	1.0032
F	0.0091	0.0067	0.0062	0.0000	0.0000	0.0119	0.0369	0.0125
OH <sub>korr.</sub>	1.9909	1.9933	1.9915	1.9620	0.0000	1.9881	1.9579	1.9848
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	0.0000	2.0000	2.0000	2.0000

P	45	45	45	45
T	775	825	850	875
Phase	Khy	Khy	Khy	Khy
Probe	GN50A	GN42C	GN59A	GN30A
Analysennr.	554	555	556	557
SiO <sub>2</sub>	59.89	61.68	59.07	60.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.74	17.73	17.40	17.72
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.12	0.09
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.12	0.00	0.15	0.13
BaO	0.00	0.00	0.13	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.03	0.57	0.24
K <sub>2</sub> O	15.20	14.75	15.19	15.80
F	0.00	0.03	0.41	0.08
Summe	93.46	94.25	92.92	94.78
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.00	0.16	0.15
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	6.05	6.14	5.79	6.27
Summe	99.52	100.39	98.73	101.07
Si	2.9668	3.0050	2.9604	2.9614
Al	1.0357	1.0177	1.0280	1.0232
Fe <sup>3+</sup>	0.0050	0.0000	0.0061	0.0054
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0048	0.0035
Summe	4.0047	4.0241	3.9892	3.9913
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0025	0.0000
Na	0.0113	0.0029	0.0555	0.0228
K	0.9609	0.9169	0.9712	0.9873
Summe	0.9847	0.9198	1.0322	1.0164
F	0.0000	0.0040	0.0650	0.0130
OH <sub>korr.</sub>	2.0000	1.9949	1.9350	2.0492
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0623



**XXIII Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	20	25	25	25	25	25
T	750	750	800	675	700	725	750	775
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN38B	GN55B	GN25C	GN62C	GN63C	GN64A	GN07A	GN65A
Analysennr.	558	559	560	561	562	563	564	565
SiO <sub>2</sub>	64.89	64.70	65.54	64.20	63.24	63.24	62.80	64.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.79	18.65	19.27	18.75	18.26	18.26	18.48	18.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.13	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.12
CaO	0.15	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.13	0.10	0.18	0.13	0.07	0.07	0.10	0.09
BaO	0.00	0.11	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	3.34	2.73	4.40	0.43	0.43	0.43	0.66	0.66
K <sub>2</sub> O	11.64	12.45	10.10	16.06	16.05	16.05	16.17	16.43
F	0.00	0.01	0.00	0.09	0.04	0.04	0.00	0.09
Summe	99.32	99.34	100.70	100.12	98.67	98.67	98.32	100.49
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.11	0.20	0.15	0.08	0.08	0.11	0.10
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.33	99.35	100.72	100.14	98.68	98.68	98.34	100.50
Si	2.9783	2.9795	2.9567	2.9737	2.9750	2.9750	2.9644	2.9825
Al	1.0162	1.0122	1.0244	1.0236	1.0125	1.0125	1.0280	0.9973
Fe <sup>3+</sup>	0.0049	0.0038	0.0069	0.0052	0.0028	0.0028	0.0040	0.0034
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0048	0.0010	0.0000	0.0012	0.0012	0.0000	0.0043
Summe	3.9958	3.9917	3.9838	3.9973	3.9896	3.9896	3.9937	3.9798
Ca	0.0072	0.0000	0.0281	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0019	0.0000	0.0043	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.2971	0.2436	0.3846	0.0387	0.0392	0.0392	0.0607	0.0594
K	0.6818	0.7316	0.5811	0.9493	0.9633	0.9633	0.9740	0.9689
Summe	0.9965	0.9949	1.0107	1.0032	1.0202	1.0202	1.0373	1.0411
F	0.0000	0.0010	0.0000	0.0125	0.0054	0.0054	0.0000	0.0133
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0000	0.0010	0.0000	0.0125	0.0070	0.0070	0.0002	0.0133
An	0.0072	0.0000	0.0278	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000
Ab	0.2982	0.2448	0.3805	0.0386	0.0384	0.0384	0.0585	0.0571
Kf	0.6842	0.7354	0.5750	0.9463	0.9442	0.9442	0.9390	0.9307
Summe	0.9896	0.9802	0.9833	0.9849	0.9829	0.9829	0.9975	0.9878

P	25	25	25	25	25	30	30	30
T	825	850	875	900	900	675	750	750
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN27D	GN58B	GN66D	GN14A	GN04A	GN18A	GN01A	GN16A
Analysennr.	566	567	568	569	570	571	572	573
SiO <sub>2</sub>	64.33	64.76	64.03	65.18	64.83	64.47	63.35	64.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.05	18.47	18.33	19.09	18.50	18.47	19.08	18.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.14	0.00
FeO	0.14	0.11	0.08	0.08	0.17	0.07	0.69	0.15
BaO	0.00	0.26	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	1.63	1.44	1.68	4.59	2.38	0.60	0.48	0.63
K <sub>2</sub> O	14.74	14.43	14.09	10.16	13.68	16.48	15.52	15.83
F	0.08	0.10	0.07	0.00	0.09	0.00	0.02	0.07
Summe	99.54	99.76	98.50	99.90	100.07	100.14	99.44	99.07
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.12	0.09	0.09	0.19	0.08	0.76	0.17
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.56	99.78	98.51	99.90	100.09	100.14	99.52	99.08
Si	2.9886	2.9899	2.9880	2.9603	2.9813	2.9844	2.9460	2.9942
Al	0.9883	1.0048	1.0080	1.0216	1.0028	1.0074	1.0456	0.9942
Fe <sup>3+</sup>	0.0055	0.0043	0.0031	0.0029	0.0066	0.0027	0.0267	0.0059
Cr <sup>3+</sup>	0.0022	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0005
Summe	3.9768	3.9947	3.9974	3.9894	3.9841	3.9920	3.9916	3.9892
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0168	0.0000	0.0000	0.0070	0.0000
Ba	0.0000	0.0046	0.0004	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.1472	0.1285	0.1519	0.4038	0.2126	0.0541	0.0434	0.0575
K	0.8736	0.8501	0.8391	0.5884	0.8023	0.9732	0.9209	0.9433
Summe	1.0347	0.9901	0.9988	1.0158	1.0299	1.0291	0.9803	1.0092
F	0.0120	0.0139	0.0105	0.0000	0.0137	0.0000	0.0031	0.0097
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0120	0.0139	0.0105	0.0021	0.0137	0.0002	0.0040	0.0120
An	0.0000	0.0000	0.0000	0.0166	0.0000	0.0000	0.0072	0.0000
Ab	0.1422	0.1298	0.1520	0.3975	0.2064	0.0525	0.0443	0.0570
Kf	0.8443	0.8586	0.8401	0.5793	0.7790	0.9456	0.9394	0.9348
Summe	0.9865	0.9884	0.9921	0.9934	0.9855	0.9982	0.9909	0.9917

P	30	30	30	30	30	30	35	35
T	750	800	850	875	900	900	675	700
Phase	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN39C	GN26A	GN46B	GN45A	GN02A	GN10A	GN21A	GN47A
Analysennr.	574	575	576	577	578	579	580	581
SiO <sub>2</sub>	63.45	64.20	63.75	64.01	63.84	62.71	64.59	64.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.56	18.48	18.48	18.07	18.00	18.42	18.46	17.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.07	0.16	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
CaO	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.20	0.12	0.40	0.14	0.20	0.13	0.06	0.30
BaO	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
Na <sub>2</sub> O	0.27	0.59	1.28	0.61	0.61	0.78	0.59	0.85
K <sub>2</sub> O	16.01	16.11	14.10	16.05	16.09	16.72	16.43	14.89
F	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05	0.12
Summe	98.77	100.06	98.53	99.32	98.78	98.90	100.25	98.71
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.13	0.44	0.16	0.23	0.15	0.06	0.33
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.79	100.08	98.57	99.33	98.80	98.92	100.25	98.74
Si	2.9736	2.9740	2.9742	2.9883	2.9923	2.9562	2.9863	3.0101
Al	1.0251	1.0090	1.0160	0.9945	0.9946	1.0234	1.0057	0.9663
Fe <sup>3+</sup>	0.0077	0.0047	0.0156	0.0055	0.0080	0.0053	0.0022	0.0117
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0027	0.0060	0.0011	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000
Summe	3.9987	3.9857	3.9930	3.9856	3.9876	3.9807	3.9919	3.9786
Ca	0.0000	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032
Na	0.0245	0.0534	0.1155	0.0548	0.0555	0.0710	0.0526	0.0769
K	0.9570	0.9519	0.8393	0.9560	0.9618	1.0057	0.9692	0.8885
Summe	0.9923	1.0200	0.9655	1.0181	1.0183	1.0800	1.0240	0.9861
F	0.0000	0.0078	0.0148	0.0003	0.0000	0.0000	0.0066	0.0173
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0000	0.0078	0.0148	0.0003	0.0000	0.0021	0.0077	0.0212
An	0.0000	0.0000	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.0247	0.0523	0.1196	0.0538	0.0545	0.0657	0.0513	0.0780
Kf	0.9645	0.9332	0.8692	0.9390	0.9445	0.9312	0.9465	0.9010
Summe	0.9892	0.9856	0.9917	0.9928	0.9990	0.9969	0.9978	0.9790

P	35	35	35	35	35	35	35	35
T	725	725	750	775	800	825	850	875
Phase	Kf	Khy	Kf	Khy	Khy	Kf	Kf	Kf
Probe	GN41A	GN41A	GN03A	GN28C	GN23B	GN22A	GN29A	GN35D
Analysennr.	582	583	584	585	586	587	588	589
SiO <sub>2</sub>	64.69	61.69	63.77	61.27	61.99	64.46	64.68	64.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.50	17.89	18.18	17.67	17.29	18.57	18.06	18.20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.15	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.03	0.07	0.16	0.20	0.06	0.07	0.08	0.13
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.69	0.26	0.65	0.19	0.06	0.22	0.30	0.35
K <sub>2</sub> O	15.81	16.01	15.82	15.72	15.46	16.41	16.32	16.32
F	0.00	0.16	0.00	0.11	0.04	0.00	0.06	0.00
Summe	99.80	96.13	98.89	95.41	95.04	99.89	99.98	99.44
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.07	0.18	0.22	0.06	0.08	0.09	0.15
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	6.13	0.00	6.11	6.16	0.00	0.00	0.00
Summe	99.81	102.27	98.91	101.55	101.20	99.90	99.99	99.45
Si	2.9924	2.9791	2.9838	2.9781	3.0100	2.9863	2.9973	2.9971
Al	1.0084	1.0184	1.0026	1.0122	0.9894	1.0141	0.9862	0.9979
Fe <sup>3+</sup>	0.0012	0.0027	0.0063	0.0081	0.0023	0.0029	0.0030	0.0051
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.0000	0.0000	0.0055	0.0000
Summe	4.0008	3.9975	3.9899	3.9904	4.0008	4.0020	3.9849	3.9950
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0619	0.0247	0.0589	0.0182	0.0056	0.0201	0.0270	0.0314
K	0.9333	0.9862	0.9445	0.9748	0.9577	0.9698	0.9647	0.9684
Summe	0.9968	1.0156	1.0116	1.0001	0.9691	0.9928	1.0018	1.0011
F	0.0000	0.0247	0.0000	0.0175	0.0058	0.0000	0.0088	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	1.9747	0.0000	1.9825	1.9942	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0037	2.0000	0.0032	2.0000	2.0000	0.0031	0.0104	0.0000
An	0.0000		0.0000			0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.0621		0.0583			0.0202	0.0270	0.0313
Kf	0.9363		0.9336			0.9768	0.9629	0.9673
Summe	0.9984		0.9919			0.9971	0.9899	0.9986

P	35	35	40	40	40	40	40	40
T	900	900	725	750	775	825	850	875
Phase	Kf	Kf	Kf	Khy	Kf	Kf	Kf	Kf
Probe	GN34B	GN13B	GN61B	GN19D	GN51D	GN54D	GN53D	GN52A
Analysennr.	590	591	592	593	594	595	596	597
SiO <sub>2</sub>	64.09	64.44	63.13	59.67	62.92	63.11	63.53	63.67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.22	18.21	18.12	17.47	17.84	18.22	17.97	18.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.00	0.10	0.03	0.01	0.00	0.13	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.02	0.23	0.12	0.07	0.25	0.12	0.00	0.16
BaO	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.15	0.28
Na <sub>2</sub> O	0.51	0.47	0.56	0.10	0.08	0.08	0.16	0.08
K <sub>2</sub> O	15.91	16.10	16.42	15.19	16.95	17.50	16.76	16.75
F	0.03	0.00	0.05	0.11	0.16	0.04	0.06	0.04
Summe	99.60	99.77	98.85	92.63	98.35	99.47	98.91	99.66
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.25	0.14	0.07	0.27	0.14	0.00	0.17
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	5.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.60	99.80	98.87	98.59	98.38	99.48	98.91	99.68
Si	2.9826	2.9915	2.9744	2.9805	2.9811	2.9664	2.9877	2.9727
Al	0.9996	0.9962	1.0064	1.0281	0.9964	1.0094	0.9959	1.0116
Fe <sup>3+</sup>	0.0009	0.0089	0.0049	0.0027	0.0097	0.0048	0.0000	0.0061
Cr <sup>3+</sup>	0.0066	0.0000	0.0039	0.0010	0.0005	0.0000	0.0049	0.0000
Summe	3.9857	3.9877	3.9807	4.0086	3.9790	3.9772	3.9858	3.9885
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0050
Na	0.0459	0.0419	0.0515	0.0095	0.0072	0.0071	0.0144	0.0073
K	0.9448	0.9535	0.9870	0.9680	1.0244	1.0495	1.0058	0.9977
Summe	1.0092	1.0070	1.0473	0.9795	1.0398	1.0707	1.0278	1.0185
F	0.0040	0.0003	0.0067	0.0166	0.0237	0.0056	0.0086	0.0055
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	1.9834	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0040	0.0008	0.0067	2.0000	0.0237	0.0101	0.0125	0.0088
An	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.0454	0.0416	0.0492		0.0069	0.0067	0.0140	0.0072
Kf	0.9362	0.9469	0.9424		0.9851	0.9802	0.9786	0.9796
Summe	0.9816	0.9885	0.9916		0.9920	0.9868	0.9925	0.9868

P	40	45	45	45	45	45	45	45
T	900	700	725	750	775	800	825	850
Phase	Kf	Kf	Kf	Khy	Khy	Kf	Khy	Khy
Probe	GN06A	GN57D	GN67A	GN40A	GN50C	GN43A	GN42D	GN59D
Analysennr.	598	599	600	601	602	603	604	605
SiO <sub>2</sub>	63.91	63.93	63.98	60.63	63.06	63.33	61.57	61.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.19	18.33	18.35	17.29	18.36	18.53	17.70	17.90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.12	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.19	0.13	0.03	0.01	0.26	0.04	0.27	0.01
BaO	0.00	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.33	0.63	0.42	0.00	0.12	0.14	0.17	0.03
K <sub>2</sub> O	16.63	16.09	16.57	15.43	12.02	16.69	14.69	15.50
F	0.00	0.08	0.00	0.04	0.00	0.15	0.00	0.04
Summe	99.79	99.59	99.49	93.64	94.27	99.38	94.70	95.79
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	0.15	0.04	0.01	0.29	0.05	0.29	0.01
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	6.05	6.27	0.00	6.17	6.19
Summe	99.81	99.61	99.50	99.69	100.56	99.39	100.89	101.99
Si	2.9801	2.9784	2.9836	2.9959	3.0158	2.9657	2.9911	2.9865
Al	0.9996	1.0067	1.0084	1.0068	1.0349	1.0227	1.0133	1.0170
Fe <sup>3+</sup>	0.0073	0.0052	0.0013	0.0005	0.0105	0.0017	0.0108	0.0005
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000	0.0027	0.0046	0.0006
Summe	3.9817	3.9872	3.9920	4.0034	4.0564	3.9904	4.0043	4.0057
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0009	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006
Na	0.0300	0.0570	0.0379	0.0000	0.0114	0.0129	0.0159	0.0026
K	0.9894	0.9562	0.9856	0.9725	0.7336	0.9969	0.9104	0.9535
Summe	1.0323	1.0258	1.0270	0.9817	0.7557	1.0244	0.9349	0.9699
F	0.0003	0.0112	0.0000	0.0064	0.0000	0.0224	0.0000	0.0058
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	1.9936	2.0000	0.0000	1.9978	1.9925
Summe	0.0003	0.0156	0.0000	2.0000	2.0000	0.0229	2.0000	2.0000
An	0.0000	0.0000	0.0000			0.0000		
Ab	0.0290	0.0556	0.0369			0.0125		
Kf	0.9585	0.9322	0.9597			0.9731		
Summe	0.9876	0.9877	0.9966			0.9857		

P	45	45	45
T	850	875	900
Phase	Kf	Kf	Kf
Probe	GN59D	GN30C	GN12A
Analysennr.	606	607	608
SiO <sub>2</sub>	63.40	63.36	64.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.28	18.45	18.18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00
FeO	0.28	0.12	0.04
BaO	0.12	0.11	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.06	0.00
K <sub>2</sub> O	17.28	16.76	16.53
F	0.02	0.00	0.00
Summe	99.70	99.08	99.34
FeO	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.31	0.14	0.04
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00
Summe	99.73	99.09	99.35
Si	2.9695	2.9737	3.0009
Al	1.0091	1.0207	0.9980
Fe <sup>3+</sup>	0.0108	0.0048	0.0016
Cr <sup>3+</sup>	0.0016	0.0000	0.0000
Summe	3.9786	3.9944	3.9989
Ca	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0022	0.0020	0.0000
Na	0.0121	0.0059	0.0000
K	1.0326	1.0033	0.9823
Summe	1.0510	1.0189	0.9887
F	0.0022	0.0000	0.0000
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0067	0.0011	0.0016
An	0.0000	0.0000	0.0000
Ab	0.0115	0.0058	0.0000
Kf	0.9824	0.9847	0.9935
Summe	0.9940	0.9904	0.9935

**XXIV Kalifeldspat und Kalifeldspathydrat bei erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalten**

	30	30	30	30	30	40	40	40	40
P	30	30	30	30	30	40	40	40	40
T	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	650.00	650.00	650.00	650.00
H <sub>2</sub> O-Gehalt	23.70%	17.40%	20.70%	22.50%	25.50%	17.40%	20.00%	23.70%	25.50%
Phase	Kf	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy	Khy
Probe	GN15A	GN09A	GN09B	GN09C	GN09D	GN11A	GN11B	GN11C	GN11D
Analysennr.	609	610	611	612	613	614	615	616	617
SiO <sub>2</sub>	63.33	62.40	61.97	63.19	62.53	62.52	62.69	64.87	60.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.37	18.88	18.33	17.49	17.67	17.05	18.12	19.23	18.92
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.12	0.09	0.00	0.07	0.09	0.00	0.11	0.14	0.74
BaO	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.65	0.05	0.07	0.06	0.31	0.08	0.06	0.07	0.06
K <sub>2</sub> O	16.16	13.06	14.60	13.63	14.41	13.86	14.23	12.44	12.36
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.88	94.64	95.42	94.56	95.26	93.87	95.40	96.93	92.84
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.10	0.00	0.08	0.10	0.00	0.12	0.16	0.83
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	5.88	5.54	5.25	4.95	4.64	4.50	4.45	4.02
Summe	98.89	100.54	100.96	99.82	100.23	98.50	99.92	101.40	96.94
Si	2.9722	3.1790	3.3566	3.6103	3.7633	3.9951	4.1332	4.3346	4.4206
Al	1.0158	1.1339	1.1700	1.1777	1.2537	1.2837	1.4082	1.5145	1.6393
Fe <sup>3+</sup>	0.0045	0.0040	0.0000	0.0033	0.0045	0.0000	0.0062	0.0080	0.0457
Cr <sup>3+</sup>	0.0004	0.0010	0.0000	0.0000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	3.9893	4.3135	4.5299	4.7879	5.0170	5.2807	5.5414	5.8524	6.0613
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0591	0.0051	0.0069	0.0072	0.0357	0.0105	0.0072	0.0093	0.0092
K	0.9673	0.8489	1.0086	0.9935	1.1061	1.1299	1.1973	1.0608	1.1591
Summe	1.0345	0.8591	1.0282	1.0079	1.1458	1.1487	1.2143	1.0737	1.2095
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0110	0.0133	0.0183	0.0144	0.0284
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	1.9996	2.0000	1.9998	1.9890	1.9763	1.9792	1.9825	1.9716
Summe	0.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Kf	0.9305	0.9838	0.9810	0.9829	0.9580	0.9837	0.9817	0.9828	0.9323
Ab	0.0571	0.0059	0.0067	0.0071	0.0312	0.0092	0.0060	0.0086	0.0076
An	0.0042	0.0035	0.0000	0.0028	0.0035	0.0000	0.0043	0.0052	0.0260
Summe	0.9918	0.9931	0.9877	0.9928	0.9927	0.9928	0.9920	0.9966	0.9660



**XXV Albite bei 15-20 kbar**

P	15	15	15	20
T	750	750	750	750
H <sub>2</sub> O-Gehalt	1.9%	3.8%	5.6%	1.9%
Phase	Ab	Ab	Ab	Ab
Probe	618	619	620	621
Analysennr.	64.42	65.88	66.11	66.66
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.07	0.00	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.52	19.68	20.34	19.59
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00
CaO	1.40	1.46	1.60	0.57
FeO	0.47	0.18	0.24	0.07
BaO	0.00	0.00	0.00	0.15
Na <sub>2</sub> O	5.97	7.66	9.54	9.13
K <sub>2</sub> O	6.37	3.50	1.08	3.28
F	0.02	0.11	0.01	0.09
Summe	98.775	99.274	99.011	99.595
FeO	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.519	0.202	0.267	0.074
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000
Summe	98.827	99.294	99.038	99.602
Si	2.9336	2.9474	2.9354	2.9661
Al	1.0478	1.0376	1.0644	1.0272
Fe <sup>3+</sup>	0.0178	0.0068	0.0089	0.0025
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000
Summe	3.9822	3.9898	3.9998	3.9933
Ca	0.0685	0.0698	0.0759	0.0273
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026
Na	0.5267	0.6642	0.8211	0.7877
K	0.3703	0.1997	0.0611	0.1863
Summe	0.9768	0.9542	0.9595	1.0083
F	0.0030	0.0160	0.0020	0.0122
OH <sub>korr.</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	0.0030	0.0201	0.0087	0.0122
Kf	0.3728	0.2079	0.0631	0.1843
Ab	0.5393	0.6961	0.8557	0.7812
An	0.0701	0.0732	0.0791	0.0271
Summe	0.9885	0.9786	0.9984	0.9930



P	40	40	45	45
T	750	900	700	825
Phase	GN19B	GN06D	GN57C	GN42A
Analysennr.	630	631	632	633
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.61	40.52	39.86	41.30
SiO <sub>2</sub>	0.44	0.47	0.35	0.47
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.09	0.10	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.10	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.10	0.07	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.07
CaO	55.45	54.33	54.81	55.50
MnO	0.00	0.35	0.00	0.02
FeO	0.28	0.56	0.10	0.24
NiO	0.05	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.09	0.05
BaO	0.00	0.00	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.15	0.04	0.13
K <sub>2</sub> O	0.10	0.10	0.13	0.24
F	3.44	3.21	3.20	3.41
Cl	0.01	0.00	0.05	0.03
Summe	99.11	98.55	97.56	100.13
FeO	0.28	0.56	0.10	0.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.17	0.26	0.25	0.19
Summe	99.28	98.82	97.81	100.32
P	2.8647	2.8788	2.8407	2.8907
Si	0.0364	0.0393	0.0294	0.0389
Summe	2.9011	2.9181	2.8700	2.9297
Ti	0.0027	0.0057	0.0060	0.0058
Al	0.0000	0.0021	0.0099	0.0007
Cr	0.0060	0.0069	0.0050	0.0000
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0084
Ca	4.9499	4.8856	4.9443	4.9160
Mn	0.0000	0.0248	0.0000	0.0016
Fe <sup>2+</sup>	0.0196	0.0392	0.0071	0.0169
Ni	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0058	0.0033
Ba	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
Na	0.0074	0.0250	0.0070	0.0216
K	0.0111	0.0108	0.0145	0.0257
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.9069	0.8517	0.8510	0.8924
Cl	0.0008	0.0000	0.0074	0.0042
OH <sub>calc</sub>	0.0922	0.1483	0.1416	0.1034
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**XXVII Apatite bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	25	25	25	30	30	30	30	30
T	700	900	1000	675	725	750	775	800
Phase	GN63A	GN04C	GN05A	GN18C	GN48B	GN01C	GN24B	GN26C
Analysenr.	634	635	636	637	638	639	640	641
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.00	41.21	40.23	40.63	40.99	41.50	39.84	38.44
SiO <sub>2</sub>	0.40	0.61	0.24	0.30	0.37	0.24	0.40	0.56
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.13	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.10	0.02	0.06	0.08	0.02	0.07	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.06	0.01	0.09	0.06	0.00	0.12
MgO	0.00	0.02	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	53.73	53.84	55.02	55.50	55.14	57.46	56.02	53.76
MnO	0.06	0.46	0.12	0.00	0.06	0.11	0.03	0.16
FeO	0.11	0.59	0.39	0.22	0.01	0.02	0.33	0.00
NiO	0.00	0.00	0.01	0.02	0.14	0.00	0.05	0.09
ZnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.27	0.03	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.18	0.06	0.02	0.04	0.06	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.17	0.29	0.03	0.30	0.15	0.16	0.37	0.10
F	3.32	2.87	2.24	3.10	4.95	3.52	3.47	3.03
Cl	0.00	0.02	0.64	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	96.55	98.97	98.52	98.92	100.80	101.69	99.98	96.17
FeO	0.11	0.59	0.39	0.22	0.01	0.02	0.33	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.17	0.42	0.58	0.33	0.00	0.19	0.18	0.31
Summe	96.71	99.39	99.10	99.25	100.80	101.89	100.17	96.48
P	2.9130	2.9354	2.8317	2.8572	2.8976	2.8294	2.7687	2.8014
Si	0.0342	0.0513	0.0199	0.0252	0.0305	0.0191	0.0332	0.0483
Summe	2.9472	2.9867	2.8517	2.8824	2.9282	2.8486	2.8019	2.8497
Ti	0.0013	0.0000	0.0083	0.0029	0.0003	0.0000	0.0000	0.0018
Al	0.0040	0.0099	0.0022	0.0059	0.0082	0.0022	0.0066	0.0023
Cr	0.0022	0.0000	0.0039	0.0010	0.0059	0.0037	0.0000	0.0082
Mg	0.0000	0.0023	0.0341	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9520	4.8534	4.9012	4.9396	4.9328	4.9579	4.9269	4.9589
Mn	0.0046	0.0331	0.0083	0.0000	0.0041	0.0078	0.0024	0.0118
Fe <sup>2+</sup>	0.0077	0.0412	0.0269	0.0150	0.0007	0.0012	0.0224	0.0000
Ni	0.0000	0.0000	0.0008	0.0014	0.0094	0.0002	0.0030	0.0064
Zn	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0164	0.0020	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0097	0.0295	0.0098	0.0026	0.0057	0.0091	0.0000	0.0000
K	0.0185	0.0306	0.0033	0.0317	0.0163	0.0160	0.0386	0.0106
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.9037	0.7639	0.5882	0.8152	1.3065	0.8960	0.8996	0.8236
Cl	0.0000	0.0027	0.0896	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
OH <sub>calc</sub>	0.0963	0.2333	0.3222	0.1827	0.0000	0.1040	0.1004	0.1764
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.3065	1.0000	1.0000	1.0000

P	30	30	30	30	35	35	35	35
T	825	875	900	900	725	750	800	825
Phase	GN20C	GN45C	GN02C	GN10C	GN41B	GN03C	GN23D	GN22C
Analysennr.	642	643	644	645	646	647	648	649
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	39.81	40.25	40.91	40.80	40.66	41.57	41.43	40.26
SiO <sub>2</sub>	1.12	0.53	0.44	0.33	0.38	0.24	0.34	0.52
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.08	0.00	0.01	0.01	0.00	0.10	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	0.11	0.05	0.03	0.02	0.05	0.07	0.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04
MgO	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	53.85	52.85	55.81	56.42	55.92	57.23	55.09	55.59
MnO	0.01	0.18	0.07	0.03	0.10	0.00	0.07	0.07
FeO	0.06	0.43	0.23	0.13	0.10	0.13	0.08	0.12
NiO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.10	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.22	0.12	0.03	0.13	0.01	0.07	0.11
K <sub>2</sub> O	0.26	0.34	0.19	0.20	0.15	0.23	0.37	0.38
F	3.42	3.77	3.04	3.19	3.83	3.73	2.93	2.09
Cl	0.01	0.03	0.00	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
Summe	97.54	97.72	99.60	99.95	99.79	101.66	99.61	98.38
FeO	0.06	0.43	0.23	0.13	0.10	0.13	0.08	0.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.14	0.00	0.37	0.30	0.00	0.08	0.41	0.82
Summe	97.68	97.72	99.97	100.25	99.79	101.74	100.01	99.20
P	2.8743	2.9226	2.8585	2.8315	2.8393	2.8458	2.9271	2.8155
Si	0.0952	0.0451	0.0364	0.0272	0.0316	0.0194	0.0282	0.0433
Summe	2.9695	2.9677	2.8949	2.8587	2.8709	2.8652	2.9553	2.8588
Ti	0.0029	0.0048	0.0000	0.0007	0.0008	0.0000	0.0063	0.0000
Al	0.0215	0.0107	0.0046	0.0033	0.0022	0.0047	0.0065	0.0079
Cr	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000	0.0029
Mg	0.0000	0.0074	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9205	4.8567	4.9349	4.9558	4.9422	4.9589	4.9261	4.9194
Mn	0.0005	0.0134	0.0052	0.0021	0.0072	0.0000	0.0049	0.0049
Fe <sup>2+</sup>	0.0040	0.0310	0.0162	0.0086	0.0067	0.0090	0.0054	0.0083
Ni	0.0000	0.0008	0.0004	0.0000	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	0.0066	0.0000	0.0000	0.0044	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0154	0.0372	0.0192	0.0043	0.0201	0.0013	0.0118	0.0171
K	0.0287	0.0369	0.0195	0.0208	0.0155	0.0235	0.0390	0.0396
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.9219	1.0226	0.7945	0.8260	1.0003	0.9550	0.7742	0.5470
Cl	0.0007	0.0045	0.0000	0.0083	0.0042	0.0008	0.0000	0.0000
OH <sub>calc</sub>	0.0774	0.0000	0.2055	0.1657	0.0000	0.0441	0.2258	0.4530
Summe	1.0000	1.0271	1.0000	1.0000	1.0045	1.0000	1.0000	1.0000

P	35	35	35	40	40	40	40	40
T	875	900	900	700	725	800	825	875
Phase	GN35B	GN34C	GN13C	GN56A	GN61A	GN37C	GN54B	GN52B
Analysennr.	650	651	652	653	654	655	656	657
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.67	41.55	39.19	37.81	39.13	42.09	39.70	41.26
SiO <sub>2</sub>	0.12	0.35	0.72	1.78	0.74	0.28	0.34	0.60
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.02	0.10	0.03	0.01	0.00	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.06	0.12	0.49	0.04	0.03	0.04	0.12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.07	0.00	0.00	0.07	0.09	0.09	0.06
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	57.76	55.94	55.91	53.29	54.68	55.34	54.84	55.28
MnO	0.00	0.06	0.03	0.08	0.00	0.09	0.00	0.12
FeO	0.01	0.40	0.16	0.07	0.00	0.00	0.08	0.09
NiO	0.01	0.05	0.06	0.11	0.19	0.00	0.07	0.17
ZnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.09
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.05	0.00	0.23	0.15	0.32	0.11	0.01
K <sub>2</sub> O	0.08	0.17	0.34	0.39	0.49	0.36	0.09	0.41
F	2.56	2.65	3.44	4.16	4.47	3.09	3.64	3.01
Cl	0.04	0.00	0.04	0.07	0.00	0.01	0.00	0.07
Summe	100.26	100.25	98.71	96.80	98.11	100.67	97.45	100.07
FeO	0.01	0.40	0.16	0.07	0.00	0.00	0.08	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.64	0.57	0.18	0.00	0.00	0.35	0.05	0.37
Summe	100.90	100.82	98.89	96.80	98.11	101.02	97.51	100.43
P	2.7688	2.8919	2.7324	2.7185	2.7700	2.9409	2.8330	2.8923
Si	0.0096	0.0285	0.0592	0.1515	0.0621	0.0231	0.0285	0.0496
Summe	2.7784	2.9204	2.7916	2.8700	2.8321	2.9641	2.8615	2.9419
Ti	0.0000	0.0014	0.0009	0.0061	0.0019	0.0006	0.0000	0.0041
Al	0.0002	0.0055	0.0112	0.0486	0.0037	0.0031	0.0036	0.0112
Cr	0.0009	0.0048	0.0000	0.0000	0.0049	0.0058	0.0059	0.0039
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9771	4.9273	4.9339	4.8481	4.8991	4.8927	4.9527	4.9046
Mn	0.0000	0.0040	0.0019	0.0059	0.0000	0.0065	0.0000	0.0082
Fe <sup>2+</sup>	0.0007	0.0274	0.0113	0.0048	0.0000	0.0000	0.0054	0.0061
Ni	0.0007	0.0031	0.0040	0.0075	0.0130	0.0000	0.0048	0.0112
Zn	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0033	0.0000	0.0056
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
Na	0.0126	0.0082	0.0000	0.0371	0.0249	0.0505	0.0178	0.0009
K	0.0078	0.0182	0.0362	0.0420	0.0524	0.0375	0.0097	0.0438
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.6519	0.6885	0.8950	1.1167	1.1831	0.8062	0.9701	0.7891
Cl	0.0057	0.0000	0.0050	0.0094	0.0000	0.0008	0.0000	0.0091
OH <sub>calc</sub>	0.3424	0.3115	0.1000	0.0000	0.0000	0.1929	0.0299	0.2018
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.1260	1.1831	1.0000	1.0000	1.0000

P	40	45	45	45	45
T	900	725	750	775	800
Phase	GN06C	GN67C	GN40C	GN50B	GN43C
Analysennr.	658	659	660	661	662
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.68	41.74	38.77	36.27	40.90
SiO <sub>2</sub>	0.13	0.12	0.78	0.07	0.25
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.08	0.00	0.00	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.02	0.11	0.02	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	56.00	55.71	53.25	55.15	54.65
MnO	0.07	0.04	0.00	0.00	0.03
FeO	0.13	0.15	0.05	0.09	0.03
NiO	0.04	0.11	0.00	0.00	0.18
ZnO	0.04	0.26	0.20	0.18	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.03	0.05	0.05	0.03
K <sub>2</sub> O	0.14	0.58	0.16	0.16	0.03
F	2.80	4.70	3.35	3.77	7.38
Cl	0.01	0.00	0.06	0.02	0.00
Summe	99.89	101.55	95.53	94.21	100.76
FeO	0.13	0.15	0.05	0.09	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.48	0.00	0.13	0.00	0.00
Summe	100.37	101.55	95.66	94.21	100.76
P	2.9193	2.8960	2.8378	2.5744	2.9403
Si	0.0104	0.0096	0.0672	0.0057	0.0216
Summe	2.9298	2.9057	2.9049	2.5801	2.9619
Ti	0.0000	0.0046	0.0000	0.0000	0.0011
Al	0.0022	0.0020	0.0116	0.0021	0.0019
Cr	0.0000	0.0000	0.0122	0.0010	0.0000
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9631	4.8916	4.9335	4.9539	4.9724
Mn	0.0051	0.0025	0.0000	0.0000	0.0025
Fe <sup>2+</sup>	0.0087	0.0100	0.0039	0.0061	0.0023
Ni	0.0029	0.0072	0.0000	0.0000	0.0121
Zn	0.0027	0.0159	0.0126	0.0111	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0006	0.0054	0.0086	0.0083	0.0042
K	0.0147	0.0608	0.0177	0.0175	0.0035
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.7328	1.2192	0.9148	0.9993	1.9827
Cl	0.0015	0.0000	0.0081	0.0026	0.0000
OH <sub>calc</sub>	0.2656	0.0000	0.0772	0.0000	0.0000
Summe	1.0000	1.2192	1.0000	1.0019	1.9827





P	30	30	35	35	35	35	35	35
T	825	850	700	725	750	825	850	900
Phase	GN20B	GN46A	GN47D	GN41C	GN03B	GN22B	GN29C	GN13B
Analysennr.	671	672	673	674	675	676	677	678
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.28	41.15	40.93	40.66	39.73	41.15	40.15	40.99
SiO <sub>2</sub>	0.32	0.23	0.25	0.28	0.39	0.14	0.48	0.37
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.08	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.03	0.00	0.06	0.04	0.02	0.10	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.06	0.10	0.07
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	54.19	54.25	54.13	56.17	55.43	55.15	54.62	56.19
MnO	0.05	0.13	0.12	0.08	0.05	0.00	0.08	0.00
FeO	0.17	0.19	0.33	0.11	0.15	0.13	0.37	0.23
NiO	0.00	0.00	0.09	0.16	0.00	0.00	0.00	0.04
ZnO	0.02	0.20	0.30	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.11	0.08	0.18	0.05	0.01	0.42	0.08
K <sub>2</sub> O	0.10	0.05	0.07	0.13	0.21	0.13	0.45	0.20
F	4.85	3.59	4.23	3.73	4.15	3.09	4.43	3.78
Cl	0.04	0.03	0.09	0.02	0.02	0.00	0.09	0.03
Summe	99.01	98.77	99.18	100.05	98.56	98.58	99.42	100.52
FeO	0.17	0.19	0.33	0.11	0.15	0.13	0.37	0.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.32	0.00	0.03
Summe	99.01	98.82	99.18	100.11	98.56	98.90	99.42	100.55
P	2.9905	2.9572	2.9403	2.8173	2.8009	2.9294	2.8097	2.8433
Si	0.0275	0.0192	0.0214	0.0231	0.0321	0.0121	0.0400	0.0305
Summe	3.0179	2.9764	2.9617	2.8405	2.8329	2.9415	2.8497	2.8738
Ti	0.0008	0.0051	0.0003	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0025
Al	0.0023	0.0032	0.0000	0.0057	0.0035	0.0022	0.0094	0.0038
Cr	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.0040	0.0068	0.0044
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
Ca	4.9688	4.9333	4.9218	4.9259	4.9453	4.9691	4.8375	4.9335
Mn	0.0039	0.0092	0.0084	0.0056	0.0035	0.0000	0.0058	0.0000
Fe <sup>2+</sup>	0.0120	0.0134	0.0236	0.0073	0.0107	0.0094	0.0259	0.0159
Ni	0.0002	0.0000	0.0064	0.0107	0.0000	0.0000	0.0000	0.0025
Zn	0.0012	0.0122	0.0190	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0000	0.0182	0.0135	0.0280	0.0087	0.0015	0.0674	0.0124
K	0.0104	0.0053	0.0070	0.0136	0.0226	0.0137	0.0473	0.0214
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	1.3132	0.9637	1.1342	0.9658	1.0931	0.8213	1.1592	0.9788
Cl	0.0064	0.0043	0.0127	0.0025	0.0021	0.0000	0.0126	0.0043
OH <sub>calc</sub>	0.0000	0.0320	0.0000	0.0317	0.0000	0.1787	0.0000	0.0169
Summe	1.3196	1.0000	1.1469	1.0000	1.0952	1.0000	1.1718	1.0000

P	35	40	40	40	40	40	45	45
T	900	750	775	825	875	900	750	775
Phase	GN34D	GN19A	GN51C	GN54C	GN52D	GN06B	GN40D	GN50A
Analysennr.	679	680	681	682	683	684	685	686
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.56	40.62	40.60	40.43	39.91	41.53	38.19	35.06
SiO <sub>2</sub>	0.54	0.43	0.50	0.46	0.28	0.14	0.53	1.97
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	0.08	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.14	0.01	0.02	0.06	0.00	0.78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.15
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	55.33	54.71	55.33	54.15	54.15	56.76	54.12	51.92
MnO	0.31	0.02	0.06	0.05	0.09	0.00	0.00	0.00
FeO	0.09	0.09	0.23	0.06	0.24	0.03	0.00	0.00
NiO	0.07	0.00	0.00	0.12	0.04	0.07	0.08	0.24
ZnO	0.23	0.00	0.00	0.20	0.33	0.00	0.38	0.27
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.03	0.14	0.00	0.03	0.00	0.14	0.54
K <sub>2</sub> O	0.19	0.10	0.31	0.12	0.16	0.12	0.16	0.43
F	3.16	3.94	4.07	4.29	2.66	3.15	3.52	3.51
Cl	0.03	0.00	0.00	0.00	1.90	0.06	0.06	0.12
Summe	99.46	98.33	99.70	98.16	98.33	100.85	95.75	93.49
FeO	0.09	0.09	0.23	0.06	0.24	0.03	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.30	0.00	0.00	0.00	0.02	0.32	0.08	0.06
Summe	99.76	98.33	99.70	98.16	98.35	101.17	95.83	93.56
P	2.8483	2.9178	2.8467	2.9215	2.8682	2.8746	2.7473	2.5303
Si	0.0449	0.0363	0.0411	0.0393	0.0242	0.0115	0.0447	0.1683
Summe	2.8932	2.9541	2.8878	2.9608	2.8924	2.8862	2.7921	2.6986
Ti	0.0045	0.0000	0.0025	0.0000	0.0044	0.0000	0.0049	0.0000
Al	0.0000	0.0025	0.0136	0.0006	0.0017	0.0062	0.0000	0.0786
Cr	0.0000	0.0015	0.0000	0.0040	0.0000	0.0009	0.0000	0.0101
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000
Ca	4.9176	4.9729	4.9090	4.9514	4.9247	4.9724	4.9263	4.7418
Mn	0.0220	0.0017	0.0042	0.0035	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000
Fe <sup>2+</sup>	0.0061	0.0061	0.0160	0.0039	0.0171	0.0022	0.0000	0.0000
Ni	0.0048	0.0000	0.0000	0.0083	0.0024	0.0045	0.0056	0.0161
Zn	0.0143	0.0000	0.0000	0.0129	0.0208	0.0000	0.0236	0.0170
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0106	0.0047	0.0223	0.0000	0.0053	0.0000	0.0226	0.0896
K	0.0201	0.0107	0.0323	0.0135	0.0170	0.0123	0.0170	0.0469
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.8293	1.0585	1.0663	1.1580	0.7144	0.8153	0.9448	0.9465
Cl	0.0035	0.0000	0.0000	0.0000	0.2733	0.0076	0.0088	0.0175
OH <sub>calc</sub>	0.1672	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.1771	0.0464	0.0360
Summe	1.0000	1.0585	1.0663	1.1580	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

P	45	45	45
T	825	850	900
Phase	GN42C	GN59A	GN12B
Analysennr.	687	688	689
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.58	40.72	41.23
SiO <sub>2</sub>	0.55	0.72	0.19
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.27	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.01	0.00
MgO	0.02	0.00	0.00
CaO	55.83	54.69	56.99
MnO	0.03	0.09	0.01
FeO	0.17	0.04	0.09
NiO	0.00	0.00	0.09
ZnO	0.32	0.18	0.01
BaO	0.00	0.10	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.07	0.00
K <sub>2</sub> O	0.18	0.52	0.09
F	3.16	3.74	3.66
Cl	0.00	0.03	0.00
Summe	99.66	99.61	100.86
FeO	0.17	0.04	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.32	0.02	0.10
Summe	99.98	99.63	100.97
P	2.8315	2.8724	2.8432
Si	0.0455	0.0603	0.0153
Summe	2.8770	2.9327	2.8585
Ti	0.0000	0.0000	0.0008
Al	0.0000	0.0267	0.0022
Cr	0.0048	0.0010	0.0000
Mg	0.0022	0.0000	0.0000
Ca	4.9299	4.8826	4.9742
Mn	0.0024	0.0067	0.0008
Fe <sup>2+</sup>	0.0118	0.0030	0.0063
Ni	0.0000	0.0000	0.0057
Zn	0.0195	0.0113	0.0009
Ba	0.0000	0.0032	0.0000
Na	0.0106	0.0107	0.0000
K	0.0189	0.0548	0.0091
Summe	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.8244	0.9856	0.9431
Cl	0.0000	0.0045	0.0003
OH <sub>calc</sub>	0.1756	0.0099	0.0566
Summe	1.0000	1.0000	1.0000

**XXIX Apatite bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	25	25	25	25	25	30	30	30
T	675	725	750	825	850	725	750	850
Phase	GN62C	GN64A	GN07A	GN27D	GN58B	GN48A	GN01A	GN46B
Analysenr.	690	691	692	693	694	695	696	697
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38.42	41.57	38.03	41.46	40.65	40.28	40.60	39.36
SiO <sub>2</sub>	2.02	0.59	0.18	0.52	0.43	1.35	0.42	1.22
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.00	0.02	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64	0.12	0.26	0.09	0.00	0.15	0.04	0.52
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.00	0.01	0.00	0.09	0.09	0.00	0.00
MgO	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.03
CaO	54.59	53.92	50.17	54.84	52.60	54.02	55.66	52.93
MnO	0.06	0.15	0.09	0.00	0.27	0.00	0.00	0.20
FeO	0.00	0.31	0.16	0.04	0.32	0.10	0.10	0.39
NiO	0.19	0.00	0.04	0.00	0.21	0.11	0.00	0.12
ZnO	0.00	0.00	0.13	0.00	0.06	0.04	0.12	0.16
BaO	0.04	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.05	1.23	0.00	0.11	0.04	0.01	0.16
K <sub>2</sub> O	0.45	0.12	0.22	0.21	0.09	0.10	0.14	0.26
F	4.08	3.97	3.74	3.15	3.94	7.81	4.28	4.00
Cl	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.05
Summe	99.03	99.42	92.70	99.32	97.28	101.12	99.57	98.29
FeO	0.00	0.31	0.16	0.04	0.32	0.10	0.10	0.39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.03	99.42	92.70	99.60	97.28	101.12	99.57	98.29
P	2.6949	2.9991	2.8202	2.9638	2.9884	2.9134	2.8614	2.8376
Si	0.1670	0.0505	0.0161	0.0443	0.0372	0.1157	0.0346	0.1035
Summe	2.8619	3.0496	2.8363	3.0081	3.0256	3.0291	2.8960	2.9411
Ti	0.0019	0.0000	0.0011	0.0000	0.0094	0.0000	0.0000	0.0000
Al	0.0629	0.0125	0.0271	0.0088	0.0002	0.0152	0.0039	0.0522
Cr	0.0049	0.0000	0.0004	0.0000	0.0061	0.0060	0.0000	0.0000
Mg	0.0063	0.0000	0.0000	0.0046	0.0000	0.0015	0.0000	0.0042
Ca	4.8459	4.9236	4.7085	4.9610	4.8943	4.9439	4.9652	4.8298
Mn	0.0042	0.0110	0.0064	0.0000	0.0200	0.0000	0.0000	0.0143
Fe <sup>2+</sup>	0.0000	0.0219	0.0119	0.0031	0.0233	0.0069	0.0067	0.0278
Ni	0.0129	0.0000	0.0026	0.0000	0.0144	0.0073	0.0002	0.0079
Zn	0.0000	0.0000	0.0083	0.0000	0.0036	0.0023	0.0077	0.0100
Ba	0.0013	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0123	0.0078	0.2092	0.0000	0.0186	0.0065	0.0020	0.0258
K	0.0474	0.0135	0.0245	0.0224	0.0101	0.0105	0.0145	0.0280
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	1.0701	1.0698	1.0361	0.8422	1.0818	2.1097	1.1267	1.0762
Cl	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0047	0.0000	0.0023	0.0069
OH <sub>calc</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.1578	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	1.0738	1.0698	1.0361	1.0000	1.0865	2.1097	1.1290	1.0832

P	30	35	35	35	40	40	40	45
T	900	825	850	875	775	875	900	750
Phase	GN02A	GN22A	GN29A	GN35D	GN51D	GN52A	GN06A	GN40A
Analysennr.	698	699	700	701	702	703	704	705
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.93	41.79	40.78	39.51	39.96	40.93	41.73	40.26
SiO <sub>2</sub>	0.41	0.12	0.70	0.50	0.71	0.47	0.16	0.24
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.03	0.14	0.05	0.00	0.07	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.04	0.03	0.09	0.06	0.05	0.00	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.06
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	54.61	54.83	53.66	55.71	54.93	55.31	56.17	55.35
MnO	0.08	0.03	0.09	0.03	0.08	0.00	0.10	0.06
FeO	0.30	0.01	0.15	0.22	0.02	0.04	0.00	0.13
NiO	0.04	0.01	0.00	0.16	0.08	0.00	0.03	0.10
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.23
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.00	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00	0.02
K <sub>2</sub> O	0.07	0.03	0.07	0.31	0.25	0.32	0.02	0.02
F	3.38	3.45	3.39	3.38	4.56	4.17	3.65	3.79
Cl	0.00	0.02	0.03	0.06	0.03	0.01	0.00	0.04
Summe	98.55	98.87	98.08	98.87	99.01	99.55	100.41	98.73
FeO	0.30	0.01	0.15	0.22	0.02	0.04	0.00	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.17	0.12	0.12	0.21	0.00	0.00	0.08	0.00
Summe	98.73	98.99	98.21	99.08	99.01	99.55	100.48	98.73
P	2.9294	3.0047	2.9825	2.7480	2.8354	2.8991	2.9263	2.8465
Si	0.0347	0.0105	0.0604	0.0411	0.0599	0.0394	0.0136	0.0198
Summe	2.9641	3.0153	3.0429	2.7891	2.8953	2.9385	2.9400	2.8663
Ti	0.0004	0.0000	0.0018	0.0089	0.0028	0.0000	0.0042	0.0006
Al	0.0019	0.0042	0.0033	0.0088	0.0058	0.0048	0.0000	0.0030
Cr	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000	0.0000	0.0039
Mg	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9470	4.9897	4.9665	4.9044	4.9328	4.9575	4.9841	4.9530
Mn	0.0058	0.0021	0.0068	0.0024	0.0059	0.0000	0.0073	0.0040
Fe <sup>2+</sup>	0.0215	0.0004	0.0110	0.0149	0.0015	0.0031	0.0000	0.0090
Ni	0.0029	0.0008	0.0000	0.0109	0.0057	0.0000	0.0023	0.0070
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0076	0.0000	0.0000	0.0000	0.0142
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0080	0.0000	0.0018	0.0097	0.0101	0.0000	0.0000	0.0033
K	0.0078	0.0029	0.0073	0.0326	0.0265	0.0346	0.0022	0.0021
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.9024	0.9265	0.9253	0.8783	1.2087	1.1028	0.9569	1.0022
Cl	0.0000	0.0027	0.0037	0.0085	0.0045	0.0018	0.0000	0.0052
OH <sub>calc</sub>	0.0976	0.0708	0.0710	0.1133	0.0000	0.0000	0.0431	0.0000
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.2132	1.1046	1.0000	1.0074

P	45	45	45
T	800	850	900
Phase	GN43A	GN59D	GN12A
Analysennr.	706	707	708
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42.03	41.42	40.98
SiO <sub>2</sub>	0.46	0.43	0.42
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.04	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.10	0.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
MgO	0.04	0.00	0.00
CaO	55.65	55.46	55.75
MnO	0.00	0.16	0.01
FeO	0.19	0.22	0.06
NiO	0.08	0.02	0.04
ZnO	0.23	0.22	0.10
BaO	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.03
K <sub>2</sub> O	0.18	0.25	0.12
F	3.44	4.09	3.97
Cl	0.01	0.06	0.00
Summe	101.35	100.75	99.83
FeO	0.19	0.22	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.18	0.00	0.00
Summe	101.53	100.75	99.83
P	2.9430	2.9027	2.8841
Si	0.0379	0.0354	0.0347
Summe	2.9808	2.9381	2.9188
Ti	0.0000	0.0025	0.0000
Al	0.0076	0.0100	0.0044
Cr	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.0049	0.0000	0.0000
Ca	4.9313	4.9188	4.9657
Mn	0.0000	0.0115	0.0006
Fe <sup>2+</sup>	0.0133	0.0152	0.0038
Ni	0.0054	0.0016	0.0026
Zn	0.0139	0.0135	0.0060
Ba	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0041	0.0000	0.0043
K	0.0194	0.0268	0.0124
Summe	5.0000	5.0000	5.0000
F	0.9012	1.0712	1.0447
Cl	0.0017	0.0081	0.0000
OH <sub>calc</sub>	0.0971	0.0000	0.0000
Summe	1.0000	1.0794	1.0447

**XXX Apatite bei erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalten**

P	30	30	30	30	40
T	600	600	600	600	650
H <sub>2</sub> O-Gehalt	17.40%	20.70%	22.50%	25.50%	20.00%
Phase	GN09A	Gn09B	GN09C	GN09D	GN11B
Analysennr.	709	710	711	712	713
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.48	41.02	42.34	41.08	40.43
SiO <sub>2</sub>	0.54	0.27	0.44	0.17	0.84
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.02	0.06	0.02	0.22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.04	0.00	0.05	0.02
MgO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
CaO	56.92	56.33	56.99	56.00	55.77
MnO	0.10	0.06	0.04	0.02	0.07
FeO	0.12	0.13	0.17	0.12	0.17
NiO	0.00	0.00	0.07	0.09	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.00	0.08	0.09
K <sub>2</sub> O	0.06	0.15	0.44	0.20	0.33
F	4.65	4.86	4.24	4.55	4.29
Cl	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
Summe	102.10	100.85	103.01	100.48	100.48
FeO	0.12	0.13	0.17	0.12	0.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	102.10	100.85	103.01	100.48	100.48
P	2.8565	2.8569	2.8944	2.8666	2.8121
Si	0.0439	0.0218	0.0352	0.0138	0.0687
Summe	2.9004	2.8787	2.9296	2.8803	2.8808
Ti	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019
Al	0.0047	0.0020	0.0059	0.0018	0.0210
Cr	0.0027	0.0028	0.0000	0.0035	0.0016
Mg	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	4.9616	4.9650	4.9298	4.9450	4.9096
Mn	0.0071	0.0040	0.0030	0.0011	0.0052
Fe <sup>2+</sup>	0.0080	0.0087	0.0112	0.0082	0.0118
Ni	0.0000	0.0002	0.0045	0.0057	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0060	0.0000	0.0000	0.0131	0.0140
K	0.0060	0.0154	0.0455	0.0215	0.0350
Summe	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
F	1.1974	1.2654	1.0834	1.1858	1.1158
Cl	0.0000	0.0000	0.0003	0.0034	0.0036
OH <sub>calc</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	1.1974	1.2654	1.0837	1.1891	1.1194

**XXXI Titanit bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	25	25	25	30	30	30	30
T	750	675	700	725	675	700	750	750
Phase	GN38C	GN62D	GN63D	GN64D	GN18D	GN49C	GN39D	GN01D
Analysenr.	714	715	716	717	718	719	720	721
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.15	0.00	0.21	0.03	0.02	0.00	0.14
SiO <sub>2</sub>	30.94	30.86	31.27	29.73	30.50	30.43	30.00	34.46
TiO <sub>2</sub>	30.37	27.39	30.34	35.09	30.32	31.34	35.39	32.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.18	8.26	5.94	2.94	6.31	5.67	2.88	3.19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.06	0.04	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	27.69	28.77	27.70	27.67	29.42	28.52	27.42	25.77
MnO	0.01	0.13	0.00	0.10	0.07	0.05	0.08	0.15
FeO	0.50	0.29	0.67	0.62	0.50	0.41	0.31	0.42
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.12	0.06	0.04	0.06	0.10	0.14
K <sub>2</sub> O	0.16	0.09	0.34	0.08	0.10	0.27	0.25	0.12
F	2.09	2.97	1.99	0.71	2.23	1.78	0.67	0.63
Summe	97.83	97.68	98.10	97.70	98.81	98.09	97.13	97.62
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	0.32	0.75	0.69	0.56	0.45	0.34	0.46
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.26	0.17	0.40	0.29	0.14	0.28	0.30	1.00
Summe	98.15	97.88	98.57	98.06	99.01	98.41	97.46	98.67
P	0.9991	0.9960	1.0000	0.9942	0.9991	0.9996	1.0000	0.9966
Si	0.0009	0.0040	0.0000	0.0058	0.0009	0.0004	0.0000	0.0034
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7376	0.6647	0.7299	0.8826	0.7471	0.7744	0.8874	0.7039
Al	0.2351	0.3143	0.2238	0.1160	0.2437	0.2195	0.1130	0.1087
Fe <sup>3+</sup>	0.0135	0.0077	0.0180	0.0174	0.0138	0.0112	0.0085	0.0101
Cr	0.0011	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000	0.0015	0.0012	0.0000
Summe	0.9873	0.9867	0.9716	1.0171	1.0046	1.0066	1.0100	0.8262
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	0.9581	0.9946	0.9490	0.9914	1.0326	1.0037	0.9793	0.7987
Mn	0.0003	0.0035	0.0000	0.0030	0.0019	0.0013	0.0023	0.0036
Na	0.0027	0.0000	0.0073	0.0041	0.0027	0.0036	0.0066	0.0077
K	0.0066	0.0036	0.0138	0.0032	0.0040	0.0113	0.0105	0.0044
Summe	0.9820	1.0025	0.9784	1.0158	1.0461	1.0259	1.0017	0.8185
F	0.2138	0.3033	0.2012	0.0753	0.2313	0.1853	0.0711	0.0574
OH <sub>calc</sub>	0.0562	0.0356	0.0844	0.0654	0.0315	0.0608	0.0658	0.1929
Summe	0.2701	0.3389	0.2857	0.1418	0.2638	0.2467	0.1398	0.2512
T <sub>tn</sub>	0.7151	0.6569	0.7058	0.8635	0.7342	0.7528	0.8680	0.6797
AlT <sub>tn</sub>	0.2351	0.3143	0.2238	0.1160	0.2437	0.2195	0.1130	0.1087
FeT <sub>tn</sub>	0.0146	0.0077	0.0180	0.0185	0.0138	0.0127	0.0097	0.0101
RT <sub>tn</sub>	0.0109	0.0133	0.0224	-0.0221	-0.0046	-0.0066	-0.0130	0.1773
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0130	0.0043	0.0025	0.0118	0.0065	0.0071	0.0023	0.0095
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0095	0.0036	0.0215	0.0072	0.0063	0.0145	0.0171	0.0147
Summe	0.9982	1.0000	0.9940	0.9950	1.0000	1.0000	0.9970	1.0000



	35	35	35	35	40	40	40	45
T	675	700	725	750	700	725	750	775
Phase	GN21D	GN47B	GN41D	GN03D	GN56D	GN61D	GN19B	GN50D
Analysennr.	722	723	724	725	726	727	728	729
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.09	0.08
SiO <sub>2</sub>	31.48	31.95	30.13	29.82	30.72	30.92	30.53	30.13
TiO <sub>2</sub>	30.87	29.49	31.83	30.47	31.87	32.67	34.20	32.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.35	6.86	5.82	6.50	5.39	4.82	4.39	4.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.07	0.03	0.03	0.01	0.12	0.01	0.18
MgO	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01
CaO	27.07	26.99	28.70	28.76	26.96	26.92	27.12	27.29
MnO	0.00	0.11	0.06	0.05	0.03	0.18	0.00	0.02
FeO	0.17	0.24	0.21	0.21	0.37	0.21	0.30	0.32
Na <sub>2</sub> O	0.51	0.42	0.00	0.08	0.11	0.12	0.07	0.11
K <sub>2</sub> O	0.21	0.30	0.09	0.15	0.59	0.81	0.21	0.18
F	1.69	1.82	1.58	2.29	1.27	1.09	0.86	0.80
Summe	97.83	98.05	98.17	97.53	97.70	97.84	97.53	95.98
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.27	0.24	0.24	0.41	0.23	0.33	0.35
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.65	0.78	0.32	0.14	0.55	0.63	0.46	0.50
Summe	98.50	98.86	98.52	97.69	98.29	98.49	98.03	96.51
P	0.9971	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9961	0.9975	0.9979
Si	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0025	0.0021
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7355	0.6943	0.7946	0.7687	0.7804	0.7918	0.8406	0.8210
Al	0.2370	0.2531	0.2278	0.2571	0.2068	0.1831	0.1690	0.1589
Fe <sup>3+</sup>	0.0046	0.0064	0.0059	0.0060	0.0102	0.0056	0.0082	0.0087
Cr	0.0000	0.0018	0.0008	0.0008	0.0004	0.0030	0.0004	0.0046
Summe	0.9770	0.9589	1.0290	1.0325	0.9976	0.9836	1.0182	0.9933
Mg	0.0005	0.0026	0.0002	0.0000	0.0000	0.0021	0.0012	0.0007
Ca	0.9186	0.9049	1.0204	1.0334	0.9404	0.9294	0.9494	0.9682
Mn	0.0000	0.0030	0.0016	0.0013	0.0010	0.0048	0.0000	0.0007
Na	0.0314	0.0255	0.0000	0.0053	0.0071	0.0076	0.0044	0.0071
K	0.0087	0.0120	0.0038	0.0065	0.0246	0.0334	0.0087	0.0077
Summe	0.9610	0.9533	1.0351	1.0494	0.9909	0.9818	0.9657	0.9887
F	0.1689	0.1798	0.1663	0.2425	0.1303	0.1112	0.0886	0.0839
OH <sub>calc</sub>	0.1368	0.1625	0.0718	0.0309	0.1189	0.1347	0.1012	0.1094
Summe	0.3057	0.3424	0.2381	0.2752	0.2492	0.2459	0.1911	0.1933
Ttn	0.6918	0.6462	0.7805	0.7534	0.7344	0.7424	0.8250	0.8010
AlTtn	0.2370	0.2531	0.2278	0.2571	0.2068	0.1831	0.1690	0.1589
FeTtn	0.0046	0.0082	0.0067	0.0068	0.0105	0.0086	0.0086	0.0134
RTtn	0.0225	0.0418	-0.0292	-0.0325	-0.0027	0.0125	-0.0194	0.0061
M2+Ttn	0.0020	0.0087	0.0104	0.0040	0.0140	0.0077	0.0021	0.0051
M1+Ttn	0.0417	0.0393	0.0037	0.0113	0.0319	0.0417	0.0136	0.0150
Summe	0.9995	0.9973	0.9998	1.0000	0.9949	0.9960	0.9987	0.9993

**XXXII Titanit bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	25	25	25	25	25	30	30	30
T	675	700	725	750	775	675	750	750
Phase	GN62A	GN63A	GN64C	GN07C	GN65C	GN18C	GN39A	GN16C
Analysennr.	730	731	732	733	734	735	736	737
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.14
SiO <sub>2</sub>	30.62	33.51	30.38	29.96	31.36	32.47	30.52	30.76
TiO <sub>2</sub>	30.55	31.47	31.71	30.89	30.89	28.85	30.30	30.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.13	5.65	5.34	6.06	6.42	7.21	6.42	5.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00
MgO	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
CaO	27.67	25.04	27.40	28.55	27.20	26.90	28.41	28.62
MnO	0.02	0.00	0.15	0.05	0.00	0.07	0.15	0.02
FeO	0.45	0.78	0.64	0.23	0.70	0.29	0.18	0.39
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.24	0.26	0.07	0.14	0.47	0.10	0.11
K <sub>2</sub> O	0.45	1.13	0.29	0.14	0.62	0.20	0.07	0.28
F	2.39	0.72	1.81	2.14	2.03	2.08	2.14	2.09
Summe	97.67	99.18	97.76	97.28	98.99	97.90	97.67	98.07
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.86	0.72	0.25	0.78	0.33	0.20	0.43
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.12	1.00	0.29	0.13	0.42	0.82	0.19	0.24
Summe	97.84	100.27	98.13	97.44	99.49	98.75	97.88	98.35
P	1.0000	0.9988	0.9996	0.9993	0.9991	0.9995	1.0000	0.9962
Si	0.0000	0.0012	0.0004	0.0007	0.0009	0.0005	0.0000	0.0038
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7503	0.7054	0.7848	0.7750	0.7404	0.6680	0.7468	0.7505
Al	0.2360	0.1984	0.2071	0.2381	0.2412	0.2617	0.2479	0.2167
Fe <sup>3+</sup>	0.0122	0.0194	0.0177	0.0063	0.0187	0.0076	0.0050	0.0106
Cr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000
Summe	0.9985	0.9231	1.0097	1.0200	1.0002	0.9372	1.0005	0.9780
Mg	0.0010	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014
Ca	0.9680	0.7994	0.9658	1.0200	0.9286	0.8873	0.9975	0.9929
Mn	0.0006	0.0000	0.0042	0.0013	0.0000	0.0018	0.0042	0.0006
Na	0.0076	0.0138	0.0164	0.0044	0.0084	0.0283	0.0063	0.0068
K	0.0187	0.0428	0.0121	0.0062	0.0251	0.0080	0.0028	0.0116
Summe	0.9998	0.8732	1.0064	1.0332	0.9692	0.9300	1.0171	1.0133
F	0.2467	0.0677	0.1886	0.2259	0.2043	0.2023	0.2216	0.2144
OH <sub>calc</sub>	0.0252	0.1988	0.0645	0.0292	0.0884	0.1688	0.0410	0.0520
Summe	0.2745	0.2665	0.2532	0.2552	0.2944	0.3711	0.2626	0.2664
T <sub>tn</sub>	0.7216	0.6274	0.7501	0.7623	0.7022	0.6221	0.7275	0.7317
AlT <sub>tn</sub>	0.2360	0.1984	0.2071	0.2381	0.2412	0.2617	0.2479	0.2167
FeT <sub>tn</sub>	0.0122	0.0194	0.0177	0.0069	0.0187	0.0076	0.0058	0.0106
RT <sub>tn</sub>	-0.0016	0.0703	-0.0152	-0.0200	-0.0039	0.0628	-0.0005	0.0209
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0024	0.0132	0.0064	0.0026	0.0036	0.0069	0.0104	0.0006
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0263	0.0648	0.0283	0.0102	0.0345	0.0390	0.0089	0.0182
Summe	0.9970	0.9934	0.9945	1.0000	0.9963	1.0000	1.0000	0.9987

P	30	30	35	35	35	35	40	40
T	825	875	675	700	725	750	700	725
Phase	GN20C	GN45C	GN21C	GN47C	GN41B	GN03C	GN56A	GN61A
Analysennr.	738	739	740	741	742	743	744	745
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.07	0.00	0.08	0.00	0.05	0.05
SiO <sub>2</sub>	29.64	32.67	29.93	32.37	30.53	30.28	31.32	29.79
TiO <sub>2</sub>	31.01	28.74	27.33	29.10	30.43	31.33	28.69	30.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.22	6.62	6.44	6.80	6.77	6.02	7.15	6.21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.09	0.07	0.00	0.04	0.00	0.15	0.07
MgO	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00
CaO	28.98	26.68	27.20	26.79	28.31	28.39	27.59	27.98
MnO	0.05	0.01	0.07	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00
FeO	0.26	0.27	0.30	0.42	0.47	0.34	0.33	0.24
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.26	0.01	0.39	0.01	0.08	0.11	0.10
K <sub>2</sub> O	0.05	0.20	0.18	0.21	0.14	0.03	0.06	0.86
F	2.33	2.23	2.49	1.98	2.69	2.20	2.37	2.00
Summe	97.95	96.86	93.12	97.68	98.41	97.73	96.95	96.99
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.30	0.34	0.46	0.52	0.38	0.37	0.27
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.06	0.72	0.26	0.78	0.01	0.09	0.38	0.35
Summe	98.03	97.62	93.42	98.51	98.47	97.86	97.36	97.37
P	1.0000	1.0000	0.9980	1.0000	0.9978	1.0000	0.9987	0.9986
Si	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0022	0.0000	0.0013	0.0014
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7870	0.6617	0.6855	0.6761	0.7480	0.7783	0.6882	0.7598
Al	0.2472	0.2386	0.2533	0.2474	0.2606	0.2342	0.2687	0.2453
Fe <sup>3+</sup>	0.0072	0.0070	0.0085	0.0107	0.0128	0.0094	0.0088	0.0068
Cr	0.0000	0.0022	0.0018	0.0000	0.0011	0.0000	0.0038	0.0020
Summe	1.0458	0.9095	0.9490	0.9376	1.0226	1.0219	0.9695	1.0139
Mg	0.0000	0.0008	0.0019	0.0017	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000
Ca	1.0476	0.8750	0.9717	0.8867	0.9913	1.0045	0.9425	1.0047
Mn	0.0013	0.0003	0.0020	0.0003	0.0013	0.0000	0.0006	0.0000
Na	0.0055	0.0155	0.0009	0.0233	0.0006	0.0049	0.0069	0.0067
K	0.0022	0.0080	0.0078	0.0082	0.0059	0.0012	0.0025	0.0368
Summe	1.0577	0.8997	0.9851	0.9222	0.9991	1.0106	0.9549	1.0537
F	0.2492	0.2161	0.2631	0.1929	0.2782	0.2295	0.2389	0.2122
OH <sub>calc</sub>	0.0125	0.1474	0.0579	0.1607	0.0022	0.0201	0.0804	0.0788
Summe	0.2617	0.3635	0.3215	0.3562	0.2811	0.2496	0.3193	0.2954
Ttn	0.7775	0.6353	0.6738	0.6394	0.7402	0.7723	0.6776	0.7160
AlTtn	0.2472	0.2386	0.2533	0.2474	0.2606	0.2342	0.2687	0.2453
FeTtn	0.0072	0.0092	0.0103	0.0107	0.0140	0.0094	0.0126	0.0088
RTtn	-0.0414	0.0895	0.0490	0.0639	-0.0226	-0.0219	0.0281	-0.0166
M2+Ttn	0.0022	0.0003	0.0028	0.0025	0.0013	0.0000	0.0007	0.0026
M1+Ttn	0.0073	0.0261	0.0088	0.0342	0.0065	0.0060	0.0099	0.0413
Summe	1.0000	0.9991	0.9981	0.9982	1.0000	1.0000	0.9976	0.9974

P	40	40	40	45	45
T	750	775	825	725	750
Phase	GN19C	GN51B	GN54B	GN67C	GN40C
Analysennr.	746	747	748	749	750
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	30.67	30.07	30.00	30.87	31.12
TiO <sub>2</sub>	30.27	33.20	32.91	28.54	30.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.12	4.28	4.25	7.23	5.82
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.09	0.12	0.05	0.04
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
CaO	28.61	28.10	26.06	27.74	28.05
MnO	0.09	0.06	0.05	0.12	0.00
FeO	0.42	0.65	0.32	0.49	0.17
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.05	0.19	0.10	0.10
K <sub>2</sub> O	0.13	0.11	0.06	0.41	0.16
F	2.01	1.40	1.01	2.62	1.92
Summe	97.86	97.50	95.12	97.35	97.06
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	0.73	0.35	0.54	0.19
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.29	0.22	0.39	0.26	0.38
Summe	98.20	97.79	95.54	97.66	97.46
P	0.9962	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Si	0.0038	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7396	0.8304	0.8250	0.6956	0.7345
Al	0.2345	0.1676	0.1669	0.2759	0.2204
Fe <sup>3+</sup>	0.0114	0.0182	0.0089	0.0132	0.0046
Cr	0.0000	0.0023	0.0031	0.0012	0.0011
Summe	0.9854	1.0186	1.0039	0.9859	0.9607
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012
Ca	0.9958	1.0010	0.9307	0.9627	0.9657
Mn	0.0025	0.0016	0.0013	0.0033	0.0000
Na	0.0052	0.0031	0.0123	0.0064	0.0065
K	0.0053	0.0048	0.0027	0.0171	0.0064
Summe	1.0127	1.0117	0.9595	0.9945	0.9815
F	0.2069	0.1467	0.1063	0.2686	0.1957
OH <sub>calc</sub>	0.0633	0.0485	0.0864	0.0572	0.0810
Summe	0.2708	0.1960	0.1945	0.3262	0.2773
T <sub>tn</sub>	0.7228	0.8205	0.7963	0.6654	0.7196
AlT <sub>tn</sub>	0.2345	0.1676	0.1669	0.2759	0.2204
FeT <sub>tn</sub>	0.0114	0.0205	0.0120	0.0144	0.0057
RT <sub>tn</sub>	0.0146	-0.0193	-0.0052	0.0122	0.0381
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0063	0.0021	0.0131	0.0065	0.0018
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0104	0.0078	0.0156	0.0236	0.0131
Summe	1.0000	0.9993	0.9987	0.9981	0.9988

XXXIII Titanit bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O

P	15	25	25	25	25	25	30	30
T	750	675	700	725	750	775	675	725
Phase	GN38A	GN62B	GN63B	GN64B	GN07B	GN65B	GN18B	GN48C
Analysennr.	751	752	753	754	755	756	757	758
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.00	0.06	0.09	0.00	0.19	0.02	0.00
SiO <sub>2</sub>	30.58	32.98	31.21	29.51	31.53	30.55	30.33	29.56
TiO <sub>2</sub>	28.00	31.71	29.34	35.77	28.68	34.95	27.95	30.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.76	5.26	7.09	3.05	6.82	3.58	7.15	6.74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.08	0.01	0.00	0.03	0.05	0.00
MgO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06
CaO	27.16	26.44	28.12	27.21	25.74	25.79	27.54	28.18
MnO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.14	0.09	0.00
FeO	0.55	0.30	0.44	0.33	0.47	0.66	0.41	0.19
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.06	0.21	0.15	0.36	0.18	0.07	0.07
K <sub>2</sub> O	0.19	0.26	0.32	0.00	0.95	0.25	0.17	0.04
F	2.43	1.55	2.21	0.99	2.22	0.70	2.58	2.35
Summe	95.45	98.14	98.60	97.15	96.00	97.14	95.26	97.04
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61	0.34	0.48	0.36	0.53	0.73	0.45	0.21
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.37	0.71	0.42	0.15	0.74	0.50	0.23	0.13
Summe	95.88	98.88	99.07	97.34	96.79	97.70	95.53	97.19
P	0.9962	1.0000	0.9983	0.9973	1.0000	0.9947	0.9996	1.0000
Si	0.0038	0.0000	0.0017	0.0027	0.0000	0.0053	0.0004	0.0000
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.6861	0.7232	0.7060	0.9095	0.6843	0.8559	0.6929	0.7785
Al	0.2594	0.1880	0.2674	0.1215	0.2551	0.1375	0.2776	0.2687
Fe <sup>3+</sup>	0.0150	0.0077	0.0117	0.0093	0.0126	0.0180	0.0112	0.0055
Cr	0.0000	0.0000	0.0020	0.0004	0.0000	0.0008	0.0012	0.0000
Summe	0.9605	0.9190	0.9871	1.0406	0.9519	1.0121	0.9829	1.0548
Mg	0.0000	0.0000	0.0017	0.0002	0.0016	0.0000	0.0000	0.0030
Ca	0.9477	0.8588	0.9638	0.9854	0.8747	0.8995	0.9724	1.0214
Mn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0039	0.0026	0.0000
Na	0.0082	0.0036	0.0133	0.0096	0.0221	0.0115	0.0047	0.0043
K	0.0080	0.0100	0.0132	0.0000	0.0383	0.0102	0.0072	0.0019
Summe	0.9767	0.8772	0.9969	1.0032	0.9398	0.9341	0.9869	1.0328
F	0.2504	0.1490	0.2240	0.1058	0.2224	0.0718	0.2689	0.2511
OH <sub>calc</sub>	0.0800	0.1427	0.0893	0.0349	0.1557	0.1076	0.0503	0.0291
Summe	0.3305	0.2917	0.3140	0.1407	0.3783	0.1794	0.3192	0.2802
T <sub>tn</sub>	0.6564	0.7030	0.6794	0.8955	0.6167	0.8200	0.6781	0.7704
AlT <sub>tn</sub>	0.2594	0.1880	0.2674	0.1215	0.2551	0.1375	0.2776	0.2687
FeT <sub>tn</sub>	0.0150	0.0077	0.0137	0.0097	0.0126	0.0187	0.0124	0.0055
RT <sub>tn</sub>	0.0395	0.0804	0.0063	-0.0444	0.0464	-0.0132	0.0171	-0.0556
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0131	0.0047	0.0000	0.0044	0.0034	0.0127	0.0026	0.0021
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0166	0.0156	0.0266	0.0096	0.0642	0.0232	0.0121	0.0060
Summe	1.0000	0.9993	0.9934	0.9962	0.9983	0.9989	1.0000	0.9971

P	30	30	30	30	35	35	35	35
T	750	750	800	825	675	725	750	800
Phase	GN01B	GN16B	GN26D	GN20B	GN21B	GN41C	GN03B	GN23C
Analysennr.	759	760	761	762	763	764	765	766
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.05	0.02	0.00	0.02	0.52	0.00	0.09
SiO <sub>2</sub>	30.48	30.50	29.83	30.69	40.86	30.46	29.64	30.74
TiO <sub>2</sub>	29.32	29.51	30.22	29.98	25.04	29.38	30.47	29.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.10	7.18	6.49	6.55	5.79	6.37	6.42	6.27
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.03	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00
CaO	28.36	28.82	28.29	28.20	23.57	28.36	28.38	28.25
MnO	0.01	0.04	0.05	0.03	0.06	0.08	0.02	0.00
FeO	0.30	0.21	0.27	0.33	0.44	0.35	0.23	0.32
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.13	0.14	0.10	0.34	0.08	0.06	0.08
K <sub>2</sub> O	0.14	0.04	0.18	0.19	0.35	0.20	0.07	0.15
F	2.36	2.58	2.10	2.25	1.96	2.24	2.15	2.08
Summe	97.28	98.09	96.88	97.40	97.67	97.37	96.56	97.42
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	0.23	0.30	0.37	0.49	0.39	0.26	0.35
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.23	0.11	0.26	0.22	1.00	0.30	0.17	0.31
Summe	97.54	98.23	97.16	97.66	98.72	97.71	96.75	97.77
P	1.0000	0.9987	0.9995	1.0000	0.9997	0.9857	1.0000	0.9976
Si	0.0000	0.0013	0.0005	0.0000	0.0003	0.0143	0.0000	0.0024
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7235	0.7268	0.7618	0.7346	0.4607	0.7152	0.7731	0.7319
Al	0.2744	0.2769	0.2562	0.2514	0.1668	0.2428	0.2553	0.2400
Fe <sup>3+</sup>	0.0083	0.0057	0.0076	0.0090	0.0090	0.0095	0.0066	0.0086
Cr	0.0010	0.0000	0.0008	0.0009	0.0001	0.0015	0.0000	0.0000
Summe	1.0073	1.0094	1.0276	0.9959	0.6366	0.9690	1.0350	0.9859
Mg	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0010	0.0024	0.0000	0.0002
Ca	0.9969	1.0111	1.0159	0.9846	0.6177	0.9834	1.0260	0.9824
Mn	0.0003	0.0011	0.0013	0.0007	0.0013	0.0022	0.0005	0.0000
Na	0.0071	0.0081	0.0090	0.0064	0.0163	0.0052	0.0039	0.0053
K	0.0059	0.0018	0.0079	0.0077	0.0109	0.0083	0.0028	0.0063
Summe	1.0114	1.0253	1.0355	0.9994	0.6478	1.0051	1.0336	0.9941
F	0.2449	0.2675	0.2220	0.2320	0.1520	0.2288	0.2291	0.2132
OH <sub>calc</sub>	0.0505	0.0249	0.0578	0.0474	0.1632	0.0656	0.0381	0.0664
Summe	0.2966	0.2923	0.2809	0.2795	0.3157	0.2958	0.2683	0.2796
T <sub>tn</sub>	0.7092	0.7132	0.7430	0.7198	0.4158	0.6961	0.7658	0.7203
AlT <sub>tn</sub>	0.2744	0.2769	0.2562	0.2514	0.1668	0.2428	0.2553	0.2400
FeT <sub>tn</sub>	0.0093	0.0057	0.0084	0.0099	0.0091	0.0110	0.0066	0.0086
RT <sub>tn</sub>	-0.0073	-0.0096	-0.0264	0.0041	0.3619	0.0286	-0.0350	0.0193
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0014	0.0039	0.0025	0.0007	0.0029	0.0058	0.0009	0.0000
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0129	0.0097	0.0163	0.0141	0.0420	0.0134	0.0065	0.0117
Summe	1.0000	0.9998	1.0000	1.0000	0.9985	0.9976	1.0000	0.9998

P	40	40	40	40	45	45	45	45	45
T	700	725	750	775	725	750	775	825	850
Phase	GN56	GN61	GN19	GN51	GN67	GN40	GN50	GN42	GN59
	B	C	A	C	D	D	A	C	A
Analysennr.	767	768	769	770	771	772	773	774	775
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.13
SiO <sub>2</sub>	30.50	30.49	30.61	31.03	30.34	30.31	30.37	30.67	29.10
TiO <sub>2</sub>	29.76	29.71	30.59	32.54	30.18	30.14	29.99	31.74	32.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.26	6.28	6.14	4.90	6.91	6.44	5.63	5.05	4.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.06	0.01
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.01
CaO	27.81	27.91	27.91	27.54	27.82	27.73	28.37	27.40	26.59
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.19	0.14
FeO	0.26	0.32	0.33	0.71	0.20	0.31	0.50	0.30	0.18
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.12	0.08	0.14	0.13	0.13	0.13	0.07	0.14
K <sub>2</sub> O	0.31	0.75	0.21	0.25	0.33	0.14	0.09	0.35	0.23
F	2.37	1.44	1.97	1.84	2.28	2.30	2.41	1.21	1.27
Summe	96.57	96.42	97.06	98.74	97.71	96.59	97.01	96.76	94.19
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	0.36	0.36	0.79	0.22	0.35	0.55	0.33	0.20
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.16	0.71	0.27	0.18	0.26	0.15	0.08	0.53	0.32
Summe	96.76	97.16	97.37	99.00	97.99	96.77	97.14	97.33	94.53
P	1.0000	1.0000	0.9991	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9996	0.9963
Si	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0037
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7338	0.7331	0.7510	0.7888	0.7484	0.7480	0.7430	0.7782	0.8296
Al	0.2418	0.2428	0.2364	0.1862	0.2683	0.2504	0.2185	0.1940	0.1889
Fe <sup>3+</sup>	0.0072	0.0089	0.0090	0.0192	0.0055	0.0086	0.0136	0.0081	0.0050
Cr	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0015	0.0004
Summe	0.9840	0.9848	0.9964	0.9943	1.0221	1.0070	0.9782	0.9818	1.0240
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000	0.0012	0.0000	0.0008
Ca	0.9771	0.9809	0.9763	0.9511	0.9826	0.9804	1.0008	0.9569	0.9755
Mn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0006	0.0000	0.0053	0.0041
Na	0.0043	0.0075	0.0051	0.0085	0.0084	0.0086	0.0080	0.0043	0.0094
K	0.0132	0.0315	0.0089	0.0102	0.0139	0.0060	0.0038	0.0147	0.0099
Summe	0.9968	1.0198	0.9903	0.9798	1.0146	0.9961	1.0244	0.9864	0.9996
F	0.2457	0.1497	0.2035	0.1879	0.2378	0.2396	0.2509	0.1249	0.1381
OH <sub>calc</sub>	0.0356	0.1554	0.0582	0.0383	0.0572	0.0338	0.0165	0.1160	0.0738
Summe	0.2813	0.3051	0.2631	0.2262	0.2957	0.2737	0.2674	0.2410	0.2137
Ttn	0.7163	0.6949	0.7369	0.7636	0.7228	0.7323	0.7212	0.7484	0.8061
AlTtn	0.2418	0.2428	0.2364	0.1862	0.2683	0.2504	0.2185	0.1940	0.1889
FeTtn	0.0083	0.0089	0.0090	0.0192	0.0055	0.0086	0.0167	0.0096	0.0054
RTtn	0.0137	0.0152	0.0036	0.0017	-0.0281	-0.0070	0.0207	0.0182	-0.0247
M2+Ttn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0061	0.0036	0.0011	0.0102	0.0106	0.0041
M1+Ttn	0.0175	0.0382	0.0141	0.0191	0.0220	0.0147	0.0116	0.0192	0.0193
Summe	0.9977	1.0000	1.0000	0.9959	0.9940	1.0000	0.9988	1.0000	0.9992

XXXIV Titanit bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O

P	15	25	25	25	30	30	30	30
T	750	675	700	775	675	700	750	875
Phase	GN38B	GN62C	GN63C	GN65A	GN18A	GN49B	GN01A	GN45A
Analysennr.	776	777	778	779	780	781	782	783
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.15	0.11	0.00	0.00	0.00	0.03
SiO <sub>2</sub>	30.63	30.62	30.46	29.82	30.81	30.52	31.00	30.47
TiO <sub>2</sub>	30.72	29.99	29.94	31.32	30.30	31.01	30.46	30.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.34	6.53	6.29	6.31	6.61	6.37	6.36	6.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.10	0.00	0.06	0.03	0.18	0.02	0.12
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	28.03	27.61	27.97	28.02	28.32	28.80	27.92	27.31
MnO	0.11	0.08	0.00	0.12	0.02	0.09	0.12	0.00
FeO	0.19	0.22	0.44	0.26	0.21	0.42	0.37	0.28
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.06	0.06	0.14	0.06	0.02	0.05	0.12
K <sub>2</sub> O	0.07	0.14	0.17	0.16	0.09	0.12	0.21	0.17
F	2.42	2.34	2.12	2.11	2.10	2.06	1.95	2.65
Summe	98.15	97.19	96.82	97.88	97.86	98.71	97.73	97.73
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	0.24	0.49	0.29	0.23	0.46	0.41	0.31
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.03	0.12	0.25	0.22	0.24	0.25	0.34	0.01
Summe	98.19	97.34	97.13	98.13	98.13	99.01	98.11	97.77
P	0.9987	0.9982	0.9959	0.9968	1.0000	1.0000	1.0000	0.9992
Si	0.0013	0.0018	0.0041	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7534	0.7355	0.7362	0.7877	0.7397	0.7643	0.7391	0.7502
Al	0.2438	0.2509	0.2424	0.2488	0.2530	0.2459	0.2417	0.2524
Fe <sup>3+</sup>	0.0051	0.0060	0.0121	0.0073	0.0057	0.0114	0.0099	0.0076
Cr	0.0004	0.0027	0.0000	0.0015	0.0008	0.0046	0.0005	0.0030
Summe	1.0066	0.9951	0.9922	1.0454	0.9992	1.0262	0.9912	1.0205
Mg	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005
Ca	0.9792	0.9646	0.9798	1.0035	0.9848	1.0113	0.9650	0.9595
Mn	0.0032	0.0023	0.0000	0.0033	0.0007	0.0025	0.0032	0.0000
Na	0.0055	0.0040	0.0038	0.0088	0.0038	0.0013	0.0034	0.0075
K	0.0029	0.0057	0.0073	0.0067	0.0036	0.0049	0.0088	0.0073
Summe	0.9946	0.9826	0.9914	1.0278	0.9975	1.0200	0.9824	0.9800
F	0.2496	0.2417	0.2192	0.2231	0.2159	0.2139	0.1992	0.2754
OH <sub>calc</sub>	0.0054	0.0263	0.0554	0.0497	0.0518	0.0541	0.0732	0.0027
Summe	0.2577	0.2708	0.2746	0.2728	0.2677	0.2680	0.2733	0.2780
T <sub>tn</sub>	0.7379	0.7206	0.7250	0.7674	0.7270	0.7557	0.7214	0.7298
AlT <sub>tn</sub>	0.2438	0.2509	0.2424	0.2488	0.2530	0.2459	0.2417	0.2524
FeT <sub>tn</sub>	0.0055	0.0087	0.0121	0.0089	0.0065	0.0160	0.0104	0.0106
RT <sub>tn</sub>	-0.0027	0.0014	0.0088	-0.0488	0.0008	-0.0262	0.0088	-0.0137
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0071	0.0050	0.0000	0.0051	0.0053	0.0025	0.0053	0.0053
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0084	0.0098	0.0112	0.0151	0.0074	0.0061	0.0124	0.0151
Summe	1.0000	0.9965	0.9996	0.9966	1.0000	1.0000	1.0000	0.9995



P	35	35	35	35	35	35	35	40
T	675	700	725	750	800	825	850	775
Phase	GN21A	GN47A	GN41A	GN03A	GN23B	GN22A	GN29A	GN51D
Analysennr.	784	785	786	787	788	789	790	791
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.02	0.09	0.00
SiO <sub>2</sub>	30.62	30.43	30.64	30.22	31.02	30.81	31.01	31.03
TiO <sub>2</sub>	29.09	28.88	28.61	29.00	28.44	30.38	29.77	29.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.35	7.04	7.46	6.78	8.01	6.61	6.06	6.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.18	0.03	0.00	0.00	0.10	0.00	0.13
MgO	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00
CaO	27.92	27.42	28.16	28.35	28.35	28.22	27.04	27.72
MnO	0.02	0.00	0.11	0.00	0.07	0.07	0.06	0.09
FeO	0.42	0.22	0.35	0.49	0.34	0.40	0.33	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.12	0.13	0.05	0.09	0.08	0.08	0.16
K <sub>2</sub> O	0.27	0.31	0.27	0.15	0.13	0.17	0.54	0.58
F	2.42	2.41	2.62	2.51	2.65	2.03	1.76	1.88
Summe	97.39	96.68	97.44	96.57	98.14	98.04	96.76	97.90
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.46	0.25	0.39	0.54	0.38	0.44	0.36	0.16
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.30	0.25	0.20	0.11	0.26	0.33	0.59	0.54
Summe	97.73	96.95	97.68	96.74	98.44	98.41	97.39	98.46
P	1.0000	1.0000	0.9991	1.0000	0.9984	0.9996	0.9974	1.0000
Si	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0016	0.0004	0.0026	0.0000
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7145	0.7138	0.7016	0.7218	0.6884	0.7414	0.7202	0.7216
Al	0.2829	0.2727	0.2866	0.2644	0.3039	0.2528	0.2298	0.2506
Fe <sup>3+</sup>	0.0114	0.0062	0.0095	0.0135	0.0091	0.0109	0.0088	0.0038
Cr	0.0007	0.0046	0.0008	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000	0.0034
Summe	1.0095	1.0038	0.9985	0.9998	1.0029	1.0077	0.9662	0.9795
Mg	0.0005	0.0000	0.0000	0.0017	0.0002	0.0000	0.0010	0.0000
Ca	0.9766	0.9652	0.9837	1.0051	0.9775	0.9808	0.9318	0.9569
Mn	0.0006	0.0000	0.0031	0.0000	0.0019	0.0018	0.0016	0.0026
Na	0.0079	0.0079	0.0082	0.0032	0.0055	0.0053	0.0052	0.0103
K	0.0112	0.0128	0.0113	0.0064	0.0055	0.0069	0.0221	0.0238
Summe	1.0001	0.9901	1.0084	1.0173	0.9906	0.9949	0.9635	1.0051
F	0.2495	0.2507	0.2704	0.2627	0.2692	0.2079	0.1786	0.1918
OH <sub>calc</sub>	0.0645	0.0543	0.0446	0.0243	0.0549	0.0708	0.1261	0.1170
Summe	0.3142	0.3071	0.3176	0.2873	0.3241	0.2786	0.3071	0.3098
T <sub>tn</sub>	0.6914	0.6887	0.6771	0.7115	0.6754	0.7272	0.6883	0.6761
AlT <sub>tn</sub>	0.2829	0.2727	0.2866	0.2644	0.3039	0.2528	0.2298	0.2506
FeT <sub>tn</sub>	0.0121	0.0107	0.0103	0.0135	0.0091	0.0134	0.0088	0.0072
RT <sub>tn</sub>	-0.0100	0.0027	0.0015	-0.0014	-0.0016	-0.0077	0.0401	0.0181
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0039	0.0042	0.0052	0.0009	0.0019	0.0018	0.0035	0.0117
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0192	0.0209	0.0193	0.0094	0.0111	0.0123	0.0283	0.0339
Summe	0.9995	1.0000	1.0000	0.9983	0.9998	1.0000	0.9989	0.9976

	40	40	45	45	45	45
T	850	875	700	725	750	825
Phase	GN53D	GN52A	GN57D	GN67A	GN40A	GN42D
Analysennr.	792	793	794	795	796	797
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	30.38	30.42	33.22	30.92	30.86	30.61
TiO <sub>2</sub>	29.55	30.38	28.05	30.76	29.57	30.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.89	6.72	7.48	6.23	6.65	6.41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.03	0.03	0.00	0.09	0.04
MgO	0.01	0.02	0.05	0.00	0.03	0.00
CaO	27.97	28.47	27.37	28.11	27.61	29.08
MnO	0.16	0.00	0.03	0.01	0.14	0.06
FeO	0.25	0.19	0.31	0.15	0.14	0.37
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.09	0.22	0.05	0.00	0.09
K <sub>2</sub> O	0.24	0.17	0.36	0.06	0.09	0.11
F	2.38	2.23	2.32	2.34	2.27	1.96
Summe	97.35	98.17	98.70	97.82	96.61	98.70
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.21	0.34	0.17	0.15	0.41
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.18	0.21	0.84	0.07	0.22	0.30
Summe	97.56	98.41	99.57	97.91	96.85	99.04
P	1.0000	0.9978	0.9996	1.0000	1.0000	1.0000
Si	0.0000	0.0022	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7317	0.7496	0.6350	0.7484	0.7208	0.7565
Al	0.2675	0.2599	0.2652	0.2375	0.2541	0.2469
Fe <sup>3+</sup>	0.0069	0.0051	0.0077	0.0041	0.0038	0.0101
Cr	0.0000	0.0008	0.0007	0.0000	0.0022	0.0011
Summe	1.0061	1.0153	0.9087	0.9899	0.9809	1.0146
Mg	0.0004	0.0010	0.0021	0.0000	0.0014	0.0000
Ca	0.9866	1.0005	0.8824	0.9740	0.9587	1.0177
Mn	0.0046	0.0000	0.0009	0.0003	0.0038	0.0016
Na	0.0055	0.0055	0.0126	0.0030	0.0000	0.0058
K	0.0100	0.0072	0.0139	0.0024	0.0036	0.0045
Summe	1.0148	1.0184	0.9145	0.9820	0.9700	1.0296
F	0.2476	0.2311	0.2212	0.2398	0.2322	0.2021
OH <sub>calc</sub>	0.0396	0.0463	0.1676	0.0151	0.0484	0.0660
Summe	0.2897	0.2781	0.3888	0.2548	0.2816	0.2681
Ttn	0.7068	0.7365	0.6051	0.7425	0.7105	0.7450
AlTtn	0.2675	0.2599	0.2652	0.2375	0.2541	0.2469
FeTtn	0.0069	0.0058	0.0084	0.0041	0.0060	0.0113
RTtn	-0.0090	-0.0199	0.0862	0.0077	0.0177	-0.0146
M2+Ttn	0.0096	0.0006	0.0010	0.0003	0.0065	0.0015
M1+Ttn	0.0152	0.0124	0.0290	0.0055	0.0037	0.0100
Summe	0.9970	0.9954	0.9949	0.9977	0.9986	1.0000

**XXXV Titanit bei höheren H<sub>2</sub>O-Gehalten**

P	30	30	30	30	40	40
T	600	600	600	600	650	650
H <sub>2</sub> O-Gehalt	17.40%	20.70%	22.50%	25.50%	20.00%	23.70%
Phase	GN09A	Gn09B	GN09C	GN09D	GN11B	GN11C
Analysennr.	798	799	800	801	802	803
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
SiO <sub>2</sub>	30.14	29.68	30.39	30.18	30.27	30.64
TiO <sub>2</sub>	30.40	30.88	31.42	30.83	30.66	31.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.75	6.31	6.14	6.27	6.35	5.91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.04	0.05	0.00	0.03	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	28.67	28.64	28.88	28.46	28.78	28.01
MnO	0.07	0.01	0.07	0.02	0.00	0.00
FeO	0.36	0.30	0.26	0.21	0.29	0.42
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.05	0.09	0.10	0.00	0.13
K <sub>2</sub> O	0.06	0.21	0.01	0.10	0.13	0.30
F	2.29	2.03	2.00	2.03	2.10	2.01
Summe	97.93	97.41	98.50	97.40	97.82	98.64
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	0.33	0.29	0.24	0.32	0.46
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.20	0.24	0.20	0.21	0.19	0.23
Summe	98.17	97.68	98.73	97.63	98.04	98.92
P	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9979
Si	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ti	0.7586	0.7826	0.7777	0.7684	0.7620	0.7638
Al	0.2639	0.2506	0.2381	0.2450	0.2471	0.2269
Fe <sup>3+</sup>	0.0099	0.0084	0.0071	0.0060	0.0079	0.0114
Cr	0.0015	0.0011	0.0012	0.0000	0.0008	0.0000
Summe	1.0339	1.0427	1.0240	1.0194	1.0178	1.0074
Mg	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006
Ca	1.0190	1.0336	1.0181	1.0103	1.0187	0.9773
Mn	0.0020	0.0003	0.0020	0.0005	0.0000	0.0000
Na	0.0064	0.0035	0.0059	0.0063	0.0000	0.0083
K	0.0024	0.0089	0.0006	0.0044	0.0054	0.0124
Summe	1.0299	1.0489	1.0271	1.0222	1.0267	1.0073
F	0.2398	0.2167	0.2076	0.2125	0.2198	0.2072
OH <sub>calc</sub>	0.0440	0.0541	0.0441	0.0470	0.0413	0.0505
Summe	0.2839	0.2719	0.2527	0.2615	0.2611	0.2588
T <sub>tn</sub>	0.7481	0.7687	0.7689	0.7568	0.7542	0.7347
AlT <sub>tn</sub>	0.2639	0.2506	0.2381	0.2450	0.2471	0.2269
FeT <sub>tn</sub>	0.0114	0.0095	0.0083	0.0060	0.0087	0.0114
RT <sub>tn</sub>	-0.0339	-0.0434	-0.0240	-0.0194	-0.0178	-0.0027
M <sub>2</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0019	0.0020	0.0025	0.0011	0.0025	0.0086
M <sub>1</sub> +T <sub>tn</sub>	0.0086	0.0118	0.0063	0.0105	0.0053	0.0205
Summe	1.0000	0.9993	1.0000	1.0000	1.0000	0.9994

**XXXVI Epidot bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	35	35
T	675	750
Probe	GN21D	GN03D
Analysennr.	804	805
SiO <sub>2</sub>	37.71	37.37
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.72	26.31
MgO	0.06	0.02
CaO	23.77	23.95
MnO	0.17	0.10
FeO	7.72	7.57
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.02
K <sub>2</sub> O	0.03	0.05
F	0.05	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-
Summe	96.37	95.59
FeO	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.58	8.41
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.85	1.87
Summe	99.09	98.30
Si	3.0000	3.0000
Summe	3.0000	3.0000
Al	2.0000	2.0000
Summe	2.0000	2.0000
Ti	0.0092	0.0055
Al	0.5055	0.4885
Fe <sup>3+</sup>	0.5137	0.5081
Mg	0.0075	0.0024
Mn	0.0115	0.0070
Fe <sup>2+</sup>	0.0000	0.0000
Summe	1.0473	1.0129
Ca	2.0260	2.0594
Na	0.0000	0.0025
K	0.0029	0.0056
REE	0.0000	0.0000
Summe	2.0289	2.0674
F	0.0131	0.0000
OH <sub>calc</sub>	0.9842	1.0000
Summe	1.0000	1.0000
Czo	0.4666	0.4779
Ep	0.5131	0.5083
Pie	0.0113	0.0070
Aln	-0.0074	-0.0024
M <sup>2+</sup> Aln	0.0074	0.0024
M <sup>3+</sup> Ep	0.0090	0.0068
Summe	1.0000	1.0000

XXXVII Allanit bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O

P	25	30	30	35	35	35	35	45
T	700	725	750	675	700	750	800	700
Probe	GN63D	GN48D	GN01D	GN21D	GN47B	GN03D	GN23A	GN57C
Analysennr.	806	807	808	809	810	811	812	813
SiO <sub>2</sub>	33.40	33.03	33.41	33.08	33.29	33.67	31.96	31.46
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.06	0.07	0.20	0.11	0.02	0.22	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.18	22.84	20.81	21.26	22.34	23.57	21.45	19.78
MgO	0.03	0.06	0.04	0.04	0.14	0.04	0.00	0.12
CaO	16.38	15.82	15.91	16.36	15.52	18.39	15.98	15.11
MnO	0.17	0.23	0.00	0.33	0.14	0.24	0.00	0.04
FeO	9.63	8.21	8.82	10.21	7.95	6.32	9.97	9.96
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.04	0.11	0.05	0.12	0.12	0.01	0.13
K <sub>2</sub> O	0.09	0.00	0.03	0.06	0.12	0.04	0.07	0.08
F	0.00	0.00	0.00	0.33	0.24	0.00	0.00	0.41
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3.21	-	-	2.82	-	-	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	6.17	-	-	5.79	-	-	-
Summe	81.36	89.91	79.32	81.82	88.51	82.55	79.69	77.69
FeO	5.40	5.97	5.94	5.20	6.20	2.95	4.89	5.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.70	2.49	3.19	5.56	1.94	3.75	5.65	5.18
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.67	1.65	1.66	1.49	1.55	1.68	1.60	1.37
Summe	83.50	91.81	81.30	83.87	90.25	84.61	81.85	79.58
Si	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Al	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0174	0.0040	0.0048	0.0139	0.0077	0.0011	0.0152	0.0432
Al	0.2424	0.4450	0.2022	0.2725	0.3721	0.4754	0.3730	0.2230
Fe <sup>3+</sup>	0.3174	0.1705	0.2159	0.3797	0.1319	0.2514	0.3994	0.3714
Mg	0.0044	0.0081	0.0060	0.0056	0.0185	0.0051	0.0000	0.0167
Mn	0.0128	0.0177	0.0000	0.0250	0.0105	0.0180	0.0000	0.0029
Fe <sup>2+</sup>	0.4058	0.4531	0.4461	0.3944	0.4668	0.2196	0.3836	0.4229
Summe	1.0003	1.1088	0.8795	1.0928	1.0075	0.9791	1.1711	1.0857
Ca	1.5760	1.5400	1.5307	1.5902	1.4984	1.7555	1.6066	1.5436
Na	0.0080	0.0069	0.0197	0.0081	0.0205	0.0200	0.0017	0.0242
K	0.0102	0.0000	0.0035	0.0074	0.0143	0.0049	0.0081	0.0094
REE	0.4058	0.4531	0.4461	0.3944	0.4668	0.2196	0.3836	0.4229
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0958	0.0695	0.0000	0.0000	0.1242
OH <sub>calc</sub>	1.0000	1.0000	0.9942	0.9022	0.9305	0.9971	1.0000	0.8724
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Czo	0.2423	0.3646	0.2985	0.2079	0.3785	0.4961	0.2449	0.1722
Ep	0.3218	0.1626	0.2533	0.3716	0.1380	0.2645	0.3715	0.3967
Pie	0.0128	0.0171	0.0000	0.0242	0.0105	0.0182	0.0000	0.0028
Aln	0.4014	0.4392	0.4365	0.3792	0.4592	0.2097	0.3692	0.3755
M <sup>2+</sup> Aln	0.0044	0.0140	0.0097	0.0152	0.0077	0.0098	0.0144	0.0474
M <sup>3+</sup> Ep	0.0174	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	1.0000	0.9974	0.9979	0.9982	0.9939	0.9983	1.0000	0.9946



P	35	35	40	40	45
T	750	800	725	750	775
Probe	GN03C	GN23D	GN61A	GN19C	GN50B
Analysennr.	822	823	824	825	826
SiO <sub>2</sub>	33.31	31.26	31.96	31.99	31.85
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.22	0.24	0.17	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.46	20.83	20.66	20.30	20.27
MgO	0.03	0.04	0.15	0.06	0.11
CaO	16.77	15.40	15.04	14.09	14.36
MnO	0.00	0.00	0.41	0.31	0.05
FeO	9.00	8.90	8.86	9.25	8.27
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.22	0.20	0.26	0.02
K <sub>2</sub> O	0.20	0.08	0.50	0.46	0.07
F	0.00	0.00	0.78	0.45	0.50
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	4.42	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	8.54	-
Summe	81.19	76.95	78.71	90.74	75.93
FeO	4.51	4.56	4.98	6.16	6.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.99	4.82	4.31	3.43	1.59
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.66	1.56	1.22	1.38	1.35
Summe	83.35	78.99	80.37	92.46	77.44
Si	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Al	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0075	0.0160	0.0171	0.0122	0.0059
Al	0.2773	0.3554	0.2853	0.2435	0.2503
Fe <sup>3+</sup>	0.3380	0.3481	0.3044	0.2424	0.1129
Mg	0.0045	0.0059	0.0214	0.0086	0.0149
Mn	0.0000	0.0000	0.0329	0.0247	0.0038
Fe <sup>2+</sup>	0.3394	0.3659	0.3913	0.4829	0.5387
Summe	0.9793	1.0913	1.0556	1.0420	0.9604
Ca	1.6180	1.5833	1.5126	1.4157	1.4492
Na	0.0191	0.0409	0.0366	0.0466	0.0037
K	0.0235	0.0099	0.0596	0.0548	0.0084
REE	0.3394	0.3659	0.3913	0.4829	0.5387
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
F	0.0000	0.0000	0.2313	0.1329	0.1490
OH <sub>calc</sub>	0.9977	1.0000	0.7643	0.8630	0.8479
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Czo	0.2931	0.2858	0.2437	0.2126	0.2804
Ep	0.3599	0.3328	0.3127	0.2680	0.1710
Pie	0.0000	0.0000	0.0323	0.0244	0.0039
Aln	0.3222	0.3602	0.3703	0.4473	0.4892
M <sup>2+</sup> Aln	0.0172	0.0058	0.0210	0.0357	0.0494
M <sup>3+</sup> Ep	0.0075	0.0155	0.0201	0.0121	0.0060
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**XXXIX Epidot bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	20
T	750
Probe	GN55A
Analysenr.	827
SiO <sub>2</sub>	37.86
TiO <sub>2</sub>	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.07
MgO	0.04
CaO	23.27
MnO	0.27
FeO	7.02
Na <sub>2</sub> O	0.02
K <sub>2</sub> O	0.17
F	0.05
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
Summe	96.21
FeO	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.73
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.87
Summe	98.85
Si	3.0000
Summe	3.0000
Al	2.0000
Summe	2.0000
Ti	0.0049
Al	0.5279
Fe <sup>3+</sup>	0.4611
Mg	0.0045
Mn	0.0181
Fe <sup>2+</sup>	0.0041
Summe	1.0381
Ca	1.9756
Na	0.0027
K	0.0177
REE	0.0041
Summe	2.0000
F	0.0120
OH <sub>calc</sub>	0.9861
Summe	1.0000
Czo	0.4962
Ep	0.4770
Pic	0.0179
Aln	-0.0177
M <sup>2+</sup> Aln	0.0218
M <sup>3+</sup> Ep	0.0048
Summe	1.0000





















Probe	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	888	889	890	891
SiO <sub>2</sub>	38.36	37.98	38.02	38.29
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.08	0.08	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.51	27.57	27.75	28.14
MgO	0.00	0.00	0.02	0.00
CaO	23.59	23.94	23.44	23.83
MnO	0.24	0.22	0.00	0.05
FeO	7.39	7.26	7.31	7.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.04	0.02	0.06
K <sub>2</sub> O	0.00	0.07	0.06	0.06
F	0.12	0.13	0.13	0.08
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-
Summe	97.51	97.57	96.89	97.66
FeO	0.35	0.00	0.14	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.83	8.07	7.97	7.78
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.84	1.82	1.83	1.88
Summe	100.14	100.20	99.52	100.32
Si	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Al	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0080	0.0049	0.0049	0.0048
Al	0.5356	0.5666	0.5804	0.5982
Fe <sup>3+</sup>	0.4608	0.4795	0.4735	0.4590
Mg	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000
Mn	0.0161	0.0147	0.0000	0.0031
Fe <sup>2+</sup>	0.0227	0.0000	0.0089	0.0000
Summe	1.0463	1.0824	1.0740	1.0670
Ca	1.9767	2.0264	1.9813	2.0005
Na	0.0006	0.0054	0.0033	0.0094
K	0.0000	0.0075	0.0064	0.0060
REE	0.0227	0.0000	0.0089	0.0000
Summe	2.0000	2.0393	2.0000	2.0183
F	0.0307	0.0335	0.0337	0.0188
OH <sub>calc</sub>	0.9618	0.9597	0.9644	0.9812
Summe	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000
Czo	0.4970	0.4979	0.5182	0.5415
Ep	0.4565	0.4830	0.4645	0.4490
Pie	0.0158	0.0143	0.0000	0.0030
Aln	0.0196	-0.0164	0.0063	0.0000
M <sup>2+</sup> Aln	0.0031	0.0164	0.0027	0.0000
M <sup>3+</sup> Ep	0.0079	0.0047	0.0083	0.0065
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**XLV Allanite der Biotit-Phengit-Gneise**

Probe	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	892	893	894	895
SiO <sub>2</sub>	31.90	31.24	31.52	30.49
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.33	0.21	0.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.17	20.29	19.80	17.98
MgO	0.11	0.08	0.11	0.10
CaO	15.15	15.16	14.74	13.11
MnO	0.06	0.25	0.07	0.36
FeO	9.72	10.38	10.55	10.80
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.15	0.04	0.24
K <sub>2</sub> O	0.15	0.14	0.12	0.12
F	0.35	0.30	0.37	0.40
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-
Summe	77.99	78.62	77.42	74.14
FeO	5.64	4.79	5.97	6.76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.54	6.22	5.09	4.49
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	1.42	1.42	1.38	1.32
Summe	79.86	80.67	79.32	75.91
Si	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Al	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0099	0.0241	0.0153	0.0364
Al	0.2351	0.2964	0.2207	0.0856
Fe <sup>3+</sup>	0.3210	0.4493	0.3644	0.3325
Mg	0.0149	0.0116	0.0153	0.0151
Mn	0.0047	0.0204	0.0057	0.0297
Fe <sup>2+</sup>	0.4436	0.3845	0.4751	0.5563
Summe	1.0291	1.1863	1.0965	1.0655
Ca	1.5265	1.5597	1.5035	1.3820
Na	0.0000	0.0284	0.0070	0.0465
K	0.0178	0.0167	0.0140	0.0151
REE	0.4436	0.3845	0.4751	0.5563
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
F	0.1041	0.0908	0.1123	0.1232
OH <sub>calc</sub>	0.8897	0.9092	0.8789	0.8653
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Czo	0.2135	0.1621	0.1515	0.0411
Ep	0.3284	0.4115	0.3530	0.3379
Pie	0.0047	0.0192	0.0055	0.0291
Aln	0.4288	0.3736	0.4603	0.5319
M <sup>2+</sup> Aln	0.0147	0.0110	0.0148	0.0244
M <sup>3+</sup> Ep	0.0098	0.0227	0.0148	0.0356
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000





P	45	45	45
T	775	825	875
Korrektur	ja	nein	nein
Probe	GN50D	GN42A	GN30B
Analysennr.	912	913	914
SiO <sub>2</sub>	59.45	58.51	55.25
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.35	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.67	22.34	20.83
MgO	0.24	0.30	0.55
CaO	1.67	2.68	4.79
MnO	0.07	0.05	0.12
FeO	2.10	3.04	2.93
Na <sub>2</sub> O	12.99	13.19	12.60
K <sub>2</sub> O	0.55	0.19	0.08
Summe	100.24	100.73	99.38
Si	2.0000	1.9958	1.9302
Al	0.0000	0.0042	0.0275
Summe	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0019	0.0090	0.0100
Al	0.9226	0.8937	0.8301
Fe <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.0123	0.0152	0.0288
Ca	0.0616	0.0978	0.1793
Mn	0.0020	0.0013	0.0035
Fe <sup>2+</sup>	0.0613	0.0867	0.0856
Na	0.8793	0.8720	0.8535
K	0.0000	0.0082	0.0034
Summe	1.9602	1.9862	1.9960
Woll	0.0308	0.0489	0.0897
En	0.0062	0.0076	0.0144
Fs	0.0307	0.0433	0.0428
M2+-Px	0.0024	0.0016	0.0026
TSB	0.0000	0.0021	0.0137
ESB	0.0421	0.0072	-0.0090
Jd	0.8664	0.8798	0.8146
Ac	0.0079	0.0000	0.0000
Ti-Px	0.0086	0.0090	0.0100
Summe	1.0000	1.0000	1.0000













P	45	45	45	45	45
T	800	825	850	875	900
Korrektur	ja	nein	nein	nein	nein
Probe	GN43C	GN42B	GN59B	GN30D	GN12C
Analysenr.	955	956	957	958	959
SiO <sub>2</sub>	58.10	61.15	57.68	57.88	56.75
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.30	0.32	0.26	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.97	22.34	22.54	22.09	21.89
MgO	0.22	0.30	0.21	0.41	0.62
CaO	2.23	1.96	2.49	3.24	3.72
MnO	0.01	0.00	0.02	0.02	0.21
FeO	2.33	1.62	2.19	2.95	4.19
Na <sub>2</sub> O	12.77	12.95	12.52	12.21	11.35
K <sub>2</sub> O	0.59	0.02	0.20	0.11	0.03
Summe	101.39	100.94	98.52	99.53	99.42
Si	1.9531	2.0000	1.9996	1.9968	1.9722
Al	0.0460	0.0000	0.0000	0.0016	0.0252
Summe	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0071	0.0076	0.0083	0.0067	0.0092
Al	0.9310	0.8829	0.9210	0.8964	0.8712
Fe <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.0114	0.0149	0.0109	0.0209	0.0319
Ca	0.0830	0.0705	0.0925	0.1199	0.1384
Mn	0.0003	0.0000	0.0007	0.0007	0.0062
Fe <sup>2+</sup>	0.0683	0.0455	0.0636	0.0851	0.1217
Na	0.8665	0.8421	0.8413	0.8168	0.7649
K	0.0000	0.0010	0.0087	0.0048	0.0015
Summe	1.9768	1.9209	1.9543	1.9559	1.9477
Woll	0.0415	0.0353	0.0462	0.0599	0.0692
En	0.0057	0.0075	0.0054	0.0104	0.0159
Fs	0.0341	0.0227	0.0318	0.0426	0.0609
M <sub>2</sub> +Px	0.0008	0.0020	0.0024	0.0027	0.0031
TSB	0.0230	0.0000	0.0000	0.0008	0.0126
ESB	0.0167	0.0310	0.0561	0.0561	0.0628
Jd	0.8627	0.8416	0.8461	0.8200	0.7623
Ac	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000
Ti-Px	0.0121	0.0584	0.0083	0.0067	0.0105
Summe	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000























P	45	45	45
T	825	850	900
Korrektur	nein	nein	nein
Probe	GN42D	GN36D	GN12A
Analysenr.	1040	1041	1042
SiO <sub>2</sub>	58.67	60.44	58.02
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.08	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.12	22.03	21.69
MgO	0.40	0.35	0.67
CaO	2.17	1.82	3.21
MnO	0.03	0.15	0.16
FeO	2.84	2.62	3.27
Na <sub>2</sub> O	12.42	12.18	12.39
K <sub>2</sub> O	0.36	0.18	0.11
Summe	100.29	100.17	99.75
Si	1.9976	2.0000	2.0000
Al	0.0024	0.0000	0.0000
Summe	2.0000	2.0000	2.0000
Ti	0.0071	0.0021	0.0021
Al	0.9252	0.8805	0.8813
Fe <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.0203	0.0179	0.0343
Ca	0.0792	0.0661	0.1184
Mn	0.0010	0.0044	0.0046
Fe <sup>2+</sup>	0.0808	0.0744	0.0944
Na	0.8202	0.8007	0.8286
K	0.0156	0.0077	0.0050
Summe	1.9494	1.9107	1.9726
Woll	0.0396	0.0331	0.0592
En	0.0101	0.0090	0.0172
Fs	0.0404	0.0372	0.0472
M <sub>2</sub> +Px	0.0005	0.0044	0.0038
TSB	0.0012	0.0000	0.0000
ESB	0.0652	0.0561	0.0366
Jd	0.8358	0.8057	0.8324
Ac	0.0000	0.0000	0.0011
Ti-Px	0.0071	0.0519	0.0025
Summe	1.0000	1.0000	1.0000



**LI Klinopyroxen der Umkehrversuche und Hochdruckversuche**

P	30	35	80
T	750	750	900
Korrektur	nein	Nein	nein
Probe	GN71A	GN32A	GN33A
Analysennr.	1051	1052	1053
SiO <sub>2</sub>	57.13	57.91	59.257
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.47	0.454
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.15	21.41	20.775
MgO	0.06	0.56	1.348
CaO	2.15	2.83	2.076
MnO	0.00	0.00	0.116
FeO	1.26	3.93	0.760
Na <sub>2</sub> O	13.39	12.82	12.415
K <sub>2</sub> O	0.07	0.11	0.177
Summe	99.05	100.39	98.622
Si	1.96	1.99	2.0437
Al	0.04	0.01	0.0000
Summe	2.00	2.00	2.0437
Ti	0.02	0.01	0.0118
Al	0.94	0.86	0.8444
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.00	0.0000
Mg	0.00	0.03	0.0693
Ca	0.08	0.11	0.0767
Mn	0.00	0.00	0.0034
Fe <sup>2+</sup>	0.04	0.11	0.0219
Na	0.90	0.87	0.8302
K	0.00	0.00	0.0078
Summe	1.98	1.99	1.9354
Woll	0.0399	0.0527	0.0384
En	0.0016	0.0145	0.0347
Fs	0.0182	0.0573	0.0110
M2+-Px	0.0014	0.0000	0.0117
TSB	0.0197	0.0066	0.0000
ESB	0.0045	-0.0125	0.0102
Jd	0.8974	0.8634	0.8308
Ac	0.0000	0.0000	0.0042
Ti-Px	0.0165	0.0161	0.0561
Summe	1.0000	1.0000	1.0000



**LII Klinopyroxen der Biotit-Phengit-Gneise**

Probe	17685	17685
Analysennr.	1054	1055
SiO <sub>2</sub>	54.390	55.747
TiO <sub>2</sub>	0.215	0.267
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.905	14.742
MgO	1.867	1.897
CaO	8.331	7.715
MnO	0.241	0.217
FeO	9.521	9.681
Na <sub>2</sub> O	8.735	9.734
K <sub>2</sub> O	0.051	0.000
Summe	98.252	100.374
Si	1.9984	1.9985
Al	0.0000	0.0000
Summe	2.0000	2.0000
Ti	0.0059	0.0072
Al	0.6021	0.6228
Fe <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000
Mg	0.1023	0.1014
Ca	0.3279	0.2963
Mn	0.0075	0.0066
Fe <sup>2+</sup>	0.2926	0.2902
Na	0.6222	0.6765
K	0.0024	0.0000
Summe	1.9844	2.0086
Woll	0.1640	0.1482
En	0.0511	0.0507
Fs	0.1463	0.1451
M2+-Px	0.0069	0.0036
TSB	0.0000	0.0000
ESB	0.0019	-0.0305
Jd	0.5995	0.6636
Ac	0.0209	0.0115
Ti-Px	0.0059	0.0072
Summe	1.0000	1.0000

**LIII Amphibole der Biotit-Phengit-Gneise**

Probe	17685	17685	17685
Analysennr.	1056	1057	1058
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	39.61	39.46	39.32
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.11	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.90	13.92	14.07
MgO	2.64	2.78	2.78
CaO	10.93	10.98	10.89
MnO	0.42	0.26	0.36
FeO	24.66	24.99	25.67
Na <sub>2</sub> O	1.17	1.35	1.52
K <sub>2</sub> O	1.94	2.41	2.08
F	0.60	0.64	0.55
Summe	96.14	97.10	97.10
FeO	24.66	24.99	25.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O	1.57	1.57	1.62
Summe	97.71	98.67	98.72
Si	6.3581	6.3055	6.2816
Al	1.6419	1.6945	1.7184
Summe	8.0000	8.0000	8.0000
Ti	0.0127	0.0126	0.0032
Al	0.9872	0.9276	0.9299
Mg	0.6329	0.6621	0.6627
Mn	0.0567	0.0350	0.0486
Fe <sup>2+</sup>	3.3088	3.3399	3.3539
Summe	5.0000	5.0000	5.0000
Fe	0.0011	0.0000	0.0755
Ca	1.8798	1.8804	1.8633
Na	0.1041	0.0861	0.0612
Summe	2.0000	2.0000	2.0000
Na	0.2600	0.3324	0.4090
K	0.3979	0.4917	0.4235
Summe	0.6579	0.8241	0.8325
F	0.3061	0.3214	0.2764
OH	1.6819	1.6769	1.7236
Summe	2.0000	2.0000	2.0000
Magnesiokatophorit	0.0099	0.0173	0.0115
Katophorit	0.0517	0.0871	0.0581
Magnesiohornblende	0.0463	0.0292	0.0227
Ferrohornblende	0.2419	0.1473	0.1146
Pargasit	0.0981	0.1152	0.1245
Ferropargasit	0.5128	0.5811	0.6299
Cummingtonit	0.0013	0.0027	0.0062
Grunerit	0.0066	0.0138	0.0311
Summe	1.0000	1.0197	1.0137

**LIV neugebildete Granate bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	30	30
T	750	750	825	850	900	900	800	825
Probe	GN38C	GN55C	GN27A	GN58C	GN04D	GN14D	GN26B	GN20D
Analysenr.	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.35	0.03	0.11	0.00	0.15	0.00	0.19
SiO <sub>2</sub>	37.29	36.63	36.94	36.46	37.32	37.36	36.26	36.70
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.85	0.77	0.88	0.56	0.63	0.67	0.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.14	20.54	19.99	20.09	20.12	20.66	20.20	19.90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.08	0.02	0.02	0.03	0.05
MgO	0.63	4.53	1.72	3.36	4.99	3.58	0.93	2.56
CaO	13.69	4.21	9.44	6.20	4.60	6.53	10.98	8.92
MnO	2.85	0.54	1.65	1.02	1.04	1.00	1.59	1.68
FeO	23.25	29.54	27.29	27.46	30.02	28.35	28.29	28.29
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.12	0.19	0.31	0.15	0.16	0.21	0.09
K <sub>2</sub> O	0.05	0.07	0.14	0.00	0.06	0.05	0.00	0.05
F	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.50	97.54	98.68	96.34	98.89	98.53	99.56	99.34
FeO	22.48	29.54	26.39	27.46	28.61	28.35	26.56	26.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.85	0.00	1.00	0.00	1.57	0.00	1.92	1.89
Summe	98.58	97.54	98.78	96.34	99.05	98.53	99.76	99.53
P	0.0000	0.0242	0.0024	0.0065	0.0000	0.0043	0.0000	0.0128
Si	3.0088	2.9642	2.9869	2.9935	2.9811	2.9957	2.9265	2.9443
Al	0.0000	0.0034	0.0019	0.0000	0.0039	0.0000	0.0073	0.0253
F	0.0000	0.0082	0.0000	0.0101	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	3.0095	2.9939	2.9911	3.0044	2.9851	3.0017	2.9351	2.9832
Ti	0.0159	0.0519	0.0466	0.0545	0.0338	0.0379	0.0408	0.0441
Al	1.9156	1.9559	1.9034	1.9439	1.8907	1.9522	1.9141	1.8564
Fe <sup>3+</sup>	0.0518	0.0000	0.0611	0.0000	0.0944	0.0000	0.1168	0.1143
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0010	0.0015	0.0017	0.0033
Summe	1.9857	2.0078	2.0111	2.0045	2.0198	1.9972	2.0845	2.0181
Mg	0.0758	0.5460	0.2079	0.4108	0.5948	0.4280	0.1117	0.3064
Ca	1.1837	0.3647	0.8177	0.5458	0.3938	0.5612	0.9492	0.7666
Mn	0.1950	0.0370	0.1128	0.0712	0.0704	0.0678	0.1085	0.1142
Fe <sup>2+</sup>	1.5171	1.9991	1.7844	1.8857	1.9111	1.9010	1.7930	1.7839
Na	0.0101	0.0185	0.0304	0.0491	0.0236	0.0249	0.0335	0.0136
K	0.0055	0.0077	0.0143	0.0004	0.0063	0.0055	0.0000	0.0052
Summe	3.0000	2.9773	3.0000	2.9778	3.0000	2.9891	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0253	0.1834	0.0693	0.1380	0.1983	0.1432	0.0372	0.1021
Spessartin	0.0650	0.0124	0.0376	0.0239	0.0235	0.0227	0.0362	0.0381
Almandin	0.5057	0.6714	0.5948	0.6333	0.6370	0.6360	0.5977	0.5946
Grossular	0.3653	0.1032	0.2336	0.1598	0.0765	0.1754	0.2431	0.1801
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0259	0.0000	0.0304	0.0000	0.0467	0.0000	0.0560	0.0566
HGrs	0.0006	0.0020	0.0000	0.0044	0.0001	0.0017	0.0013	0.0009
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0010	0.0007	0.0015	0.0022

P	30	30	30	30	35	35	35	35
T	850	875	900	900	850	875	900	900
Probe	GN46C	GN45D	GN02D	GN10D	GN29B	GN35A	GN34A	GN13D
Analysennr.	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.10	0.14	0.10	0.22	0.22	0.03	0.11
SiO <sub>2</sub>	36.94	36.19	36.85	36.69	37.35	37.75	36.96	36.75
TiO <sub>2</sub>	0.76	1.01	0.46	0.14	0.76	0.55	1.17	1.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.17	20.50	19.85	19.32	20.18	20.45	19.60	19.24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.08	0.05	0.04	0.08	0.00
MgO	1.65	2.94	2.51	3.21	1.16	1.64	3.56	2.92
CaO	8.66	7.58	7.20	5.22	10.38	8.41	2.69	6.09
MnO	1.12	1.03	1.42	1.53	1.92	1.13	0.85	0.85
FeO	29.63	29.97	29.94	31.75	26.76	27.91	33.93	30.92
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.23	0.26	0.11	0.17	0.35	0.24	0.33
K <sub>2</sub> O	0.04	0.02	0.09	0.00	0.05	0.28	0.02	0.13
F	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03
Summe	99.47	99.64	99.15	98.56	99.38	98.98	99.41	99.15
FeO	28.75	28.18	28.26	29.60	26.62	27.91	32.97	29.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.97	1.99	1.87	2.40	0.16	0.00	1.06	1.57
Summe	99.57	99.83	99.34	98.80	99.39	98.98	99.52	99.31
P	0.0095	0.0070	0.0092	0.0069	0.0017	0.0000	0.0023	0.0072
Si	2.9713	2.8983	2.9712	2.9833	2.9983	3.0310	2.9837	2.9629
Al	0.0086	0.0236	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0096	0.0218
F	0.0046	0.0000	0.0059	0.0000	0.0081	0.0000	0.0000	0.0082
Summe	2.9913	2.9289	2.9828	2.9909	3.0036	3.0318	2.9967	2.9939
Ti	0.0459	0.0608	0.0279	0.0084	0.0456	0.0335	0.0709	0.0991
Al	1.9038	1.9118	1.8861	1.8510	1.9088	1.9354	1.8555	1.8069
Fe <sup>3+</sup>	0.0587	0.1198	0.1132	0.1466	0.0097	0.0000	0.0647	0.0956
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.0034	0.0025	0.0050	0.0000
Summe	2.0085	2.0924	2.0272	2.0129	1.9810	1.9864	1.9961	2.0015
Mg	0.1985	0.3508	0.3016	0.3891	0.1385	0.1957	0.4287	0.3512
Ca	0.7462	0.6500	0.6219	0.4550	0.8930	0.7235	0.2328	0.5265
Mn	0.0761	0.0698	0.0969	0.1054	0.1305	0.0767	0.0584	0.0581
Fe <sup>2+</sup>	1.9343	1.8876	1.9053	2.0126	1.7868	1.8738	2.2257	1.9895
Na	0.0330	0.0354	0.0407	0.0176	0.0266	0.0541	0.0371	0.0510
K	0.0043	0.0018	0.0092	0.0000	0.0049	0.0289	0.0019	0.0136
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	2.9666	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0662	0.1169	0.1005	0.1297	0.0462	0.0660	0.1429	0.1171
Spessartin	0.0254	0.0233	0.0323	0.0351	0.0435	0.0259	0.0195	0.0194
Almandin	0.6448	0.6292	0.6351	0.6709	0.5956	0.6316	0.7419	0.6632
Grossular	0.2070	0.1388	0.1437	0.0729	0.2799	0.2254	0.0267	0.1019
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0292	0.0573	0.0558	0.0728	0.0049	0.0000	0.0324	0.0477
HGrs	0.0018	0.0000	0.0024	0.0007	0.0036	0.0009	0.0011	0.0020
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0017	0.0013	0.0024	0.0000

P	40	40	45
T	700	875	725
Probe	GN56D	GN52C	GN67B
Analysennr.	1075	1076	1077
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.09	0.00
SiO <sub>2</sub>	38.44	36.74	38.87
TiO <sub>2</sub>	0.99	1.09	1.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.21	20.80	21.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.00
MgO	0.01	2.06	0.00
CaO	33.15	7.24	33.76
MnO	0.98	1.41	0.68
FeO	2.72	29.37	3.21
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.25	0.23
K <sub>2</sub> O	0.12	0.25	0.41
F	0.32	0.09	0.11
Summe	98.82	99.52	99.86
FeO	1.92	29.27	2.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88	0.11	1.21
Summe	98.91	99.53	99.98
P	0.0033	0.0059	0.0000
Si	2.9528	2.9510	2.9529
Al	0.0000	0.0019	0.0000
F	0.0775	0.0234	0.0271
Summe	2.9755	2.9672	2.9597
Ti	0.0570	0.0657	0.0728
Al	1.9204	1.9666	1.9117
Fe <sup>3+</sup>	0.0511	0.0069	0.0693
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0026	0.0000
Summe	2.0285	2.0418	2.0538
Mg	0.0013	0.2468	0.0006
Ca	2.7279	0.6234	2.7477
Mn	0.0638	0.0959	0.0439
Fe <sup>2+</sup>	0.1233	1.9658	0.1347
Na	0.0355	0.0386	0.0337
K	0.0120	0.0252	0.0395
Summe	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0004	0.0823	0.0002
Spessartin	0.0213	0.0320	0.0146
Almandin	0.0411	0.6553	0.0449
Grossular	0.8549	0.1831	0.8623
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0252	0.0034	0.0338
HGr <sub>s</sub>	0.0194	0.0084	0.0068
Uwarowit	0.0000	0.0014	0.0000

**LV neugebildete Granate bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	20	25	25	25	25	25
T	750	750	800	825	850	875	900	900
Probe	GN38D	GN55D	GN25B	GN27B	GN58D	GN66A	GN14C	GN04C
Analysennr.	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.25	0.07	0.28	0.00	0.39	0.06	0.19
SiO <sub>2</sub>	36.71	36.55	36.52	36.47	36.78	37.73	35.39	37.13
TiO <sub>2</sub>	0.54	0.71	0.83	0.63	0.42	1.03	0.49	0.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.08	20.53	20.58	19.71	20.62	20.17	17.70	20.63
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.08	0.08	0.05	0.00	0.16	0.00	0.03
MgO	0.72	3.03	1.86	1.74	1.89	4.66	2.20	2.70
CaO	10.74	5.81	6.20	7.16	7.85	6.15	6.63	8.42
MnO	3.92	0.45	19.01	1.01	1.48	0.60	6.31	2.50
FeO	25.60	30.70	13.58	31.47	28.57	27.64	30.07	27.51
Na <sub>2</sub> O	0.14	0.10	0.28	0.24	0.11	0.20	0.22	0.23
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.06	0.08	0.09	0.03	0.06	0.05
F	0.00	0.16	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	98.69	98.67	99.46	99.28	97.94	98.88	99.21	100.18
FeO	24.68	30.56	12.87	30.13	28.57	27.64	24.33	26.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.02	0.16	0.79	1.49	0.00	0.00	6.38	1.31
Summe	98.79	98.68	99.54	99.43	97.94	98.88	99.85	100.31
P	0.0000	0.0168	0.0047	0.0195	0.0000	0.0048	0.0043	0.0131
Si	2.9811	2.9524	2.9474	2.9555	2.9965	2.9952	2.8983	2.9493
Al	0.0113	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0406	0.0000	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9930	2.9800	2.9527	2.9762	2.9965	3.0011	2.9027	2.9631
Ti	0.0331	0.0431	0.0506	0.0385	0.0258	0.0613	0.0304	0.0331
Al	1.9103	1.9540	1.9574	1.8827	1.9801	1.8871	1.7084	1.9306
Fe <sup>3+</sup>	0.0624	0.0097	0.0482	0.0907	0.0000	0.0000	0.3933	0.0783
Cr <sup>3+</sup>	0.0035	0.0050	0.0053	0.0034	0.0000	0.0102	0.0001	0.0021
Summe	2.0093	2.0118	2.0615	2.0245	2.0059	1.9799	2.1322	2.0470
Mg	0.0869	0.3648	0.2237	0.2107	0.2300	0.5515	0.2689	0.3202
Ca	0.9346	0.5031	0.5359	0.6216	0.6854	0.5234	0.5813	0.7163
Mn	0.2695	0.0306	1.2995	0.0696	0.1024	0.0404	0.4376	0.1684
Fe <sup>2+</sup>	1.6762	2.0641	0.8687	2.0419	1.9465	1.8349	1.6663	1.7491
Na	0.0219	0.0154	0.0439	0.0377	0.0179	0.0305	0.0355	0.0349
K	0.0000	0.0000	0.0064	0.0080	0.0089	0.0032	0.0065	0.0046
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	2.9987	2.9903	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0290	0.1216	0.0746	0.0702	0.0767	0.1844	0.0896	0.1067
Spessartin	0.0898	0.0102	0.4332	0.0232	0.0341	0.0135	0.1459	0.0561
Almandin	0.5587	0.6880	0.2896	0.6806	0.6491	0.6136	0.5473	0.5830
Grossular	0.2686	0.1423	0.1431	0.1509	0.2238	0.1554	0.0000	0.1909
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0081	0.0000
Andradit	0.0311	0.0048	0.0234	0.0448	0.0000	0.0000	0.1764	0.0382
HGrs	0.0007	0.0108	0.0002	0.0013	0.0000	0.0011	0.0001	0.0007
Uwarowit	0.0019	0.0026	0.0034	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

P	30	30	30	35	40	40	45	45	45
T	850	875	900	1000	700	1000	700	725	750
Probe	GN46D	GN45C	GN10C	GN31A	GN56A	GN60A	GN57B	GN67C	GN40C
Analysennr.	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.22	0.00	0.19	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	36.61	35.84	36.35	36.77	38.53	37.90	38.79	37.22	37.97
TiO <sub>2</sub>	0.72	0.63	0.64	0.17	1.53	0.35	1.80	1.54	1.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.26	19.61	18.68	20.64	20.64	20.85	20.54	20.68	21.19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.16
MgO	1.30	2.43	3.10	1.31	0.00	1.83	0.00	0.00	0.00
CaO	8.02	2.78	4.48	8.85	32.00	6.77	33.14	33.11	32.03
MnO	0.92	0.82	1.22	2.37	0.87	0.94	0.56	0.53	1.05
FeO	30.78	36.73	34.89	27.49	3.84	31.30	3.07	3.17	4.51
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.14	0.23	0.19	0.25	0.35	1.07	0.27	0.23
K <sub>2</sub> O	0.11	0.08	0.09	0.09	0.30	0.19	0.40	0.51	0.15
F	0.10	0.09	0.05	0.00	0.27	0.00	0.43	0.86	0.29
Summe	99.20	99.39	99.90	98.29	98.26	100.56	99.79	97.60	98.79
FeO	30.33	34.74	31.17	27.27	3.53	31.07	0.99	1.74	3.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	2.22	4.14	0.24	0.34	0.26	2.31	1.58	0.98
Summe	99.25	99.62	100.32	98.32	98.29	100.59	100.02	97.76	98.89
P	0.0166	0.0152	0.0000	0.0107	0.0091	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Si	2.9627	2.9259	2.9400	2.9893	2.9757	3.0162	2.9437	2.8906	2.9265
Al	0.0000	0.0086	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0038
F	0.0258	0.0230	0.0138	0.0000	0.0667	0.0000	0.1039	0.2120	0.0697
Summe	2.9872	2.9555	2.9435	3.0000	3.0015	3.0171	2.9700	2.9436	2.9477
Ti	0.0440	0.0388	0.0388	0.0102	0.0891	0.0208	0.1027	0.0901	0.0743
Al	1.9324	1.8784	1.7811	1.9776	1.8788	1.9552	1.8369	1.8934	1.9215
Fe <sup>3+</sup>	0.0302	0.1362	0.2517	0.0145	0.0196	0.0156	0.1319	0.0924	0.0569
Cr <sup>3+</sup>	0.0008	0.0008	0.0008	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0098
Summe	2.0075	2.0543	2.0776	2.0046	1.9875	1.9937	2.0715	2.0759	2.0625
Mg	0.1572	0.2953	0.3743	0.1586	0.0000	0.2165	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	0.6954	0.2434	0.3880	0.7707	2.6483	0.5772	2.6945	2.7553	2.6455
Mn	0.0628	0.0564	0.0835	0.1630	0.0568	0.0634	0.0357	0.0347	0.0689
Fe <sup>2+</sup>	2.0527	2.3717	2.1087	1.8543	0.2283	2.0677	0.0628	0.1133	0.2339
Na	0.0203	0.0215	0.0357	0.0300	0.0373	0.0535	0.1577	0.0412	0.0340
K	0.0116	0.0087	0.0097	0.0096	0.0292	0.0194	0.0392	0.0510	0.0148
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0524	0.0984	0.1248	0.0529	0.0000	0.0722	0.0000	0.0000	0.0000
Spessartin	0.0209	0.0188	0.0278	0.0543	0.0189	0.0211	0.0119	0.0116	0.0230
Almandin	0.6842	0.7881	0.6935	0.6181	0.0761	0.6892	0.0209	0.0378	0.0780
Grossular	0.2011	0.0000	0.0000	0.2480	0.8414	0.1798	0.7889	0.8042	0.8174
Skiagit	0.0000	0.0025	0.0094	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0151	0.0638	0.1117	0.0072	0.0098	0.0078	0.0637	0.0445	0.0276
HGrs	0.0078	0.0057	0.0035	0.0000	0.0167	0.0009	0.0262	0.0530	0.0174
Uwarowit	0.0005	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0058

**LVI neugebildete Granate bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	20	25	25	25	25	25
T	750	750	800	825	850	875	900	900
Probe	GN38A	GN55A	GN25D	GN27C	GN58A	GN66C	GN04B	GN14B
Analysennr.	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.18	0.00	0.00	0.18	0.23	0.07	0.22
SiO <sub>2</sub>	36.60	37.04	38.26	37.03	37.18	36.65	39.72	38.65
TiO <sub>2</sub>	0.37	0.87	0.30	0.55	0.69	0.87	0.50	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.38	20.93	21.30	19.71	20.30	20.02	20.49	19.84
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.09	0.00	0.05	0.01	0.08	0.00	0.00
MgO	1.15	3.85	6.89	0.93	1.62	1.90	3.01	3.03
CaO	8.49	5.60	2.56	9.61	7.76	7.15	6.49	7.28
MnO	2.77	0.24	0.89	1.78	1.10	0.66	2.56	1.07
FeO	30.27	29.93	27.61	28.45	29.03	29.14	27.21	28.90
Na <sub>2</sub> O	0.14	0.10	0.15	0.14	0.18	0.32	0.30	0.08
K <sub>2</sub> O	0.09	0.17	0.05	0.10	0.05	0.07	0.20	0.10
F	0.00	0.07	0.05	0.00	0.16	0.04	0.00	0.03
Summe	100.49	99.07	98.90	98.38	98.33	97.15	100.65	100.14
FeO	28.47	29.93	27.61	27.77	29.03	29.14	27.21	28.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	100.69	99.07	98.90	98.45	98.33	97.15	100.65	100.14
P	0.0056	0.0119	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Si	2.9371	2.9600	3.0128	3.0170	3.0120	3.0029	3.1069	3.0604
Al	0.0000	0.0116	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0164	0.0112	0.0000	0.0402	0.0101	0.0000	0.0078
Summe	2.9427	2.9877	3.0160	3.0172	3.0240	3.0059	3.1069	3.0623
Ti	0.0225	0.0521	0.0180	0.0337	0.0419	0.0537	0.0292	0.0360
Al	1.9279	1.9592	1.9764	1.8929	1.9377	1.9331	1.8888	1.8514
Fe <sup>3+</sup>	0.1207	0.0000	0.0000	0.0468	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr <sup>3+</sup>	0.0058	0.0059	0.0000	0.0035	0.0008	0.0052	0.0000	0.0000
Summe	2.0774	2.0172	1.9976	1.9770	1.9925	2.0079	1.9223	1.9074
Mg	0.1371	0.4585	0.8089	0.1134	0.1950	0.2315	0.3512	0.3576
Ca	0.7298	0.4790	0.2164	0.8387	0.6732	0.6278	0.5435	0.6177
Mn	0.1883	0.0160	0.0592	0.1228	0.0753	0.0456	0.1693	0.0720
Fe <sup>2+</sup>	1.9112	1.9999	1.8182	1.8917	1.9664	1.9967	1.7802	1.9134
Na	0.0222	0.0150	0.0222	0.0228	0.0286	0.0512	0.0456	0.0118
K	0.0089	0.0171	0.0048	0.0106	0.0056	0.0078	0.0200	0.0096
Summe	3.0000	2.9886	2.9761	3.0000	2.9473	2.9630	2.9164	2.9923
Pyrop	0.0457	0.1534	0.2718	0.0378	0.0662	0.0781	0.1204	0.1195
Spessartin	0.0628	0.0054	0.0199	0.0409	0.0255	0.0154	0.0581	0.0241
Almandin	0.6371	0.6692	0.6109	0.6306	0.6672	0.6739	0.6104	0.6394
Grossular	0.1760	0.1369	0.0570	0.2486	0.1917	0.1853	0.1543	0.1933
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0581	0.0000	0.0000	0.0237	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HGrs	0.0000	0.0041	0.0032	0.0002	0.0119	0.0030	0.0000	0.0019
Uwarowit	0.0050	0.0030	0.0000	0.0015	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000



P	30	30	35	40	40	40	45	45	45
T	850	900	675	700	750	900	700	725	750
Probe	GN46A	GN10B	GN21B	GN56B	GN19A	GN06B	GN57A	GN67D	GN40D
Analysennr.	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.29	0.00	0.14	0.00	0.17	0.00	0.00	0.03
SiO <sub>2</sub>	37.17	36.69	37.83	37.01	37.54	36.29	38.39	37.95	37.79
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.74	1.49	0.99	1.31	0.36	1.45	1.79	1.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.67	20.55	20.19	20.65	20.08	19.28	20.97	21.17	21.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.17	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.11	0.06
MgO	0.99	2.31	0.00	0.07	0.02	2.29	0.02	0.06	0.03
CaO	10.96	6.95	33.91	32.15	32.89	5.44	32.92	33.16	31.33
MnO	2.46	1.10	0.66	0.89	1.30	2.12	0.99	0.60	1.73
FeO	27.42	30.52	3.58	4.02	5.85	32.95	3.66	3.19	4.89
Na <sub>2</sub> O	0.17	0.20	0.25	0.17	0.29	0.09	0.24	0.34	0.23
K <sub>2</sub> O	0.04	0.05	0.14	0.57	0.13	0.05	0.38	0.40	0.50
F	0.00	0.00	0.44	1.04	0.00	0.00	0.69	1.20	0.45
Summe	100.35	99.98	98.31	97.81	99.54	99.02	99.55	99.47	98.96
FeO	26.21	29.96	1.54	2.23	2.13	30.55	2.59	2.54	3.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.34	0.62	2.26	1.99	4.14	2.67	1.19	0.73	1.77
Summe	100.48	100.04	98.54	98.01	99.96	99.29	99.67	99.54	99.14
P	0.0011	0.0194	0.0000	0.0089	0.0000	0.0115	0.0000	0.0000	0.0022
Si	2.9639	2.9411	2.9218	2.8787	2.8905	2.9569	2.9273	2.8876	2.9138
Al	0.0000	0.0092	0.0000	0.0000	0.0194	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.1065	0.2568	0.0000	0.0000	0.1674	0.2881	0.1105
Summe	2.9656	2.9707	2.9484	2.9527	2.9103	2.9709	2.9700	2.9596	2.9445
Ti	0.0213	0.0448	0.0866	0.0582	0.0760	0.0220	0.0834	0.1026	0.0592
Al	1.9426	1.9320	1.8383	1.8934	1.8029	1.8494	1.8848	1.8987	1.9158
Fe <sup>3+</sup>	0.0806	0.0372	0.1315	0.1164	0.2398	0.1636	0.0683	0.0415	0.1027
Cr <sup>3+</sup>	0.0042	0.0110	0.0004	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0063	0.0036
Summe	2.0487	2.0326	2.0569	2.0680	2.1196	2.0350	2.0365	2.0491	2.0813
Mg	0.1183	0.2758	0.0000	0.0083	0.0021	0.2776	0.0025	0.0073	0.0031
Ca	0.9366	0.5967	2.8059	2.6793	2.7136	0.4746	2.6897	2.7035	2.5882
Mn	0.1665	0.0744	0.0435	0.0586	0.0845	0.1463	0.0640	0.0385	0.1129
Fe <sup>2+</sup>	1.7475	2.0086	0.0994	0.1449	0.1372	2.0820	0.1653	0.1614	0.2124
Na	0.0269	0.0304	0.0369	0.0252	0.0435	0.0143	0.0361	0.0497	0.0341
K	0.0043	0.0052	0.0142	0.0564	0.0131	0.0053	0.0368	0.0386	0.0493
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0394	0.0919	0.0000	0.0028	0.0007	0.0925	0.0008	0.0024	0.0010
Spessartin	0.0555	0.0248	0.0145	0.0195	0.0282	0.0488	0.0213	0.0128	0.0376
Almandin	0.5825	0.6695	0.0331	0.0483	0.0457	0.6940	0.0551	0.0538	0.0708
Grossular	0.2656	0.1596	0.8282	0.7601	0.7647	0.0719	0.8058	0.7881	0.7713
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0393	0.0183	0.0640	0.0563	0.1131	0.0804	0.0335	0.0203	0.0493
HGrs	0.0006	0.0009	0.0266	0.0651	0.0004	0.0000	0.0427	0.0720	0.0284
Uwarowit	0.0031	0.0057	0.0000	0.0000	0.0072	0.0000	0.0000	0.0037	0.0038

**LVII neugebildete Granate bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	20	25	25	25	25	25
T	750	750	800	775	825	850	875	900
Probe	GN38B	GN55B	GN25C	GN65A	GN27D	GN58B	GN66D	GN04A
Analysenr.	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.02	0.00	0.11	0.35	0.19	0.11	0.00
SiO <sub>2</sub>	36.40	36.77	36.98	37.10	36.30	36.43	37.35	37.14
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.75	1.89	0.04	0.51	0.64	0.84	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.23	20.41	20.03	21.24	19.75	20.95	20.66	20.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.07	0.09	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00
MgO	1.56	2.65	6.08	0.19	1.07	1.99	1.62	4.48
CaO	6.83	3.49	0.69	14.33	12.73	6.44	7.75	1.88
MnO	2.58	0.43	0.67	4.27	1.07	0.68	0.58	0.44
FeO	30.82	34.16	33.18	19.59	25.33	32.06	30.84	34.99
Na <sub>2</sub> O	0.14	0.07	0.26	0.04	0.08	0.25	0.15	0.13
K <sub>2</sub> O	0.02	0.12	0.12	0.14	0.05	0.11	0.02	0.06
F	0.00	0.27	0.10	0.00	0.09	0.00	0.06	0.07
Summe	99.19	99.44	100.44	97.23	97.32	99.75	100.12	99.78
FeO	29.53	34.05	32.02	20.77	24.38	31.33	30.84	33.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.43	0.12	1.29	-1.31	1.06	0.81	0.00	1.63
Summe	99.34	99.45	100.57	97.10	97.43	99.83	100.12	99.94
P	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0242	0.0131	0.0071	0.0000
Si	2.9586	2.9742	2.9239	3.0181	2.9625	2.9313	2.9866	2.9749
Al	0.0000	0.0000	0.0501	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0686	0.0260	0.0000	0.0230	0.0000	0.0142	0.0182
Summe	2.9617	2.9926	2.9805	3.0183	2.9924	2.9444	2.9975	2.9794
Ti	0.0192	0.0454	0.1123	0.0026	0.0314	0.0385	0.0504	0.0164
Al	1.9381	1.9455	1.8166	2.0363	1.8996	1.9864	1.9465	1.9161
Fe <sup>3+</sup>	0.0877	0.0074	0.0767	-0.0804	0.0649	0.0491	0.0000	0.0981
Cr <sup>3+</sup>	0.0076	0.0042	0.0058	0.0107	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.0526	2.0025	2.0199	1.9764	1.9978	2.0740	1.9969	2.0305
Mg	0.1893	0.3199	0.7167	0.0235	0.1305	0.2391	0.1927	0.5346
Ca	0.5950	0.3024	0.0583	1.2492	1.1133	0.5551	0.6639	0.1612
Mn	0.1779	0.0296	0.0447	0.2945	0.0736	0.0464	0.0396	0.0299
Fe <sup>2+</sup>	2.0073	2.3033	2.1174	1.4131	1.6639	2.1083	2.0622	2.2455
Na	0.0217	0.0116	0.0401	0.0055	0.0130	0.0395	0.0234	0.0197
K	0.0021	0.0128	0.0122	0.0141	0.0056	0.0116	0.0020	0.0059
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	2.9936	3.0000
Pyrop	0.0631	0.1066	0.2389	0.0078	0.0435	0.0797	0.0644	0.1782
Spessartin	0.0593	0.0099	0.0149	0.0982	0.0245	0.0155	0.0132	0.0100
Almandin	0.6691	0.7678	0.6407	0.4710	0.5546	0.7028	0.6889	0.7459
Grossular	0.1444	0.0703	0.0000	0.4164	0.3267	0.1541	0.2075	0.0000
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026
Andradit	0.0427	0.0037	0.0000	0.0000	0.0325	0.0237	0.0000	0.0457
HGr	0.0030	0.0171	0.0065	0.0000	0.0057	0.0000	0.0038	0.0046
Uwarowit	0.0049	0.0021	0.0033	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000

P	25	40	40	45
T	900	750	875	775
Probe	GN14A	GN19D	GN52A	GN50C
Analysennr.	1120	1121	1122	1123
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.39	0.02	0.00	0.11
SiO <sub>2</sub>	37.36	37.65	38.89	38.21
TiO <sub>2</sub>	0.77	0.89	0.17	0.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.84	18.81	21.11	21.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.06	0.00	0.00
MgO	4.07	0.03	0.01	0.03
CaO	4.46	30.03	24.86	33.00
MnO	0.62	1.07	0.68	1.12
FeO	30.73	4.88	13.61	4.27
Na <sub>2</sub> O	0.26	0.13	0.16	0.19
K <sub>2</sub> O	0.23	0.16	0.27	0.22
F	0.05	0.00	0.00	0.00
Summe	100.31	93.74	99.76	99.39
FeO	30.50	4.02	12.88	2.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.96	0.81	2.13
Summe	100.33	93.84	99.84	99.60
P	0.0261	0.0000	0.0000	0.0074
Si	2.9578	3.0565	3.0184	2.9291
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077
F	0.0128	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9891	3.0565	3.0184	2.9443
Ti	0.0457	0.0546	0.0098	0.0571
Al	1.9444	1.7999	1.9316	1.8918
Fe <sup>3+</sup>	0.0154	0.0586	0.0475	0.1229
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0036	0.0000	0.0000
Summe	2.0120	1.9181	1.9889	2.0718
Mg	0.4808	0.0034	0.0015	0.0034
Ca	0.3783	2.6119	2.0678	2.7099
Mn	0.0416	0.0736	0.0448	0.0728
Fe <sup>2+</sup>	2.0190	0.2729	0.8358	0.1508
Na	0.0406	0.0210	0.0235	0.0278
K	0.0237	0.0168	0.0265	0.0216
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.1603	0.0011	0.0005	0.0011
Spessartin	0.0139	0.0245	0.0149	0.0243
Almandin	0.6730	0.0910	0.2786	0.0503
Grossular	0.1024	0.8305	0.6639	0.8298
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0077	0.0305	0.0237	0.0593
HGrs	0.0052	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000

**LVIII Zonierter Granate bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O, 25kbar und 900°C**

P	25	25	25	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900	900	900	900
Distanz	0	2	3	5	6	8	9	11
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.10	0.19	0.17	0.14	0.02	0.01	0.00
SiO <sub>2</sub>	36.14	37.38	37.34	37.38	37.44	37.94	37.46	37.80
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.89	0.84	0.64	0.63	0.19	0.16	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.90	20.28	20.43	20.45	20.66	20.84	20.46	20.64
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01	0.05
MgO	4.40	4.13	3.75	3.08	2.31	0.20	0.19	0.23
CaO	6.68	7.41	7.03	7.28	10.50	20.61	20.58	20.70
MnO	0.57	0.39	0.45	0.88	0.94	0.60	0.60	0.63
FeO	24.35	27.03	28.05	28.90	26.67	19.60	19.91	19.89
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.25	0.24	0.21	0.18	0.04	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	0.25	0.03	0.02	0.00	0.03	0.03	0.02	0.03
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	92.61	97.98	98.54	99.03	99.72	100.30	99.43	100.06
FeO	24.21	26.84	27.91	28.62	26.02	18.09	17.97	18.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.21	0.16	0.32	0.72	1.68	2.16	2.10
Summe	92.62	98.00	98.55	99.06	99.79	100.47	99.65	100.27
P	0.0000	0.0021	0.0108	0.0076	0.0096	0.0014	0.0006	0.0000
Si	3.0498	2.9979	2.9892	2.9924	2.9738	2.9717	2.9629	2.9696
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	0.0015	0.0050	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	3.0511	3.0004	3.0000	3.0004	2.9902	2.9755	2.9695	2.9696
Ti	0.0477	0.0535	0.0508	0.0383	0.0379	0.0109	0.0093	0.0033
Al	1.8795	1.9168	1.9277	1.9296	1.9276	1.9223	1.9022	1.9111
Fe <sup>3+</sup>	0.0105	0.0126	0.0094	0.0190	0.0431	0.0989	0.1283	0.1241
Cr <sup>3+</sup>	0.0021	0.0040	0.0018	0.0015	0.0013	0.0000	0.0006	0.0029
Summe	1.9432	1.9919	1.9916	1.9924	2.0099	2.0322	2.0405	2.0414
Mg	0.5531	0.4938	0.4477	0.3679	0.2729	0.0234	0.0227	0.0266
Ca	0.6037	0.6369	0.6028	0.6241	0.8935	1.7300	1.7439	1.7421
Mn	0.0406	0.0267	0.0306	0.0596	0.0634	0.0397	0.0405	0.0421
Fe <sup>2+</sup>	1.7084	1.8000	1.8686	1.9158	1.7285	1.1849	1.1885	1.1827
Na	0.0613	0.0392	0.0375	0.0326	0.0280	0.0061	0.0023	0.0029
K	0.0272	0.0033	0.0025	0.0000	0.0035	0.0033	0.0021	0.0030
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.1830	0.1634	0.1481	0.1219	0.0902	0.0078	0.0075	0.0089
Spessartin	0.0134	0.0089	0.0101	0.0198	0.0210	0.0132	0.0135	0.0140
Almandin	0.5654	0.5957	0.6180	0.6349	0.5715	0.3940	0.3949	0.3946
Grossular	0.1912	0.2002	0.1930	0.1955	0.2722	0.5250	0.5139	0.5162
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0063	0.0083	0.0056	0.0102	0.0222	0.0495	0.0645	0.0635
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0011	0.0020	0.0009	0.0007	0.0006	0.0000	0.0003	0.0015

P	25	25	25	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900	900	900	900
Distanz	12	14	15	17	18	20	21	23
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.01	0.06	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.90	37.89	37.58	38.08	37.75	37.97	37.55	37.70
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.09	0.11	0.09	0.07	0.08	0.16	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.46	20.56	20.57	20.65	20.55	20.64	20.50	20.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00	0.09	0.08
MgO	0.18	0.20	0.24	0.25	0.19	0.20	0.23	0.18
CaO	20.51	20.33	20.15	20.35	20.05	20.29	20.39	20.41
MnO	0.63	0.56	0.51	0.55	0.60	0.53	0.64	0.55
FeO	20.23	19.82	19.93	20.24	20.30	20.33	19.96	20.03
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	100.14	99.68	99.21	100.28	99.79	100.21	99.76	99.93
FeO	18.39	18.32	18.43	18.68	18.72	18.67	18.13	18.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.05	1.67	1.66	1.74	1.76	1.84	2.04	1.90
Summe	100.35	99.85	99.38	100.45	99.97	100.40	99.96	100.12
P	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0063	0.0009	0.0040	0.0000
Si	2.9769	2.9878	2.9772	2.9846	2.9757	2.9804	2.9618	2.9688
Al	0.0085	0.0006	0.0056	0.0046	0.0000	0.0036	0.0061	0.0068
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9858	2.9894	2.9844	2.9892	2.9826	2.9850	2.9723	2.9756
Ti	0.0117	0.0052	0.0066	0.0052	0.0041	0.0048	0.0097	0.0089
Al	1.8860	1.9095	1.9149	1.9028	1.9094	1.9060	1.8994	1.9063
Fe <sup>3+</sup>	0.1212	0.0993	0.0990	0.1024	0.1042	0.1089	0.1209	0.1124
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0037	0.0000	0.0056	0.0049
Summe	2.0189	2.0141	2.0205	2.0144	2.0214	2.0197	2.0356	2.0325
Mg	0.0214	0.0232	0.0282	0.0293	0.0226	0.0239	0.0273	0.0214
Ca	1.7258	1.7172	1.7102	1.7088	1.6934	1.7062	1.7232	1.7218
Mn	0.0419	0.0376	0.0345	0.0368	0.0403	0.0353	0.0430	0.0369
Fe <sup>2+</sup>	1.2077	1.2077	1.2211	1.2245	1.2340	1.2255	1.1955	1.2065
Na	0.0025	0.0004	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0006	0.0000
K	0.0007	0.0042	0.0010	0.0006	0.0010	0.0012	0.0030	0.0021
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0071	0.0077	0.0094	0.0097	0.0075	0.0079	0.0091	0.0071
Spessartin	0.0139	0.0125	0.0115	0.0123	0.0134	0.0117	0.0143	0.0123
Almandin	0.4005	0.4021	0.4058	0.4080	0.4118	0.4076	0.3982	0.4016
Grossular	0.5116	0.5211	0.5182	0.5142	0.5087	0.5132	0.5074	0.5121
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0606	0.0497	0.0495	0.0532	0.0540	0.0544	0.0632	0.0586
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0019	0.0000	0.0028	0.0025

P	25	25	25	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900	900	900	900
Distanz	24	26	27	29	30	32	33	35
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04	0.08
SiO <sub>2</sub>	37.70	36.76	37.38	38.13	37.75	37.92	37.67	38.04
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.15	0.12	0.12	0.19	0.00	0.11	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.56	19.86	20.17	20.69	20.61	20.74	20.59	20.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.07	0.03	0.03	0.00	0.05	0.09
MgO	0.16	0.20	0.23	0.21	0.21	0.17	0.21	0.21
CaO	20.09	19.62	20.45	20.72	20.37	20.16	20.03	20.48
MnO	0.53	0.58	0.55	0.64	0.59	0.62	1.43	0.65
FeO	20.56	20.32	19.87	20.33	19.94	20.14	19.57	20.37
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.78	97.64	99.04	100.93	99.77	99.96	99.83	100.59
FeO	18.72	18.24	17.83	18.41	18.35	18.59	17.87	18.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04	2.31	2.27	2.14	1.77	1.72	1.90	1.98
Summe	99.98	97.87	99.27	101.14	99.95	100.13	100.02	100.79
P	0.0000	0.0014	0.0020	0.0009	0.0000	0.0000	0.0029	0.0053
Si	2.9744	2.9668	2.9695	2.9715	2.9741	2.9832	2.9695	2.9745
Al	0.0000	0.0019	0.0046	0.0022	0.0063	0.0000	0.0022	0.0074
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9745	2.9709	2.9762	2.9752	2.9804	2.9832	2.9746	2.9873
Ti	0.0020	0.0091	0.0074	0.0068	0.0114	0.0000	0.0065	0.0080
Al	1.9122	1.8869	1.8836	1.8982	1.9076	1.9230	1.9105	1.8850
Fe <sup>3+</sup>	0.1211	0.1401	0.1354	0.1257	0.1052	0.1018	0.1126	0.1164
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0022	0.0047	0.0020	0.0020	0.0000	0.0034	0.0057
Summe	2.0353	2.0384	2.0311	2.0328	2.0262	2.0248	2.0329	2.0152
Mg	0.0191	0.0237	0.0267	0.0239	0.0251	0.0202	0.0248	0.0246
Ca	1.6983	1.6964	1.7406	1.7298	1.7194	1.6990	1.6916	1.7158
Mn	0.0355	0.0398	0.0372	0.0422	0.0394	0.0415	0.0957	0.0430
Fe <sup>2+</sup>	1.2354	1.2311	1.1848	1.1995	1.2088	1.2230	1.1779	1.2161
Na	0.0041	0.0063	0.0010	0.0047	0.0027	0.0039	0.0029	0.0000
K	0.0019	0.0009	0.0017	0.0000	0.0024	0.0033	0.0015	0.0006
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0064	0.0079	0.0089	0.0080	0.0083	0.0067	0.0082	0.0082
Spessartin	0.0118	0.0133	0.0124	0.0140	0.0131	0.0138	0.0319	0.0143
Almandin	0.4116	0.4099	0.3947	0.3994	0.4017	0.4077	0.3926	0.4049
Grossular	0.5053	0.4919	0.5075	0.5106	0.5169	0.5155	0.5042	0.5075
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0605	0.0712	0.0701	0.0639	0.0536	0.0509	0.0580	0.0611
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0011	0.0023	0.0010	0.0010	0.0000	0.0017	0.0028

P	25	25	25	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900	900	900	900
Distanz	36	38	39	41	42	44	45	47
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.81	37.94	37.86	37.70	37.89	37.81	37.98	37.52
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.14	0.22	0.10	0.16	0.18	0.09	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.71	20.61	20.45	20.33	20.53	20.48	20.43	20.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
MgO	0.19	0.18	0.21	0.20	0.21	0.18	0.22	0.20
CaO	20.39	20.20	20.58	20.98	20.99	20.62	20.71	20.59
MnO	0.54	1.53	0.87	0.68	0.59	0.61	0.60	0.50
FeO	20.18	19.56	19.72	20.10	19.71	20.10	20.06	19.85
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.02	0.04
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.98	100.36	100.20	100.26	100.20	100.02	100.24	99.44
FeO	18.50	17.86	17.87	17.54	17.69	18.21	18.09	17.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.86	1.89	2.07	2.84	2.25	2.10	2.19	2.11
Summe	100.16	100.55	100.41	100.54	100.43	100.23	100.46	99.65
P	0.0000	0.0009	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000
Si	2.9733	2.9755	2.9726	2.9594	2.9708	2.9736	2.9786	2.9668
Al	0.0000	0.0063	0.0110	0.0000	0.0000	0.0084	0.0008	0.0002
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9735	2.9827	2.9869	2.9602	2.9708	2.9820	2.9824	2.9676
Ti	0.0061	0.0085	0.0129	0.0057	0.0093	0.0106	0.0052	0.0081
Al	1.9192	1.8988	1.8812	1.8814	1.8971	1.8894	1.8878	1.9067
Fe <sup>3+</sup>	0.1101	0.1116	0.1221	0.1675	0.1328	0.1241	0.1294	0.1257
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0038	0.0006	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0027
Summe	2.0355	2.0227	2.0168	2.0548	2.0393	2.0240	2.0225	2.0432
Mg	0.0225	0.0211	0.0248	0.0237	0.0240	0.0206	0.0260	0.0238
Ca	1.7182	1.6973	1.7308	1.7644	1.7635	1.7376	1.7400	1.7441
Mn	0.0360	0.1015	0.0576	0.0455	0.0393	0.0409	0.0399	0.0337
Fe <sup>2+</sup>	1.2169	1.1715	1.1729	1.1519	1.1599	1.1979	1.1861	1.1867
Na	0.0055	0.0000	0.0000	0.0045	0.0088	0.0000	0.0029	0.0056
K	0.0008	0.0022	0.0019	0.0063	0.0014	0.0022	0.0016	0.0023
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0075	0.0070	0.0082	0.0079	0.0080	0.0068	0.0086	0.0079
Spessartin	0.0120	0.0338	0.0191	0.0152	0.0131	0.0136	0.0133	0.0112
Almandin	0.4052	0.3898	0.3887	0.3836	0.3860	0.3974	0.3949	0.3955
Grossular	0.5169	0.5053	0.5112	0.5029	0.5206	0.5146	0.5141	0.5153
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0551	0.0577	0.0614	0.0838	0.0664	0.0620	0.0648	0.0642
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0019	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0013

P	25	25	25	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900	900	900	900
Distanz	48	50	51	53	54	56	57	59
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
SiO <sub>2</sub>	37.84	37.64	37.49	38.84	35.92	38.08	37.21	37.24
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.23	0.16	0.15	0.11	0.25	0.13	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.36	20.35	20.56	20.49	19.11	20.75	20.25	20.74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.02	0.04	0.00	0.01	0.04	0.00
MgO	0.22	0.21	0.21	0.88	1.18	0.24	0.31	2.91
CaO	20.63	20.83	21.01	16.74	14.35	20.54	20.10	8.34
MnO	0.51	0.56	0.41	0.56	0.52	0.53	0.53	1.17
FeO	19.68	19.82	19.76	21.54	22.13	20.35	19.87	29.25
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.00	0.10	0.09	0.00	0.00	0.13
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.04	0.20	0.25	0.01	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.47	99.73	99.83	99.58	93.96	100.78	98.51	100.41
FeO	17.91	17.83	17.64	21.39	20.90	18.65	18.08	27.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.97	2.22	2.36	0.17	1.38	1.89	1.99	1.69
Summe	99.67	99.96	100.07	99.60	94.09	100.97	98.71	100.58
P	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.0017
Si	2.9877	2.9669	2.9527	3.0611	3.0162	2.9712	2.9696	2.9504
Al	0.0000	0.0110	0.0052	0.0000	0.0000	0.0137	0.0064	0.0033
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9877	2.9781	2.9589	3.0614	3.0172	2.9848	2.9783	2.9555
Ti	0.0041	0.0138	0.0094	0.0089	0.0070	0.0145	0.0078	0.0246
Al	1.8942	1.8799	1.9040	1.9028	1.8915	1.8942	1.8982	1.9336
Fe <sup>3+</sup>	0.1170	0.1316	0.1397	0.0102	0.0869	0.1111	0.1197	0.1007
Cr <sup>3+</sup>	0.0018	0.0038	0.0014	0.0022	0.0000	0.0005	0.0025	0.0000
Summe	2.0171	2.0291	2.0545	1.9257	1.9875	2.0202	2.0282	2.0588
Mg	0.0262	0.0251	0.0241	0.1033	0.1478	0.0282	0.0367	0.3438
Ca	1.7454	1.7596	1.7730	1.4136	1.2908	1.7172	1.7189	0.7083
Mn	0.0339	0.0372	0.0277	0.0372	0.0366	0.0350	0.0357	0.0785
Fe <sup>2+</sup>	1.1823	1.1753	1.1621	1.4097	1.4673	1.2168	1.2065	1.8375
Na	0.0037	0.0016	0.0000	0.0154	0.0154	0.0000	0.0004	0.0199
K	0.0024	0.0012	0.0042	0.0197	0.0272	0.0008	0.0010	0.0013
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0087	0.0083	0.0080	0.0344	0.0492	0.0093	0.0122	0.1140
Spessartin	0.0113	0.0123	0.0092	0.0124	0.0122	0.0116	0.0119	0.0260
Almandin	0.3942	0.3900	0.3863	0.4697	0.4885	0.4027	0.4012	0.6091
Grossular	0.5216	0.5144	0.5182	0.4634	0.3853	0.5127	0.5094	0.1847
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0594	0.0677	0.0705	0.0062	0.0435	0.0558	0.0611	0.0503
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0009	0.0019	0.0007	0.0011	0.0000	0.0002	0.0012	0.0000



P	25	25	25	25	25
T	900	900	900	900	900
Distanz	60	62	63	65	66
Probe	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D	GN14D
Analysennr.	1164	1165	1166	1167	1168
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.10	0.13	0.17	0.16
SiO <sub>2</sub>	37.38	37.19	37.17	37.50	37.43
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.53	0.59	0.66	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.72	20.52	20.53	20.63	20.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03
MgO	2.98	3.03	3.12	3.56	3.78
CaO	7.43	7.14	6.93	6.77	6.84
MnO	1.12	0.81	0.70	0.52	0.49
FeO	29.53	29.70	29.26	29.52	28.55
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.12	0.16	0.21	0.21
K <sub>2</sub> O	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	100.06	99.28	98.64	99.73	98.86
FeO	28.67	29.03	29.04	28.94	28.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.95	0.75	0.24	0.64	0.42
Summe	100.15	99.35	98.67	99.80	98.90
P	0.0111	0.0067	0.0089	0.0114	0.0101
Si	2.9707	2.9777	2.9888	2.9781	2.9899
Al	0.0015	0.0103	0.0017	0.0041	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9833	2.9953	2.9995	2.9935	3.0000
Ti	0.0226	0.0320	0.0358	0.0397	0.0389
Al	1.9393	1.9263	1.9442	1.9268	1.9290
Fe <sup>3+</sup>	0.0567	0.0453	0.0148	0.0383	0.0252
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0005	0.0008	0.0000	0.0018
Summe	2.0186	2.0040	1.9956	2.0048	1.9956
Mg	0.3534	0.3615	0.3743	0.4213	0.4507
Ca	0.6324	0.6129	0.5973	0.5764	0.5857
Mn	0.0756	0.0549	0.0479	0.0350	0.0334
Fe <sup>2+</sup>	1.9055	1.9439	1.9526	1.9222	1.8824
Na	0.0195	0.0180	0.0254	0.0322	0.0328
K	0.0016	0.0037	0.0025	0.0034	0.0045
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.1173	0.1194	0.1240	0.1393	0.1494
Spessartin	0.0251	0.0181	0.0159	0.0116	0.0111
Almandin	0.6324	0.6423	0.6468	0.6355	0.6239
Grossular	0.1817	0.1790	0.1895	0.1715	0.1798
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0283	0.0229	0.0078	0.0192	0.0135
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0002	0.0004	0.0000	0.0009

**LIX Granatrelikte und Kerne bei 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	25	25
T	750	750	775	825	850	875	900	900
Probe	GN38C	GN55C	GN65D	GN27A	GN58C	GN66B	GN04D	GN14D
Analysennr.	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.14	0.00	0.05	0.09	0.10	0.01
SiO <sub>2</sub>	37.48	36.67	37.34	38.00	37.12	37.94	37.18	37.61
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.19	0.13	0.26	0.17	0.11	0.13	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.92	20.26	20.47	20.22	20.34	20.73	20.85	20.10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.02
MgO	0.29	0.15	0.16	0.19	0.11	0.21	0.28	0.14
CaO	19.46	18.56	17.70	20.85	18.35	19.95	16.26	21.15
MnO	0.91	3.87	3.12	0.62	3.66	0.78	2.31	1.07
FeO	19.77	18.68	18.95	19.84	17.74	21.05	22.60	19.43
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.07	0.00	0.10	0.09	0.04	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0.14	0.01	0.12	0.03	0.03	0.00	0.04	0.00
F	0.15	0.00	0.00	0.11	0.00	0.04	0.04	0.00
Summe	98.32	98.72	98.13	100.38	97.90	101.24	99.97	100.10
FeO	18.20	17.03	18.35	17.84	16.80	19.29	21.62	17.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.74	1.83	0.66	2.22	1.05	1.96	1.08	2.55
Summe	98.49	99.53	98.19	100.81	98.10	101.76	100.41	100.63
P	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0036	0.0057	0.0067	0.0009
Si	2.9965	2.9051	2.9999	2.9642	2.9831	2.9374	2.9327	2.9437
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0379	0.0000	0.0000	0.0264	0.0000	0.0096	0.0110	0.0000
Summe	3.0076	2.9889	3.0000	2.9976	3.0011	2.9877	2.9870	2.9795
Ti	0.0109	0.0115	0.0079	0.0153	0.0102	0.0062	0.0077	0.0161
Al	1.8773	1.8914	1.9378	1.8587	1.9263	1.8913	1.9386	1.8543
Fe <sup>3+</sup>	0.1046	0.1094	0.0402	0.1300	0.0632	0.1140	0.0642	0.1504
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0043	0.0011
Summe	1.9929	2.0149	1.9952	2.0040	1.9997	2.0142	2.0148	2.0219
Mg	0.0340	0.0182	0.0189	0.0216	0.0131	0.0241	0.0328	0.0161
Ca	1.6670	1.5758	1.5236	1.7427	1.5802	1.6547	1.3745	1.7736
Mn	0.0618	0.2598	0.2122	0.0410	0.2494	0.0511	0.1543	0.0710
Fe <sup>2+</sup>	1.2171	1.1286	1.2330	1.1638	1.1288	1.2490	1.4264	1.1211
Na	0.0061	0.0106	0.0000	0.0145	0.0147	0.0053	0.0033	0.0008
K	0.0140	0.0012	0.0123	0.0032	0.0027	0.0000	0.0036	0.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0113	0.0061	0.0063	0.0072	0.0044	0.0080	0.0109	0.0054
Spessartin	0.0206	0.0866	0.0707	0.0137	0.0831	0.0170	0.0514	0.0237
Almandin	0.4057	0.3762	0.4110	0.3879	0.3763	0.4164	0.4755	0.3737
Grossular	0.4905	0.3836	0.4865	0.4799	0.4790	0.4476	0.3750	0.4778
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0523	0.0543	0.0201	0.0649	0.0316	0.0566	0.0319	0.0744
HGrS	0.0111	0.0837	0.0000	0.0334	0.0144	0.0446	0.0476	0.0349
Uwarowit	0.0000	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0024	0.0014



P	35	40	40	45
T	900	700	825	700
Probe	GN34A	GN56D	GN54A	GN57C
Analysennr.	1185	1186	1187	1188
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.10	0.06	0.02
SiO <sub>2</sub>	37.25	36.97	36.89	37.84
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.35	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.24	20.39	20.83	20.70
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.18	0.00	0.11
MgO	0.63	0.04	0.17	0.07
CaO	14.80	19.91	15.23	23.77
MnO	1.61	3.31	4.70	2.21
FeO	21.91	15.99	20.03	15.16
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.00	0.04	0.05
K <sub>2</sub> O	0.06	0.10	0.17	0.18
F	0.00	0.05	0.00	0.18
Summe	97.20	97.45	98.12	100.29
FeO	21.91	15.38	19.44	12.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.68	0.66	2.63
Summe	97.20	97.52	98.19	100.55
P	0.0000	0.0070	0.0044	0.0012
Si	3.0232	2.9779	2.9822	2.9473
Al	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0127	0.0000	0.0443
Summe	3.0232	2.9897	2.9866	2.9596
Ti	0.0297	0.0214	0.0000	0.0008
Al	1.9358	1.9340	1.9846	1.8997
Fe <sup>3+</sup>	0.0000	0.0410	0.0399	0.1539
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0117	0.0000	0.0070
Summe	1.9724	2.0081	2.0245	2.0615
Mg	0.0758	0.0046	0.0206	0.0085
Ca	1.2873	1.7186	1.3189	1.9832
Mn	0.1104	0.2258	0.3219	0.1457
Fe <sup>2+</sup>	1.4874	1.0361	1.3144	0.8334
Na	0.0161	0.0000	0.0061	0.0073
K	0.0066	0.0103	0.0180	0.0176
Summe	2.9845	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0254	0.0015	0.0069	0.0028
Spessartin	0.0370	0.0753	0.1073	0.0486
Almandin	0.4984	0.3454	0.4381	0.2778
Grossular	0.4212	0.5391	0.4197	0.5694
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0000	0.0204	0.0197	0.0747
HGr <sub>s</sub>	0.0000	0.0034	0.0000	0.0111
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

**LX Granatrelikte und Kerne bei 5.6 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	20	25	25	25	25	25
T	750	750	800	700	775	850	875	900
Probe	GN38D	GN55D	GN25B	GN63A	GN65C	GN58D	GN66A	GN04C
Analysenr.	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.07	0.00	0.05	0.00	0.10	0.03
SiO <sub>2</sub>	36.80	36.52	38.67	37.17	37.98	37.56	37.14	37.43
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.12	0.12	0.01	0.23	0.23	0.21	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.11	20.98	20.43	20.25	20.02	19.83	20.13	20.78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	0.10	0.10	0.03	0.00	0.00	0.13	0.06
MgO	0.15	0.15	0.13	0.18	0.15	0.13	0.18	0.18
CaO	19.53	19.17	18.18	20.02	18.68	19.45	19.33	19.70
MnO	2.52	0.40	2.02	0.73	2.52	1.97	2.12	0.72
FeO	18.57	20.51	19.00	20.50	17.22	17.75	19.75	21.13
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.07	0.07	0.02	0.06	0.01	0.03	0.00
K <sub>2</sub> O	0.08	0.03	0.25	0.11	0.10	0.04	0.00	0.01
F	0.01	0.09	0.04	0.11	0.00	0.15	0.16	0.17
Summe	98.44	98.39	99.35	99.36	97.31	97.30	99.40	100.61
FeO	16.50	19.09	19.00	18.04	17.22	17.04	17.73	19.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.29	1.58	0.00	2.73	0.00	0.79	2.25	2.01
Summe	98.67	98.55	99.35	99.64	97.31	97.38	99.63	100.82
P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	0.0023
Si	2.9508	2.9273	3.0585	2.9505	3.0603	3.0284	2.9500	2.9388
Al	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0048
F	0.0018	0.0233	0.0108	0.0271	0.0000	0.0395	0.0409	0.0422
Summe	2.9534	2.9341	3.0621	2.9582	3.0603	3.0383	2.9693	2.9564
Ti	0.0165	0.0070	0.0072	0.0006	0.0140	0.0137	0.0123	0.0056
Al	1.8977	1.9818	1.9041	1.8947	1.9018	1.8846	1.8823	1.9183
Fe <sup>3+</sup>	0.1382	0.0956	0.0000	0.1632	0.0000	0.0480	0.1343	0.1187
Cr <sup>3+</sup>	0.0097	0.0061	0.0062	0.0019	0.0000	0.0000	0.0079	0.0038
Summe	2.0622	2.0906	1.9263	2.0604	1.9193	1.9462	2.0368	2.0558
Mg	0.0176	0.0184	0.0158	0.0214	0.0185	0.0157	0.0218	0.0208
Ca	1.6773	1.6462	1.5402	1.7023	1.6126	1.6805	1.6451	1.6574
Mn	0.1711	0.0271	0.1355	0.0488	0.1719	0.1342	0.1427	0.0478
Fe <sup>2+</sup>	1.1066	1.2795	1.2566	1.1974	1.1606	1.1493	1.1775	1.2685
Na	0.0061	0.0115	0.0114	0.0031	0.0101	0.0015	0.0046	0.0000
K	0.0083	0.0036	0.0256	0.0115	0.0099	0.0040	0.0000	0.0008
Summe	3.0000	3.0000	2.9945	3.0000	2.9998	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0059	0.0061	0.0053	0.0071	0.0062	0.0052	0.0073	0.0069
Spessartin	0.0570	0.0090	0.0453	0.0163	0.0573	0.0447	0.0476	0.0159
Almandin	0.3689	0.4265	0.4197	0.3991	0.3869	0.3831	0.3925	0.4228
Grossular	0.4812	0.4900	0.5040	0.4771	0.5352	0.5240	0.4643	0.4749
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0670	0.0457	0.0000	0.0792	0.0000	0.0240	0.0659	0.0577
HGrs	0.0004	0.0067	0.0036	0.0077	0.0000	0.0099	0.0102	0.0106
Uwarowit	0.0070	0.0051	0.0031	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



P	40	45	45	45
T	1000	700	725	750
Probe	GN60A	GN57B	GN67C	GN40C
Analysennr.	1205	1206	1207	1208
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.00	0.00	0.17
SiO <sub>2</sub>	36.86	37.65	37.51	37.16
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.16	0.28	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.11	19.80	19.93	19.96
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.03
MgO	0.89	0.12	0.17	0.09
CaO	12.39	19.42	20.01	22.59
MnO	1.80	4.23	2.22	1.68
FeO	25.46	17.57	17.67	16.87
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.01	0.01	0.11
K <sub>2</sub> O	0.10	0.01	0.16	0.21
F	0.00	0.00	0.00	0.07
Summe	99.15	99.24	98.04	99.47
FeO	24.81	15.50	16.25	14.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.73	2.30	1.58	3.10
Summe	99.23	99.47	98.20	99.78
P	0.0081	0.0000	0.0000	0.0112
Si	2.9579	2.9937	3.0050	2.9296
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0182
Summe	2.9667	2.9955	3.0050	2.9453
Ti	0.0103	0.0098	0.0167	0.0311
Al	1.9963	1.8559	1.8816	1.8546
Fe <sup>3+</sup>	0.0439	0.1377	0.0954	0.1841
Cr <sup>3+</sup>	0.0009	0.0000	0.0000	0.0017
Summe	2.0514	2.0034	1.9937	2.0714
Mg	0.1059	0.0138	0.0202	0.0111
Ca	1.0653	1.6551	1.7178	1.9083
Mn	0.1225	0.2847	0.1504	0.1124
Fe <sup>2+</sup>	1.6647	1.0310	1.0887	0.9281
Na	0.0296	0.0008	0.0015	0.0167
K	0.0097	0.0012	0.0161	0.0212
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0353	0.0046	0.0067	0.0037
Spessartin	0.0408	0.0949	0.0501	0.0375
Almandin	0.5549	0.3437	0.3629	0.3094
Grossular	0.3303	0.4794	0.5221	0.5335
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0214	0.0687	0.0477	0.0889
HGr <sub>s</sub>	0.0007	0.0018	0.0000	0.0046
Uwarowit	0.0010	0.0000	0.0000	0.0040

**LXI Granatrelikte und Kerne bei 3.8 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	25	25
T	750	750	675	700	725	775	825	850
Probe	GN38A	GN55A	GN62B	GN63B	GN64B	GN65B	GN27C	GN58A
Analysenr.	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.03	0.09	0.00	0.00	0.10	0.23	0.03
SiO <sub>2</sub>	36.93	37.00	37.02	36.46	37.89	37.45	37.40	37.21
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.14	0.06	0.15	0.00	0.12	0.37	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.39	20.29	21.03	20.21	20.34	19.97	20.92	20.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.11	0.23	0.00
MgO	0.19	0.12	0.16	0.13	0.19	0.11	0.77	0.13
CaO	19.96	19.90	18.80	18.23	20.57	18.57	13.07	19.05
MnO	1.08	1.43	1.51	2.80	0.87	3.05	1.59	2.94
FeO	20.59	19.22	19.97	20.39	19.44	17.04	25.62	20.04
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.01	0.17	0.09
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.16	0.12	0.02	0.04	0.04	0.00
F	0.11	0.04	0.00	0.00	0.10	0.00	0.07	0.00
Summe	99.66	98.41	98.94	98.54	99.67	96.79	100.67	99.89
FeO	18.06	17.39	18.78	17.92	17.79	16.84	25.02	17.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.81	2.04	1.32	2.74	1.83	0.21	0.66	2.85
Summe	99.94	98.61	99.07	98.82	99.85	96.81	100.74	100.17
P	0.0000	0.0023	0.0063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	0.0023
Si	2.9266	2.9605	2.9498	2.9328	2.9874	3.0381	2.9574	2.9469
Al	0.0103	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0263	0.0111	0.0000	0.0000	0.0244	0.0000	0.0180	0.0000
Summe	2.9448	2.9666	2.9561	2.9328	2.9935	3.0381	2.9784	2.9492
Ti	0.0110	0.0081	0.0035	0.0093	0.0000	0.0074	0.0219	0.0081
Al	1.8945	1.9130	1.9751	1.9157	1.8900	1.9093	1.9497	1.8911
Fe <sup>3+</sup>	0.1678	0.1227	0.0790	0.1659	0.1088	0.0130	0.0393	0.1697
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0104	0.0072	0.0144	0.0000
Summe	2.0736	2.0438	2.0615	2.0909	2.0092	1.9441	2.0264	2.0689
Mg	0.0225	0.0144	0.0191	0.0157	0.0228	0.0128	0.0909	0.0149
Ca	1.6951	1.7062	1.6047	1.5711	1.7377	1.6146	1.1069	1.6161
Mn	0.0724	0.0968	0.1018	0.1910	0.0579	0.2098	0.1068	0.1974
Fe <sup>2+</sup>	1.1969	1.1633	1.2516	1.2058	1.1728	1.1428	1.6548	1.1578
Na	0.0000	0.0054	0.0067	0.0008	0.0000	0.0023	0.0260	0.0139
K	0.0007	0.0020	0.0162	0.0124	0.0016	0.0040	0.0044	0.0000
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0075	0.0048	0.0064	0.0052	0.0076	0.0043	0.0303	0.0050
Spessartin	0.0241	0.0323	0.0339	0.0637	0.0193	0.0699	0.0356	0.0658
Almandin	0.3990	0.3878	0.4172	0.4019	0.3909	0.3809	0.5516	0.3859
Grossular	0.4679	0.5028	0.4942	0.4392	0.5135	0.5268	0.3325	0.4525
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0809	0.0600	0.0383	0.0793	0.0542	0.0067	0.0194	0.0820
HGrs	0.0079	0.0030	0.0000	0.0000	0.0061	0.0000	0.0054	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000



P	25	25	25	30	30	30	30	30
T	875	900	900	675	725	850	875	900
Probe	GN66C	GN04B	GN14B	GN18B	GN48C	GN46A	GN45B	GN10B
Analysennr.	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.15	0.00	0.04	0.08	0.13	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.27	36.68	36.46	36.86	36.19	37.56	36.82	37.16
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.32	0.05	0.13	0.24	0.23	0.09	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.18	20.39	20.56	19.53	20.29	20.20	20.45	20.34
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.05	0.00	0.00	0.10	0.08	0.00	0.10
MgO	0.19	1.34	0.30	0.13	0.17	0.16	0.21	0.14
CaO	20.69	13.25	16.37	18.40	20.00	18.85	19.92	18.41
MnO	0.76	1.88	3.12	2.93	1.64	3.67	0.96	3.76
FeO	19.85	25.24	21.41	18.55	19.37	19.28	19.98	19.34
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.16	0.02	0.02	0.07	0.00	0.06	0.04
K <sub>2</sub> O	0.13	0.06	0.00	0.08	0.05	0.01	0.11	0.01
F	0.23	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.40	0.00
Summe	99.42	99.98	98.47	96.70	98.82	100.73	98.95	99.42
FeO	17.46	23.29	19.75	17.02	16.97	16.95	17.83	17.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65	2.17	1.84	1.71	2.67	2.59	2.38	2.28
Summe	99.69	100.20	98.66	96.87	99.09	100.99	99.19	99.65
P	0.0000	0.0102	0.0000	0.0000	0.0053	0.0088	0.0000	0.0000
Si	2.9497	2.9238	2.9429	3.0053	2.8889	2.9534	2.9291	2.9578
Al	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0122	0.0000	0.0000
F	0.0568	0.0000	0.0000	0.0000	0.1356	0.0000	0.1001	0.0000
Summe	2.9646	2.9340	2.9433	3.0053	2.9280	2.9745	2.9541	2.9578
Ti	0.0065	0.0193	0.0029	0.0078	0.0146	0.0133	0.0051	0.0061
Al	1.8822	1.9149	1.9556	1.8770	1.9091	1.8594	1.9169	1.9078
Fe <sup>3+</sup>	0.1579	0.1303	0.1116	0.1046	0.1602	0.1532	0.1426	0.1366
Cr <sup>3+</sup>	0.0027	0.0034	0.0000	0.0000	0.0062	0.0052	0.0000	0.0062
Summe	2.0493	2.0845	2.0757	1.9924	2.0946	2.0311	2.0659	2.0567
Mg	0.0225	0.1590	0.0355	0.0161	0.0201	0.0183	0.0254	0.0169
Ca	1.7545	1.1313	1.4153	1.6072	1.7107	1.5881	1.6975	1.5701
Mn	0.0509	0.1267	0.2134	0.2026	0.1111	0.2441	0.0650	0.2537
Fe <sup>2+</sup>	1.1555	1.5522	1.3333	1.1604	1.1331	1.1144	1.1864	1.1506
Na	0.0000	0.0252	0.0025	0.0038	0.0111	0.0000	0.0096	0.0060
K	0.0128	0.0056	0.0000	0.0084	0.0049	0.0011	0.0110	0.0013
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0075	0.0530	0.0118	0.0054	0.0067	0.0061	0.0085	0.0056
Spessartin	0.0170	0.0422	0.0711	0.0675	0.0370	0.0814	0.0217	0.0846
Almandin	0.3852	0.5174	0.4444	0.3868	0.3777	0.3715	0.3955	0.3835
Grossular	0.4886	0.3026	0.4126	0.4821	0.4484	0.4439	0.4684	0.4510
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0771	0.0625	0.0538	0.0523	0.0765	0.0754	0.0690	0.0664
HGrs	0.0149	0.0000	0.0000	0.0000	0.0339	0.0000	0.0250	0.0000
Uwarowit	0.0032	0.0028	0.0000	0.0000	0.0052	0.0038	0.0000	0.0050

P	35	40	40	45	45	45	45
T	675	700	750	700	725	750	900
Probe	GN21B	GN56B	GN19A	GN57A	GN67D	GN40D	GN12B
Analysennr.	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	0.08	0.00
SiO <sub>2</sub>	38.19	37.04	37.08	37.63	37.46	37.33	38.14
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.00	0.28	0.06	0.27	0.19	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.99	20.11	20.80	20.10	20.41	20.53	20.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
MgO	0.08	0.23	0.18	0.09	0.21	0.16	0.15
CaO	23.81	20.69	21.19	18.68	20.85	20.57	17.30
MnO	0.84	0.41	0.81	2.25	0.86	0.41	3.51
FeO	15.17	18.46	19.07	19.07	17.48	19.05	19.02
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.09	0.00	0.04	0.01	0.00	0.80
K <sub>2</sub> O	0.10	0.38	0.08	0.24	0.19	0.27	0.02
F	0.00	0.56	0.07	0.00	0.52	0.40	0.00
Summe	98.90	98.04	99.92	98.27	98.23	98.98	99.39
FeO	13.60	16.61	17.13	17.85	16.68	17.69	17.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.74	2.05	2.16	1.36	0.89	1.51	1.88
Summe	99.07	98.25	100.14	98.41	98.32	99.13	99.58
P	0.0000	0.0070	0.0067	0.0000	0.0000	0.0057	0.0000
Si	3.0064	2.9575	2.9194	3.0166	2.9809	2.9575	3.0220
Al	0.0000	0.0000	0.0084	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.1417	0.0184	0.0000	0.1316	0.1012	0.0000
Summe	3.0071	2.9998	2.9414	3.0166	3.0138	2.9885	3.0221
Ti	0.0304	0.0000	0.0163	0.0034	0.0160	0.0113	0.0055
Al	1.8549	1.8926	1.9218	1.8989	1.9142	1.9172	1.8920
Fe <sup>3+</sup>	0.1029	0.1231	0.1277	0.0821	0.0532	0.0903	0.1123
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000	0.0000	0.0005
Summe	1.9883	2.0157	2.0739	1.9871	1.9834	2.0188	2.0103
Mg	0.0099	0.0272	0.0214	0.0103	0.0244	0.0184	0.0180
Ca	2.0088	1.7698	1.7880	1.6049	1.7777	1.7457	1.4683
Mn	0.0561	0.0279	0.0543	0.1525	0.0582	0.0278	0.2354
Fe <sup>2+</sup>	0.8955	1.1093	1.1277	1.1964	1.1105	1.1718	1.1479
Na	0.0138	0.0144	0.0000	0.0069	0.0023	0.0000	0.1232
K	0.0098	0.0390	0.0079	0.0241	0.0190	0.0274	0.0016
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0033	0.0091	0.0071	0.0034	0.0081	0.0061	0.0060
Spessartin	0.0187	0.0093	0.0181	0.0508	0.0194	0.0093	0.0785
Almandin	0.2985	0.3698	0.3759	0.3988	0.3702	0.3906	0.3826
Grossular	0.6124	0.4930	0.5178	0.4920	0.5304	0.5096	0.4320
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0515	0.0611	0.0616	0.0413	0.0266	0.0447	0.0559
HGrs	0.0007	0.0354	0.0068	0.0000	0.0329	0.0253	0.0001
Uwarowit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0005

**LXII Granatrelikte und Kerne bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	15	20	25	25	25	25	25	25
T	750	800	675	700	725	825	850	875
Probe	GN38B	GN25C	GN62C	GN63C	GN64A	GN27D	GN58B	GN66D
Analysennr.	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.00	0.05	0.16	0.00	0.00	0.07
SiO <sub>2</sub>	37.05	37.18	37.49	37.06	36.67	37.04	36.92	37.30
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.11	0.22	0.09	0.20	0.19	0.11	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.18	20.32	19.97	20.77	20.20	19.68	20.34	20.29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.03	0.06	0.00	0.01	0.04	0.00	0.08
MgO	0.02	0.16	0.12	0.18	0.12	0.17	0.11	0.14
CaO	19.03	17.17	19.20	20.49	18.95	19.31	19.00	19.26
MnO	3.21	4.18	2.96	0.64	3.20	2.89	1.34	1.19
FeO	18.64	19.71	17.25	19.78	19.28	19.43	18.78	20.00
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.07	0.02	0.06	0.00	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.05	0.03	0.15	0.10	0.05	0.04	0.04	0.08
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05
Summe	98.78	99.45	97.74	99.26	98.94	99.18	96.80	98.60
FeO	16.75	18.24	16.20	17.81	16.90	16.72	18.17	18.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.10	1.64	1.17	2.18	2.65	3.02	0.67	1.51
Summe	98.99	99.61	97.86	99.48	99.21	99.48	96.87	98.75
P	0.0011	0.0011	0.0000	0.0032	0.0105	0.0000	0.0000	0.0046
Si	2.9667	2.9698	3.0158	2.9382	2.9312	2.9577	2.9962	2.9793
Al	0.0000	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0078	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0318	0.0134
Summe	2.9700	2.9752	3.0172	2.9414	2.9417	2.9665	3.0048	2.9879
Ti	0.0063	0.0066	0.0133	0.0054	0.0122	0.0115	0.0066	0.0087
Al	1.9040	1.9096	1.8933	1.9409	1.9029	1.8442	1.9452	1.9101
Fe <sup>3+</sup>	0.1267	0.0984	0.0710	0.1303	0.1591	0.1814	0.0409	0.0906
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0018	0.0036	0.0000	0.0009	0.0027	0.0000	0.0054
Summe	2.0408	2.0303	1.9813	2.0791	2.0752	2.0447	1.9927	2.0147
Mg	0.0026	0.0194	0.0141	0.0212	0.0138	0.0197	0.0136	0.0170
Ca	1.6326	1.4692	1.6550	1.7404	1.6232	1.6526	1.6523	1.6482
Mn	0.2180	0.2827	0.2019	0.0430	0.2170	0.1957	0.0922	0.0802
Fe <sup>2+</sup>	1.1216	1.2185	1.0897	1.1811	1.1296	1.1164	1.2334	1.2453
Na	0.0048	0.0000	0.0107	0.0037	0.0100	0.0000	0.0000	0.0015
K	0.0049	0.0029	0.0151	0.0106	0.0050	0.0037	0.0040	0.0079
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0009	0.0065	0.0047	0.0071	0.0046	0.0066	0.0045	0.0057
Spessartin	0.0727	0.0942	0.0673	0.0143	0.0723	0.0652	0.0307	0.0267
Almandin	0.3739	0.4062	0.3632	0.3937	0.3765	0.3721	0.4111	0.4151
Grossular	0.4758	0.4320	0.5107	0.5137	0.4590	0.4510	0.5206	0.4960
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0621	0.0485	0.0358	0.0627	0.0767	0.0887	0.0205	0.0449
HGrs	0.0021	0.0007	0.0014	0.0000	0.0000	0.0009	0.0086	0.0040
Uwarowit	0.0000	0.0010	0.0015	0.0000	0.0033	0.0020	0.0000	0.0030

P	30	30	30	35	35	40	40	40
T	675	850	875	725	725	725	750	800
Probe	GN18A	GN46B	GN45A	GN41A	GN41A	GN61B	GN19D	GN37A
Analysennr.	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.14	0.07	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.46	32.55	37.51	37.56	36.58	38.32	36.96	37.18
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.28	0.23	0.22	0.13	0.11	0.04	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.54	17.70	19.56	20.17	20.40	20.17	20.49	20.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.11	0.00	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00
MgO	0.14	0.14	0.18	0.14	0.09	0.21	0.14	0.11
CaO	19.45	18.47	19.26	20.03	20.47	19.25	19.93	19.08
MnO	1.42	3.33	2.49	3.22	3.22	1.01	3.10	3.21
FeO	20.53	17.92	18.60	18.04	18.33	19.78	18.49	19.10
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.14	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.14	0.03	0.03	0.14	0.25	0.08
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Summe	99.77	90.92	99.92	99.60	99.45	99.35	99.54	99.63
FeO	18.63	13.23	17.30	15.93	15.35	18.93	15.84	17.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.11	5.21	1.44	2.34	3.31	0.94	2.95	2.17
Summe	99.98	91.44	100.06	99.84	99.78	99.44	99.84	99.85
P	0.0000	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000
Si	2.9632	2.8486	2.9834	2.9723	2.9068	3.0298	2.9312	2.9512
Al	0.0017	0.0000	0.0000	0.0100	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0103	0.0000	0.0000
Summe	2.9648	2.8536	2.9834	2.9823	2.9118	3.0332	2.9357	2.9521
Ti	0.0051	0.0183	0.0140	0.0132	0.0080	0.0064	0.0021	0.0083
Al	1.9133	1.8252	1.8335	1.8710	1.9062	1.8791	1.9150	1.9168
Fe <sup>3+</sup>	0.1254	0.3432	0.0862	0.1394	0.1982	0.0559	0.1760	0.1296
Cr <sup>3+</sup>	0.0031	0.0078	0.0000	0.0000	0.0052	0.0027	0.0000	0.0000
Summe	2.0469	2.1957	2.0035	2.0236	2.1176	1.9534	2.0931	2.0619
Mg	0.0170	0.0177	0.0208	0.0164	0.0106	0.0244	0.0163	0.0128
Ca	1.6481	1.7322	1.6414	1.6985	1.7429	1.6310	1.6935	1.6229
Mn	0.0949	0.2465	0.1675	0.2161	0.2168	0.0678	0.2082	0.2155
Fe <sup>2+</sup>	1.2326	0.9685	1.1507	1.0544	1.0199	1.2518	1.0505	1.1381
Na	0.0000	0.0236	0.0025	0.0000	0.0000	0.0037	0.0033	0.0008
K	0.0034	0.0000	0.0142	0.0032	0.0032	0.0145	0.0252	0.0084
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0057	0.0059	0.0069	0.0055	0.0035	0.0081	0.0054	0.0043
Spessartin	0.0316	0.0822	0.0558	0.0720	0.0723	0.0226	0.0694	0.0718
Almandin	0.4109	0.3228	0.3836	0.3515	0.3400	0.4173	0.3502	0.3794
Grossular	0.4837	0.3970	0.4863	0.4909	0.4761	0.5099	0.4761	0.4726
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0613	0.1563	0.0430	0.0689	0.0936	0.0286	0.0841	0.0629
HGrs	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0002	0.0035	0.0000	0.0009
Uwarowit	0.0030	0.0171	0.0000	0.0000	0.0081	0.0007	0.0000	0.0000

P	45	45	45
T	700	825	850
Probe	GN57D	GN42D	GN36D
Analysennr.	1248	1249	1250
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.08	0.13
SiO <sub>2</sub>	37.99	37.31	37.52
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.12	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.33	20.86	20.29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.08	0.00
MgO	0.15	0.11	0.15
CaO	20.59	18.43	18.89
MnO	0.92	2.10	3.08
FeO	19.02	21.11	19.41
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.02
K <sub>2</sub> O	0.18	0.01	0.14
F	0.16	0.00	0.00
Summe	99.72	100.33	100.20
FeO	17.39	19.41	17.39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.81	1.88	2.25
Summe	99.90	100.52	100.43
P	0.0000	0.0055	0.0089
Si	2.9926	2.9438	2.9597
Al	0.0000	0.0060	0.0000
F	0.0391	0.0000	0.0000
Summe	3.0037	2.9555	2.9703
Ti	0.0003	0.0071	0.0163
Al	1.8871	1.9333	1.8870
Fe <sup>3+</sup>	0.1076	0.1119	0.1336
Cr <sup>3+</sup>	0.0078	0.0051	0.0000
Summe	2.0028	2.0575	2.0369
Mg	0.0173	0.0125	0.0172
Ca	1.7375	1.5583	1.5971
Mn	0.0614	0.1401	0.2056
Fe <sup>2+</sup>	1.1455	1.2809	1.1472
Na	0.0054	0.0000	0.0025
K	0.0182	0.0011	0.0145
Summe	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0058	0.0042	0.0057
Spessartin	0.0205	0.0467	0.0685
Almandin	0.3818	0.4270	0.3824
Grossular	0.5103	0.4575	0.4612
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0537	0.0544	0.0656
HGr <sub>s</sub>	0.0111	0.0002	0.0017
Uwarowit	0.0040	0.0041	0.0000

**LXIII Aus Biotit gebildeter Granat bei 1.9 Gew.% H<sub>2</sub>O**

P	35	35	40	40	45	45
T	725	750	700	825	725	775
Probe	GN41A	GN03A	GN56C	GN54D	GN67A	GN50C
Analysennr.	1251	1252	1253	1254	1255	1256
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.34	0.03	0.00	0.07	0.26	0.00
SiO <sub>2</sub>	35.28	34.60	33.32	28.08	35.68	36.45
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.08	0.20	0.11	0.01	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.24	20.60	21.84	26.39	22.09	20.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.08	0.00	0.02	0.00	0.07
MgO	1.37	2.50	2.91	3.28	2.82	1.38
CaO	2.86	1.33	0.79	0.37	0.48	3.89
MnO	3.79	1.46	1.64	1.09	1.37	2.91
FeO	33.19	38.29	35.85	39.61	32.35	33.38
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.04	0.00	0.14	0.15
K <sub>2</sub> O	0.15	0.11	0.29	0.08	0.41	0.24
F	0.00	0.00	0.12	0.10	0.17	0.00
Summe	98.45	99.18	97.38	99.65	95.99	98.92
FeO	33.12	35.63	34.15	35.34	32.35	32.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	2.95	1.88	4.75	0.00	0.86
Summe	98.46	99.48	97.57	100.13	95.99	99.00
P	0.0239	0.0024	0.0000	0.0050	0.0185	0.0000
Si	2.9139	2.8518	2.7850	2.3260	2.9567	2.9912
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0323	0.0265	0.0438	0.0000
Summe	2.9387	2.8551	2.7938	2.3383	2.9881	2.9932
Ti	0.0037	0.0050	0.0128	0.0069	0.0008	0.0190
Al	2.0677	2.0014	2.1518	2.5767	2.1572	1.9427
Fe <sup>3+</sup>	0.0053	0.1833	0.1185	0.2959	0.0000	0.0530
Cr <sup>3+</sup>	0.0033	0.0050	0.0000	0.0016	0.0000	0.0043
Summe	2.0801	2.1946	2.2831	2.8811	2.1580	2.0190
Mg	0.1682	0.3077	0.3629	0.4047	0.3485	0.1692
Ca	0.2533	0.1171	0.0712	0.0332	0.0427	0.3418
Mn	0.2651	0.1018	0.1161	0.0766	0.0963	0.2025
Fe <sup>2+</sup>	2.2874	2.4563	2.3875	2.4482	2.2419	2.2378
Na	0.0065	0.0000	0.0061	0.0000	0.0227	0.0236
K	0.0162	0.0117	0.0313	0.0087	0.0434	0.0251
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	2.8102	3.0000
Pyrop	0.0561	0.0965	0.1151	0.1149	0.1161	0.0563
Spessartin	0.0885	0.0319	0.0368	0.0217	0.0321	0.0674
Almandin	0.7633	0.7702	0.7575	0.6951	0.7472	0.7451
Grossular	0.0776	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0811
Skiagit	0.0000	0.0585	0.0443	0.1459	0.0000	0.0000
Andradit	0.0043	0.0356	0.0150	0.0029	0.0000	0.0286
HGrs	0.0000	0.0000	0.0081	0.0066	0.0109	0.0000
Uwarowit	0.0017	0.0025	0.0000	0.0008	0.0000	0.0021

**LXIV Granate bei erhöhten H<sub>2</sub>O-Gehalten, hohen Drücken und großem Volumen.**

P	30	30	30	40	100	P	35
T	600	600	600	650	800	T	900
H <sub>2</sub> O-Gehalt	17.40%	20.70%	25.50%	25.50%	1.80%	H <sub>2</sub> O-Gehalt	gr. Vol.
Probe	GN09A	GN09B	GN09D	GN11D	GN8 0	Probe	GN17 A
Analysennr.	1257	1258	1259	1260	1261	Analysennr.	1262
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.066	0.066	0.000	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.183
SiO <sub>2</sub>	37.483	36.660	37.389	37.145	36.422	SiO <sub>2</sub>	37.334
TiO <sub>2</sub>	0.175	0.118	0.135	0.163	1.376	TiO <sub>2</sub>	0.812
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.340	20.142	20.357	19.924	19.666	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.482
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.086	0.012	0.000	0.000	0.000	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000
MgO	0.143	0.121	0.126	0.148	3.995	MgO	2.257
CaO	20.474	19.566	19.615	20.126	0.041	CaO	7.876
MnO	1.449	3.103	1.231	2.983	0.662	MnO	1.140
FeO	19.413	18.986	20.841	19.322	37.288	FeO	28.656
Na <sub>2</sub> O	0.019	0.007	0.092	0.038	0.245	Na <sub>2</sub> O	0.241
K <sub>2</sub> O	0.058	0.039	0.178	0.090	0.149	K <sub>2</sub> O	0.041
Summe	99.837	98.800	100.265	100.201	100.728	Summe	99.119
FeO	17.197	16.288	18.361	16.141	35.506	FeO	28.656
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.463	2.998	2.756	3.535	1.980	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000
Summe	100.084	99.101	100.541	100.555	100.926	Summe	99.119
P	0.0000	0.0000	0.0044	0.0044	0.0000	P	0.0044
Si	2.9585	2.9335	2.9440	2.9328	2.9217	Si	2.9956
Al	0.0017	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	Al	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0398	0.0000	0.0982	F	0.0000
Summe	2.9606	2.9356	2.9595	2.9379	2.9462	Summe	3.0003
Ti	0.0104	0.0071	0.0080	0.0097	0.0830	Ti	0.0490
Al	1.8904	1.8974	1.8892	1.8540	1.8592	Al	1.9369
Fe <sup>3+</sup>	0.1463	0.1805	0.1633	0.2100	0.1195	Fe <sup>3+</sup>	0.0000
Summe	2.0525	2.0858	2.0605	2.0807	2.0618	Summe	1.9939
Mg	0.0168	0.0144	0.0148	0.0174	0.4777	Mg	0.2700
Ca	1.7314	1.6775	1.6548	1.7025	0.0035	Ca	0.6771
Mn	0.0969	0.2103	0.0821	0.1995	0.0450	Mn	0.0775
Fe <sup>2+</sup>	1.1352	1.0900	1.2091	1.0658	2.3819	Fe <sup>2+</sup>	1.9229
Na	0.0029	0.0010	0.0140	0.0058	0.0382	Na	0.0375
K	0.0058	0.0039	0.0179	0.0091	0.0153	K	0.0042
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	Summe	2.9946
Pyrop	0.0056	0.0048	0.0049	0.0058	0.1470	Pyrop	0.0892
Spessartin	0.0323	0.0700	0.0273	0.0663	0.0138	Spessartin	0.0256
Almandin	0.3785	0.3627	0.4024	0.3541	0.7113	Almandin	0.6356
Grossular	0.4984	0.4674	0.4582	0.4604	0.0000	Grossular	0.2234
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0598	Skiagit	0.0000
Andradit	0.0758	0.0906	0.0816	0.1050	0.0000	Andradit	0.0000
HGrS	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	HGrS	0.0000

**LXV Granate der Biotit-Phengit-Gneise**

Typ	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Probe	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.08	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05
SiO <sub>2</sub>	36.86	37.17	37.07	36.73	37.09	37.19	36.83	37.56
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.14	0.18	0.24	0.17	0.11	0.16	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.73	19.96	20.11	20.14	20.44	20.46	20.46	20.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.10	0.10	0.00	0.06	0.11	0.04	0.03
MgO	0.12	0.20	0.06	0.13	0.11	0.12	0.02	0.12
CaO	19.92	17.52	18.75	21.12	19.94	19.81	19.47	19.25
MnO	2.40	3.23	3.19	1.63	0.61	4.52	4.42	3.14
FeO	18.74	19.64	19.78	19.02	20.21	17.38	17.42	18.67
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.05	0.08	0.00	0.00	0.03	0.06	0.04
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.06	0.14	0.00	0.00	0.00
Summe	98.47	98.13	99.56	99.22	98.98	100.12	99.01	99.95
FeO	16.19	18.30	17.43	16.05	18.46	14.88	15.30	17.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.83	1.49	2.60	3.30	1.95	2.77	2.35	1.84
Summe	98.75	98.28	99.82	99.55	99.18	100.40	99.24	100.13
P	0.0034	0.0034	0.0057	0.0000	0.0000	0.0021	0.0011	0.0032
Si	2.9564	2.9943	2.9494	2.9187	2.9525	2.9367	2.9393	2.9664
Al	0.0060	0.0000	0.0000	0.0144	0.0099	0.0000	0.0000	0.0040
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0151	0.0357	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9658	2.9987	2.9551	2.9368	2.9713	2.9395	2.9416	2.9737
Ti	0.0142	0.0084	0.0110	0.0144	0.0103	0.0062	0.0095	0.0094
Al	1.8590	1.8954	1.8856	1.8720	1.9074	1.9043	1.9245	1.9136
Fe <sup>3+</sup>	0.1710	0.0903	0.1559	0.1976	0.1169	0.1646	0.1413	0.1093
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0061	0.0061	0.0000	0.0035	0.0070	0.0027	0.0017
Summe	2.0442	2.0002	2.0586	2.0840	2.0381	2.0822	2.0780	2.0341
Mg	0.0147	0.0245	0.0073	0.0153	0.0136	0.0142	0.0024	0.0144
Ca	1.7120	1.5125	1.5984	1.7983	1.7010	1.6759	1.6650	1.6285
Mn	0.1627	0.2203	0.2147	0.1099	0.0414	0.3024	0.2985	0.2101
Fe <sup>2+</sup>	1.0863	1.2330	1.1600	1.0665	1.2286	0.9827	1.0214	1.1236
Na	0.0067	0.0076	0.0129	0.0000	0.0000	0.0045	0.0090	0.0054
K	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0086	0.0022	0.0000
Summe	3.0002	3.0003	3.0000	3.0004	3.0003	3.0002	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0049	0.0082	0.0024	0.0051	0.0045	0.0048	0.0008	0.0048
Spessartin	0.0540	0.0736	0.0717	0.0364	0.0138	0.1011	0.0995	0.0699
Almandin	0.3604	0.4117	0.3872	0.3526	0.4081	0.3285	0.3404	0.3737
Grossular	0.4828	0.4528	0.4494	0.4929	0.4944	0.4699	0.4803	0.4854
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0855	0.0482	0.0810	0.0988	0.0602	0.0858	0.0720	0.0555
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0038	0.0089	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0031	0.0030	0.0000	0.0017	0.0035	0.0013	0.0009



Typ	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Probe	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.01	0.06	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.91	38.01	37.98	37.74	37.75	37.97	37.55	37.70
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.08	0.65	0.44	0.07	0.08	0.16	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.41	20.23	20.74	19.75	20.55	20.64	20.50	20.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.09	0.08
MgO	0.12	0.37	2.22	2.17	0.19	0.20	0.23	0.18
CaO	19.28	20.11	12.68	12.74	20.05	20.29	20.39	20.41
MnO	4.59	0.85	0.18	0.70	0.60	0.53	0.64	0.55
FeO	17.29	19.48	24.11	25.69	20.30	20.33	19.96	20.03
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02
F	0.00	0.00	0.26	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.67	99.23	99.86	99.79	99.79	100.21	99.76	99.93
FeO	15.71	17.82	24.11	24.23	18.72	18.67	18.13	18.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.75	1.85	0.00	1.62	1.76	1.84	2.04	1.90
Summe	99.84	99.41	99.86	99.95	99.97	100.40	99.96	100.12
P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	0.0009	0.0040	0.0000
Si	2.9968	3.0047	3.0000	2.9879	2.9757	2.9804	2.9618	2.9688
Al	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0061	0.0068
F	0.0000	0.0000	0.0660	0.1122	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9968	3.0047	3.0209	3.0194	2.9826	2.9850	2.9723	2.9756
Ti	0.0000	0.0048	0.0386	0.0261	0.0041	0.0048	0.0097	0.0089
Al	1.9011	1.8847	1.9310	1.8428	1.9094	1.9060	1.8994	1.9063
Fe <sup>3+</sup>	0.1042	0.1098	0.0000	0.0964	0.1042	0.1089	0.1209	0.1124
Cr <sup>3+</sup>	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.0000	0.0056	0.0049
Summe	2.0071	1.9992	1.9696	1.9654	2.0214	2.0197	2.0356	2.0325
Mg	0.0147	0.0436	0.2609	0.2565	0.0226	0.0239	0.0273	0.0214
Ca	1.6332	1.7032	1.0729	1.0810	1.6934	1.7062	1.7232	1.7218
Mn	0.3075	0.0569	0.0122	0.0469	0.0403	0.0353	0.0430	0.0369
Fe <sup>2+</sup>	1.0386	1.1780	1.5926	1.6044	1.2340	1.2255	1.1955	1.2065
Na	0.0000	0.0153	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0006	0.0000
K	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0012	0.0030	0.0021
Summe	2.9974	2.9971	2.9845	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0049	0.0145	0.0864	0.0851	0.0075	0.0079	0.0091	0.0071
Spessartin	0.1026	0.0190	0.0040	0.0156	0.0134	0.0117	0.0143	0.0123
Almandin	0.3465	0.3923	0.5274	0.5323	0.4118	0.4076	0.3982	0.4016
Grossular	0.4910	0.5124	0.3345	0.2793	0.5087	0.5132	0.5074	0.5121
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0530	0.0549	0.0000	0.0482	0.0540	0.0544	0.0632	0.0586
HGrs	0.0000	0.0000	0.0165	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0028	0.0025

Typ	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Probe	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04	0.08
SiO <sub>2</sub>	37.70	36.76	37.38	38.13	37.75	37.92	37.67	38.04
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.15	0.12	0.12	0.19	0.00	0.11	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.56	19.86	20.17	20.69	20.61	20.74	20.59	20.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.07	0.03	0.03	0.00	0.05	0.09
MgO	0.16	0.20	0.23	0.21	0.21	0.17	0.21	0.21
CaO	20.09	19.62	20.45	20.72	20.37	20.16	20.03	20.48
MnO	0.53	0.58	0.55	0.64	0.59	0.62	1.43	0.65
FeO	20.56	20.32	19.87	20.33	19.94	20.14	19.57	20.37
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.78	97.64	99.04	100.93	99.77	99.96	99.83	100.59
FeO	18.72	18.24	17.83	18.41	18.35	18.59	17.87	18.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04	2.31	2.27	2.14	1.77	1.72	1.90	1.98
Summe	99.98	97.87	99.27	101.14	99.95	100.13	100.02	100.79
P	0.0000	0.0014	0.0020	0.0009	0.0000	0.0000	0.0029	0.0053
Si	2.9744	2.9668	2.9695	2.9715	2.9741	2.9832	2.9695	2.9745
Al	0.0000	0.0019	0.0046	0.0022	0.0063	0.0000	0.0022	0.0074
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9745	2.9709	2.9762	2.9752	2.9804	2.9832	2.9746	2.9873
Ti	0.0020	0.0091	0.0074	0.0068	0.0114	0.0000	0.0065	0.0080
Al	1.9122	1.8869	1.8836	1.8982	1.9076	1.9230	1.9105	1.8850
Fe <sup>3+</sup>	0.1211	0.1401	0.1354	0.1257	0.1052	0.1018	0.1126	0.1164
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0022	0.0047	0.0020	0.0020	0.0000	0.0034	0.0057
Summe	2.0353	2.0384	2.0311	2.0328	2.0262	2.0248	2.0329	2.0152
Mg	0.0191	0.0237	0.0267	0.0239	0.0251	0.0202	0.0248	0.0246
Ca	1.6983	1.6964	1.7406	1.7298	1.7194	1.6990	1.6916	1.7158
Mn	0.0355	0.0398	0.0372	0.0422	0.0394	0.0415	0.0957	0.0430
Fe <sup>2+</sup>	1.2354	1.2311	1.1848	1.1995	1.2088	1.2230	1.1779	1.2161
Na	0.0041	0.0063	0.0010	0.0047	0.0027	0.0039	0.0029	0.0000
K	0.0019	0.0009	0.0017	0.0000	0.0024	0.0033	0.0015	0.0006
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0064	0.0079	0.0089	0.0080	0.0083	0.0067	0.0082	0.0082
Spessartin	0.0118	0.0133	0.0124	0.0140	0.0131	0.0138	0.0319	0.0143
Almandin	0.4116	0.4099	0.3947	0.3994	0.4017	0.4077	0.3926	0.4049
Grossular	0.5053	0.4919	0.5075	0.5106	0.5169	0.5155	0.5042	0.5075
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0605	0.0712	0.0701	0.0639	0.0536	0.0509	0.0580	0.0611
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0011	0.0023	0.0010	0.0010	0.0000	0.0017	0.0028

Typ	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Probe	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
SiO <sub>2</sub>	37.81	37.94	37.86	37.70	37.89	37.81	37.98	37.52
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.14	0.22	0.10	0.16	0.18	0.09	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.71	20.61	20.45	20.33	20.53	20.48	20.43	20.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
MgO	0.19	0.18	0.21	0.20	0.21	0.18	0.22	0.20
CaO	20.39	20.20	20.58	20.98	20.99	20.62	20.71	20.59
MnO	0.54	1.53	0.87	0.68	0.59	0.61	0.60	0.50
FeO	20.18	19.56	19.72	20.10	19.71	20.10	20.06	19.85
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.02	0.04
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.98	100.36	100.20	100.26	100.20	100.02	100.24	99.44
FeO	18.50	17.86	17.87	17.54	17.69	18.21	18.09	17.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.86	1.89	2.07	2.84	2.25	2.10	2.19	2.11
Summe	100.16	100.55	100.41	100.54	100.43	100.23	100.46	99.65
P	0.0000	0.0009	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000
Si	2.9733	2.9755	2.9726	2.9594	2.9708	2.9736	2.9786	2.9668
Al	0.0000	0.0063	0.0110	0.0000	0.0000	0.0084	0.0008	0.0002
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9735	2.9827	2.9869	2.9602	2.9708	2.9820	2.9824	2.9676
Ti	0.0061	0.0085	0.0129	0.0057	0.0093	0.0106	0.0052	0.0081
Al	1.9192	1.8988	1.8812	1.8814	1.8971	1.8894	1.8878	1.9067
Fe <sup>3+</sup>	0.1101	0.1116	0.1221	0.1675	0.1328	0.1241	0.1294	0.1257
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0038	0.0006	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0027
Summe	2.0355	2.0227	2.0168	2.0548	2.0393	2.0240	2.0225	2.0432
Mg	0.0225	0.0211	0.0248	0.0237	0.0240	0.0206	0.0260	0.0238
Ca	1.7182	1.6973	1.7308	1.7644	1.7635	1.7376	1.7400	1.7441
Mn	0.0360	0.1015	0.0576	0.0455	0.0393	0.0409	0.0399	0.0337
Fe <sup>2+</sup>	1.2169	1.1715	1.1729	1.1519	1.1599	1.1979	1.1861	1.1867
Na	0.0055	0.0000	0.0000	0.0045	0.0088	0.0000	0.0029	0.0056
K	0.0008	0.0022	0.0019	0.0063	0.0014	0.0022	0.0016	0.0023
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0075	0.0070	0.0082	0.0079	0.0080	0.0068	0.0086	0.0079
Spessartin	0.0120	0.0338	0.0191	0.0152	0.0131	0.0136	0.0133	0.0112
Almandin	0.4052	0.3898	0.3887	0.3836	0.3860	0.3974	0.3949	0.3955
Grossular	0.5169	0.5053	0.5112	0.5029	0.5206	0.5146	0.5141	0.5153
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0551	0.0577	0.0614	0.0838	0.0664	0.0620	0.0648	0.0642
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0019	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0013

Typ	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Probe	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
SiO <sub>2</sub>	37.84	37.64	37.49	38.84	35.92	38.08	37.21	37.24
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.23	0.16	0.15	0.11	0.25	0.13	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.36	20.35	20.56	20.49	19.11	20.75	20.25	20.74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.02	0.04	0.00	0.01	0.04	0.00
MgO	0.22	0.21	0.21	0.88	1.18	0.24	0.31	2.91
CaO	20.63	20.83	21.01	16.74	14.35	20.54	20.10	8.34
MnO	0.51	0.56	0.41	0.56	0.52	0.53	0.53	1.17
FeO	19.68	19.82	19.76	21.54	22.13	20.35	19.87	29.25
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.00	0.10	0.09	0.00	0.00	0.13
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.04	0.20	0.25	0.01	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	99.47	99.73	99.83	99.58	93.96	100.78	98.51	100.41
FeO	17.91	17.83	17.64	21.39	20.90	18.65	18.08	27.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.97	2.22	2.36	0.17	1.38	1.89	1.99	1.69
Summe	99.67	99.96	100.07	99.60	94.09	100.97	98.71	100.58
P	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.0017
Si	2.9877	2.9669	2.9527	3.0611	3.0162	2.9712	2.9696	2.9504
Al	0.0000	0.0110	0.0052	0.0000	0.0000	0.0137	0.0064	0.0033
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9877	2.9781	2.9589	3.0614	3.0172	2.9848	2.9783	2.9555
Ti	0.0041	0.0138	0.0094	0.0089	0.0070	0.0145	0.0078	0.0246
Al	1.8942	1.8799	1.9040	1.9028	1.8915	1.8942	1.8982	1.9336
Fe <sup>3+</sup>	0.1170	0.1316	0.1397	0.0102	0.0869	0.1111	0.1197	0.1007
Cr <sup>3+</sup>	0.0018	0.0038	0.0014	0.0022	0.0000	0.0005	0.0025	0.0000
Summe	2.0171	2.0291	2.0545	1.9257	1.9875	2.0202	2.0282	2.0588
Mg	0.0262	0.0251	0.0241	0.1033	0.1478	0.0282	0.0367	0.3438
Ca	1.7454	1.7596	1.7730	1.4136	1.2908	1.7172	1.7189	0.7083
Mn	0.0339	0.0372	0.0277	0.0372	0.0366	0.0350	0.0357	0.0785
Fe <sup>2+</sup>	1.1823	1.1753	1.1621	1.4097	1.4673	1.2168	1.2065	1.8375
Na	0.0037	0.0016	0.0000	0.0154	0.0154	0.0000	0.0004	0.0199
K	0.0024	0.0012	0.0042	0.0197	0.0272	0.0008	0.0010	0.0013
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.0087	0.0083	0.0080	0.0344	0.0492	0.0093	0.0122	0.1140
Spessartin	0.0113	0.0123	0.0092	0.0124	0.0122	0.0116	0.0119	0.0260
Almandin	0.3942	0.3900	0.3863	0.4697	0.4885	0.4027	0.4012	0.6091
Grossular	0.5216	0.5144	0.5182	0.4634	0.3853	0.5127	0.5094	0.1847
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0594	0.0677	0.0705	0.0062	0.0435	0.0558	0.0611	0.0503
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0009	0.0019	0.0007	0.0011	0.0000	0.0002	0.0012	0.0000

Typ	Grt	Grt	Grt	Grt in Zr	Grt in Zr
Probe	17685	17685	17685	17685	17685
Analysennr.	1303	1304	1305	1306	1307
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.10	0.13	0.17	0.16
SiO <sub>2</sub>	37.38	37.19	37.17	37.50	37.43
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.53	0.59	0.66	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.72	20.52	20.53	20.63	20.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03
MgO	2.98	3.03	3.12	3.56	3.78
CaO	7.43	7.14	6.93	6.77	6.84
MnO	1.12	0.81	0.70	0.52	0.49
FeO	29.53	29.70	29.26	29.52	28.55
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.12	0.16	0.21	0.21
K <sub>2</sub> O	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	100.06	99.28	98.64	99.73	98.86
FeO	28.67	29.03	29.04	28.94	28.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.95	0.75	0.24	0.64	0.42
Summe	100.15	99.35	98.67	99.80	98.90
P	0.0111	0.0067	0.0089	0.0114	0.0101
Si	2.9707	2.9777	2.9888	2.9781	2.9899
Al	0.0015	0.0103	0.0017	0.0041	0.0000
F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Summe	2.9833	2.9953	2.9995	2.9935	3.0000
Ti	0.0226	0.0320	0.0358	0.0397	0.0389
Al	1.9393	1.9263	1.9442	1.9268	1.9290
Fe <sup>3+</sup>	0.0567	0.0453	0.0148	0.0383	0.0252
Cr <sup>3+</sup>	0.0000	0.0005	0.0008	0.0000	0.0018
Summe	2.0186	2.0040	1.9956	2.0048	1.9956
Mg	0.3534	0.3615	0.3743	0.4213	0.4507
Ca	0.6324	0.6129	0.5973	0.5764	0.5857
Mn	0.0756	0.0549	0.0479	0.0350	0.0334
Fe <sup>2+</sup>	1.9055	1.9439	1.9526	1.9222	1.8824
Na	0.0195	0.0180	0.0254	0.0322	0.0328
K	0.0016	0.0037	0.0025	0.0034	0.0045
Summe	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Pyrop	0.1173	0.1194	0.1240	0.1393	0.1494
Spessartin	0.0251	0.0181	0.0159	0.0116	0.0111
Almandin	0.6324	0.6423	0.6468	0.6355	0.6239
Grossular	0.1817	0.1790	0.1895	0.1715	0.1798
Skiagit	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Andradit	0.0283	0.0229	0.0078	0.0192	0.0135
HGrs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Uwarowit	0.0000	0.0002	0.0004	0.0000	0.0009

## LXVI Excel-Tabelle und Makro zur Phengitberechnung

a) Excel-Tabellenblatt zur Phengitberechnung

Zeile /Spalten	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	F	
17	Cl	
18	ZrO <sub>2</sub>	
19	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
20	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
21	Summe	=SUMME(C3:C21)-C17/19/2*15.9994-C18/35.45/2*15.9994
22		
23	H <sub>2</sub> O Differenz	=100-(C22-C11+C27+C26)
24		
25	FeO	=(C148)*C41*((55.847)+(15.9994))
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C148)*C41*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
27	Na <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	=C15*(2-C98-C99)/(C100+C101)
28	K <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	=C16*(2-C98-C99)/(C100+C101)
29	H <sub>2</sub> O <sub>korr.</sub>	=C150
30	Summe	=C22-C11+C26+C27+C30+C28+C29-C16-C15
31		
32	P	=C3/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
33	Si	=C4/((28.0855)+(2*15.9994))
34	Ti	=C5/((47.88)+(2*15.9994))
35	Al	=C6/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
36	Cr	=C7/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
37	Mg	=C8/((24.305)+(1*15.9994))
38	Ca	=C9/((40.08)+(1*15.9994))
39	Mn	=C10/((54.938)+(1*15.9994))
40	Fe	=C11/((55.847)+(1*15.9994))
41	Ni	=C12/((58.69)+(1*15.9994))
42	Zn	=C13/((65.38)+(1*15.9994))

Zeile /Spalten	B	C
43	Ba	=C14/(137.33+15.9994)
44	Na	=C15/((22.98977*2)+(15.9994))*2
45	K	=C16/((39.0983*2)+(15.9994))*2
46	F	=C17/18.998403
47	Cl	=C18/35.453
48	La	=C20/(138.9055*2+3*15.9994)*2
49	Ce	=C21/(140.12*2+3*15.9994)*2
50	Zr	=C19/(91.22+2*15.9994)
51	H	=(C24/(2*1.00794+15.9994))*2
52	Valenzen	=5*C33+4*(C34+C35+C51)+3*(C41*(1-C148)+C36+C37+C49+C50)+2*(C38+C40+C41*C148+C42+C43)+C44+C39
53	Norm	=42+(4-C149)
54	Faktor	=C54/C53
55		
56	P	=C33*C55
57	Si	=C34*C55
58	Ti	=C35*C55
59	Al	=C36*C55
60	Fe <sup>3+</sup>	=C41*C55*(1-C148)
61	Cr	=C37*C55
62	Mg	=C38*C55
63	Ca	=C39*C55
64	Mn	=C40*C55
65	Fe <sup>2+</sup>	=C41*C55*C148
66	Ni	=C42*C55
67	Zn	=C43*C55
68	Ba	=C44*C55
69	Na	=C45*C55
70	K	=C46*C55
71	F	=C47*C55
72	Cl	=C48*C55
73	Zr	=C51*C55
74	La	=C49*C55
75	Ce	=C50*C55
76	H	=C52*C55
77		
78	Si	=C58
79	P	=C57
80	Al	=MAX(0;MIN(C60;8-C79-C80))
81	Summe	=SUMME(C79:C81)
82		
83	Ti	=C59
84	Al	=C60-C81
85	Fe <sup>3+</sup>	=C61
86	Cr	=C62
87	La	=C75
88	Ce	=C76

89	Zr	=C74
90	Mg	=C63
91	Mn	=C65
92	Fe <sup>2+</sup>	=C66
93	Ni	=C67
94	Zn	=C68
95	Summe	=SUMME(C84:C95)
96		
97	Ca	=C64
98	Ba	=C69
99	Na	=C70
100	K	=C71
101	Summe	=SUMME(C98:C101)
102		
103	F	=C72
104	Cl	=C73
105	OH Struktur	=MIN(4-C104-C105;C77)
106	OH Überschuß	=MAX(C77-C106;0)
107	Summe	=SUMME(C104:C107)
108		
109	Ca	=C98
110	Ba	=C99
111	Na <sub>korr.</sub>	=C100*(2-C98-C99)/(C100+C101)
112	K <sub>korr.</sub>	=C101*(2-C98-C99)/(C100+C101)
113	Summe	=SUMME(C110:C113)
114		
115	F	=C72
116	Cl	=C73
117	OH Struktur und korr.	=MIN(4-C104-C105;C77*(C149-C104-C105)/(C106+C107))
118	Summe	=SUMME(C116:C118)
119		
120	Al <sup>[6]</sup>	=C85
121	Al <sup>[4]</sup>	=C81
122	Fe <sup>3+[6]</sup>	=C86
123	Fe <sup>2+[6]</sup>	=C93
124	Mg <sup>[6]</sup>	=C91
125	Ca	=C110+C111
126	Na	=C112
127	Cr <sup>3+[6]</sup>	=C87
128	M <sup>3+[6]</sup>	=C88+C89
129	P	=C80
130	M <sup>4+[6]</sup>	=C90+C84
131	M <sup>2+[6]</sup>	=C92+C94+C95
132		
133	$K_2Al^{3+}_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/2*C122-1/4*C123-1/6*C124-1/6*C125-C126-1/2*C127-1/4*C128-1/4*C129+1/3*C130-1/3*C131-1/6*C132
134	$K_2Cr^{3+}_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=C128/4
135	$K_2Fe^{3+}_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/4*C123



136	$K_2M^{3+}_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=C129/4
137	$Na_2Al^{3+}_4[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/2*C127
138	$K_2Al^{3+}_{3.333}[Si_8O_{20}](OH)_4$	=3/10*C121- 3/5*C122+3/10*C123+1/5*C124+1/5*C125+3/5*C126+3/10*C128+ 3/10*C129-2/5*C130+2/5*C131+1/5*C132
139	$K_2Fe^{2+}_6[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/6*C124
140	$K_2Mg_6[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/6*C125-1/3*C130
141	$K_2M^{2+}_6[Si_8O_{20}](OH)_4$	=1/6*C132
142	$(Ba,Ca)_2Al_4[Al_4Si_4O_{20}](OH)_4$	=1/2*C126
143	$K_2Ti^{4+}_3[Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/3*C131
144	$K_2Mg_4[P_2Si_6O_{20}](OH)_4$	=1/2*C130
145	Summe	=SUMME(C134:C145)
146		
147	$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$	1 ← wird durch Makro xFe2() berechnet und verändert
148	MultiH <sub>2</sub> O	4
149	H <sub>2</sub> O	=(C149-C104-C105)/(C106+C107)*C24
150	Differenz	=C24-C150

b) Makro zur Berechnung von  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$  im Phengit

## Sub XFe2()

'Dieser Makro berechnet für einen Phengit das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis

'mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excel.

'Die Bedingung zur Berechnung ist die vollständige Zerlegung der Analyse, d.h.

'alle Komponenten ergeben eine Summe von 1.

With ActiveSheet

.Select

'Feld für Summe der Komponenten

Dim zelle1 As String

'Feld für Eisen2+ zu Eisentotal Verhältnis

Dim zelle2 As String

'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)

Dim zelle3 As String

'dient zur Berechnung der nächsten Spalte

Dim buchstabe1 As Integer

'dient zur Berechnung der nächsten Spalte

Dim buchstabe2 As Integer

'Start Zellen festlegen

buchstabe1 = 2

buchstabe2 = 0

zelle1 = "C145"

zelle2 = "C147"

zelle3 = "C1"

'Bedingungszone auswählen

Range(zelle1).Select

'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte

'bei der die Datensatznr. = 0 ist

While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))

'Bedingungszone auswählen

Range(zelle1).Select

```
'Zielwertsuche durchführen
Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)
'Wenn das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis < 0 bzw. > 1 ist wird es auf 0 bzw 1 zurückgesetzt
If Range(zelle2).Value < 0 Then
  Range(zelle2).Value = 0
End If
If Range(zelle2).Value > 1 Then
  Range(zelle2).Value = 1
End If
'nächste Spalte ermitteln
buchstabe1 = buchstabe1 + 1
If buchstabe2 = 22 Then
  If buchstabe1 = 10 Then
    buchstabe1 = buchstabe1 - 1
  End If
Else
  If buchstabe1 = 27 Then
    buchstabe1 = 1
    buchstabe2 = buchstabe2 + 1
  End If
End If
If buchstabe2 = 0 Then
  zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "145"
  zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "147"
  zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
Else
  zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "145"
  zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "147"
  zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
End If
'zurück zur nächste Berechnung
Wend
End With
End Sub
```

## LXVII Excel-Tabelle und Makro zur Biotitberechnung

a) Excel-Tabellenblatt zur Biotitberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/19/2*15.9994-C17/35.45/2*15.9994
22		
23	FeO	=(C137)*C39*((55.847)+(15.9994))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C137)*C39*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=100-(C21-C10+C24+C23)
26	Na <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	=C14*(2-C97-C98)/(C99+C100)
27	K <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	=C15*(2-C97-C98)/(C99+C100)
28	H <sub>2</sub> O <sub>korrr.</sub>	=C140
29	Summe	=C21-C10+C23+C24+C28+C26+C27-C15-C14
30		
31	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
32	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
33	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
34	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
35	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
36	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
37	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
38	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
39	Fe	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
40	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
41	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
42	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
43	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2

44	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
45	F	=C16/18.998403
46	Cl	=C17/35.453
47	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
48	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
49	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
50	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
51	Valenz	=5*C31+4*(C32+C33+C49)+3*(C39*(1-C137)+C34+C35+C47+C48)+2*(C36+C38+C39*C137+C40+C41)+C42+C37
52	Norm	=42
53		
54	Faktor	=C52/C51
55		
56	P	=C31*C\$54
57	Si	=C32*C\$54
58	Ti	=C33*C\$54
59	Al	=C34*C\$54
60	Fe3	=C39*C\$54*(1-C137)
61	Cr	=C35*C\$54
62	Mg	=C36*C\$54
63	Ca	=C37*C\$54
64	Mn	=C38*C\$54
65	Fe	=C39*C\$54*C137
66	Ni	=C40*C\$54
67	Zn	=C41*C\$54
68	Ba	=C42*C\$54
69	Na	=C43*C\$54
70	K	=C44*C\$54
71	F	=C45*C\$54
72	Cl	=C46*C\$54
73	Zr	=C49*C\$54
74	La	=C47*C\$54
75	Ce	=C48*C\$54
76	H	=C50*C54
77		
78	Si	=C57
79	P	=C56
80	Al	=MAX(0;MIN(C59;8-C78-C79))
81	Summe	=SUMME(C78:C80)
82		
83	Ti	=C58
84	Al	=C59-C80
85	Fe <sup>3+</sup>	=C60
86	Cr	=C61
87	La	=C74
88	Ce	=C75
89	Zr	=C73
90	Mg	=C62

91	Mn	=C64
92	Fe <sup>2+</sup>	=C65
93	Ni	=C66
94	Zn	=C67
95	Summe	=SUMME(C83:C94)
96		
97	Ca	=C63
98	Ba	=C68
99	Na	=C69
100	K	=C70
101	Summe	=SUMME(C97:C100)
102		
103	F	=C71
104	Cl	=C72
105	OH Struktur	=MIN(4-C103-C104;C76)
106	OH Überschuß	=MAX(C76-C105;0)
107	Summe	=SUMME(C103:C106)
108		
109	Ca	=C97
110	Ba	=C98
111	Na <sub>korr.</sub>	=C99*(2-C97-C98)/(C99+C100)
112	K <sub>korr.</sub>	=C100*(2-C97-C98)/(C99+C100)
113	Summe	=SUMME(C109:C112)
114		
115	F	=C71
116	Cl	=C72
117	OH Struktur und korr.	=MIN(4-C103-C104;C76*(C138-C103-C104)/(C105+C106))
118	Summe	=SUMME(C115:C117)
119		
120	M <sub>2+</sub>	=C90+C91+C92+C93+C94
121	K	=C112
122	AlO	=C84
123	Na	=C111
124	BaCa	=C109+C110
125	Ti	=C83
126	M <sub>3+</sub>	=C86+C85
127		
128	Biotit	=-1/2*C120+2*C121-C122+3/2*C123+2*C124-4/3*C125-C126
129	Muskovit	=-1/2*C120+3/2*C121-1/2*C122+3/2*C123+C124-C125-3/4*C126
130	Na-Phlogopit	=1/2*C123
131	Ti-Glimmer	=1/3*C125
132	Fe <sub>3+</sub> -Glimmer	=1/4*C126
133	Sprödglimmer	=1/2*C124
134	Eastonit	=C120-3*C121+3/2*C122-3*C123-3*C124+2*C125+3/2*C126
135	Summe	=SUMME(C128:C134)
136		
137	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	1← wird durch Makro xFe2() berechnet und verändert
138	Multi <sub>H2O</sub>	4

139	Komponenten H2O	=4*(C128+C129+C130+C131+C132+C133+C134)-C138
140	H2O	=(C138-C100-C101)/(C102+C103)*C17
141	Differenz	=C17-C140

b) Makro zur Berechnung von  $F^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$  im Biotit

Sub XFe2()

*'Dieser Makro berechnet für einen Biotit das Eisen<sup>2+</sup> zu Eisentotal Verhältnis*

*'mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.*

*'Die Bedingung zur Berechnung ist die vollständige Zerlegung der Analyse, d.h.*

*'alle Komponenten ergeben eine Summe von 1.*

With ActiveSheet

.Select

*'Feld für Summe der Komponeten*

Dim zelle1 As String

*'Feld für Eisen2+ zu Eisentotal Verhältnis*

Dim zelle2 As String

*'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)*

Dim zelle3 As String

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe1 As Integer

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe2 As Integer

*'Start Zellen festlegen*

buchstabe1 = 2

buchstabe2 = 0

zelle1 = "C135"

zelle2 = "C137"

zelle3 = "C1"

*'Bedingungs zelle auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte*

*'bei der die Datensatznr. = 0 ist*

While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))

*'Bedingungs zelle auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Zielwertsuche durchführen*

Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)

*'Wenn das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis < 0 bzw. > 1 ist wird es auf 0 bzw 1 zurückgesetzt*

If Range(zelle2).Value < 0 Then

    Range(zelle2).Value = 0

End If

If Range(zelle2).Value > 1 Then

    Range(zelle2).Value = 1

End If

*'nächste Spalte ermitteln*

buchstabe1 = buchstabe1 + 1

If buchstabe2 = 22 Then

    If buchstabe1 = 10 Then

        buchstabe1 = buchstabe1 - 1

```
End If
Else
If buchstabe1 = 27 Then
buchstabe1 = 1
buchstabe2 = buchstabe2 + 1
End If
End If
If buchstabe2 = 0 Then
zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "135"
zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "137"
zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
Else
zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "135"
zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "137"
zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
End If
'zurück zur nächste Berechnung
Wend
End With
End Sub
```

**LXVIII Excel-Tabelle und Makro zur Klinopyroxenberechnung**

## a) Excel-Tabellenblatt zur Klinopyroxenberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C3:C21)-C20/2/18.998403*15.9994-C21/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C108*(C37*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C108)*C37*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	0
26	Summe	=C22-C11+C24+C25+C26
27		
28	P	=C3/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C4/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C5/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C6/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C7/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C8/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C9/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C10/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe	=C11/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C12/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C13/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C14/(137.33+15.9994)
40	Na	=C15/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C16/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C17/18.998403
43	Cl	=C18/35.453



Zeile / Spalte	B	C
44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C21/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C26/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenzen	=5*C29+4*(C30+C31+C47)+3*(C37*(1-C108)+C32+C33+C45+C46)+2*(C34+C35+C36+C37*C108+C38+C39+C40)+C41+C42
49	Norm	=12*1
50	Faktor	=C50/C49
51		
52	P	=C29*C\$51
53	Si	=C30*C\$51
54	Ti	=C31*C\$51
55	Al	=C32*C\$51
56	Fe <sup>3+</sup>	=C37*C\$51*(1-C108)
57	Cr	=C33*C\$51
58	Mg	=C34*C\$51
59	Ca	=C35*C\$51
60	Mn	=C36*C\$51
61	Fe <sup>2+</sup>	=C37*C\$51*C108
62	Ni	=C38*C\$51
63	Zn	=C39*C\$51
64	Ba	=C40*C\$51
65	Na	=C41*C\$51
66	K	=C42*C\$51
67	F	=C43*C\$51
68	Cl	=C44*C\$51
69	Zr	=C47*C\$51
70	La	=C45*C\$51
71	Ce	=C46*C\$51
72	H	=C48*C51
73		
74	Si	=MIN(2;C54)
75	P	=MAX(0;MIN(C53;2-C78))
76	Al <sub>Tetraeder</sub>	=MAX(0;MIN(C56;2-C78-C79))
77	Summe	=SUMME(C78:C80)
78		
79	Si <sub>Oktaeder</sub>	=C54-C78
80	Ti	=C55
81	P <sub>Oktaeder</sub>	=C53-C79
82	Al <sub>Oktaeder</sub>	=C56-C80
83	Fe <sup>3+</sup>	=C57
84	Cr	=C58
85	Mg	=C59
86	Ca	=C60
87	Mn	=C61
88	Fe <sup>2+</sup>	=C62
89	Ni	=C63

90	Zn	=C64
91	Ba	=C65
92	Na	=C66
93	K	=C67
94	Zr	=C70
95	La	=C71
96	Ce	=C72
97	Summe	=SUMME(C83:C100)
98		
99	F	=C68
100	Cl	=C69
101	H	=C73
102	Summe	=SUMME(C103:C105)
103		
104	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	1← wird durch Makro xFe2() berechnet und verändert
105	Na/(Al+Fe <sup>3+</sup> +Cr+La+Ce)	=(C117-C129-C130-C132*2-C133)
106		
107	Ca	=C90
108	Mg	=C89
109	Fe	=C92
110	M2	=C91+C93+C94+C95
111	Al4	=C80
112	Al6	=C86
113	Na	=C96+C97
114	Si	=C78
115	Ti	=C98+C84+C83
116	P	=C79
117	M3	=C100+C99+C88
118		
119	Woll	=1/2*C111
120	En	=1/2*C112
121	Fs	=C113/2
122	M <sup>2+</sup> -En	=1/2*C114
123	TS-Basis	=1/2*C115
124	Eskola-Basis	=-1/2*C111-1/2*C112-1/2*C113-1/2*C114-C117+1/2*C118-C119+C120
125	Jd	=2/3*C111+2/3*C112+2/3*C113+2/3*C114-C115+C116+4/3*C117-2/3*C118+4/3*C119-4/3*C120
126	Ae	=-2/3*C111-2/3*C112-2/3*C113-2/3*C114+C115-C116-1/3*C117+2/3*C118-4/3*C119+1/3*C120-C121
127	Ti-Px	=C119
128	P-Px	=1/2*C120
129	M <sup>3+</sup> -Jd	=C121
130	Summe	=SUMME(C123:C133)

b) Makro zur Berechnung von  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$  im Klinopyroxen

Sub XFe2()

' Dieser Makro berechnet für einen Klinopyroxen das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis  
' mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excel.

```
' Die Bedingung zur Berechnung ist die vollständige Zerlegung der Analyse, d.h.  
' alle Komponenten ergeben eine Summe von 1.  
With ActiveSheet  
.Select  
'Feld für Summe der Komponenten  
Dim zelle1 As String  
'Feld für Eisen2+ zu Eisentotal Verhältnis  
Dim zelle2 As String  
'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)  
Dim zelle3 As String  
'dient zur Berechnung der nächsten Spalte  
Dim buchstabe1 As Integer  
'dient zur Berechnung der nächsten Spalte  
Dim buchstabe2 As Integer  
'Start Zellen festlegen  
buchstabe1 = 2  
buchstabe2 = 0  
zelle1 = "C130"  
zelle2 = "C104"  
zelle3 = "C1"  
'Bedingungszeile auswählen  
Range(zelle1).Select  
'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte  
'bei der die Datensatznr. = 0 ist  
While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))  
'Bedingungszeile auswählen  
Range(zelle1).Select  
'Zielwertsuche durchführen  
Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)  
'Wenn das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis < 0 bzw. > 1 ist wird es auf 0 bzw 1 zurückgesetzt  
If Range(zelle2).Value < 0 Then  
    Range(zelle2).Value = 0  
End If  
If Range(zelle2).Value > 1 Then  
    Range(zelle2).Value = 1  
End If  
'nächste Spalte ermitteln  
buchstabe1 = buchstabe1 + 1  
If buchstabe2 = 22 Then  
    If buchstabe1 = 10 Then  
        buchstabe1 = buchstabe1 - 1  
    End If  
Else  
If buchstabe1 = 27 Then  
    buchstabe1 = 1  
    buchstabe2 = buchstabe2 + 1  
End If  
End If  
If buchstabe2 = 0 Then
```

```
zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "130"  
zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "104"  
zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
Else  
zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "130"  
zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "104"  
zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
End If  
'zurück zur nächste Berechnung  
Wend  
End With  
End Sub
```

**LXIX Excel-Tabelle und Makros zur Granatberechnung**

a) Excel-Tabellenblatt zur Granatberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C112*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C112)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=(MAX(0;1*C113))
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr <sup>3+</sup>	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe <sup>2+</sup>	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403
43	Cl	=C17/35.453

44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=5*C28+4*(C29+C30+C46)+3*(C36*(1-C112)+C31+C32+C44+C45) +2*(C33+C34+C35+C36*C112+C37+C38+C39) +C40+C41+C47+C42+C43
49	Norm	=1*24
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe <sup>3+</sup>	=C36*C\$50*(1-C112)
57	Cr <sup>3+</sup>	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe <sup>2+</sup>	=C36*C\$50*C112
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	P	=MAX(0;MIN(C52;3-C75))
75	Si	=C53
76	Al	=MAX(0;MIN(3-C74-C75-C77-C78-C79;C55;C84-C101-C102))
77	H	=MAX(0;C72)
78	F	=MAX(0;C67)
79	Cl	=MAX(0;C68)
80	Summe	=SUMME(C74:C79)
81	Summe (H/4; F/4; Cl/4)	=C74+C75+C76+C77/4+C78/4+C79/4
82		
83	Si <sub>Oktaeder</sub>	=C53-C75
84	Ti	=C54
85	P <sub>Oktaeder</sub>	=C52-C74
86	Al <sub>Oktaeder</sub>	=C55-C76
87	Fe <sup>3+</sup>	=C56
88	Cr	=C57
89	Zr	=C69
90	La	=C70

91	Ce	=C71
92	Summe	=SUMME(C83:C91)
93		
94	Mg	=C58
95	Ca	=C59
96	Mn	=C60
97	Fe <sup>2+</sup>	=C61
98	Ni	=C62
99	Zn	=C63
100	Ba	=C64
101	Na	=C65
102	K	=C66
103	Summe	=SUMME(C94:C102)
104		
105	M <sup>2+</sup>	=C94+C95+C96+C97+C98+C99+C100
106	M <sup>3+</sup>	=C87+C88+C90+C91
107	Al	=C76
108	H,F,Cl	=C67+C68+C72
109	Na,K	=C102+C101
110	Ti,Zr,Si	=C84+C83+C89
111		
112	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	1←wird durch Makro xFe2() berechnet und verändert
113	H <sub>2</sub> O-Faktor	0←wird durch Makro xH2O() berechnet und verändert
114		
115	M <sup>2+</sup> AGt	=1/3*C105-1/2*C106-1/3*C107-1/4*C108-1/6*C110
116	M <sup>2+</sup> M <sup>3+</sup> Gt	=1/2*C106
117	TiAl <sup>4</sup> GT	=1/2*C107
118	NaTi-GT	=-1/2*C107+1/2*C110
119	HydroGT	=1/4*C108
120	P-Na-Gt	=1/3*C107+1/3*C109-1/3*C110
121	Summe	=SUMME(C115:C120)
122		
123	Pyrope	=C115*(C94)/(C105-3*(C129+C130+C131+C128+C132)+0.000000000001)
124	Spessartin	=C115*C96/(C105-3*(C129+C130+C131+C128+C132)+0.000000000001)
125	Almandin	=C115*C97/(C105-3*(C129+C130+C131+C128+C132)+0.000000000001)
126	Grossular	=C115*(C95-3*(C129+C130+C131+C128+C132))/(C105-3*(C129+C130+C131+C128+C132)+0.000000000001)
127	Skiagit	=MIN(C97/3;C116-C128)
128	Andradit	=MIN(C95/3-C129-C130-C131-C132;C116)
129	Hydrogrossular	=C119*C77/(C77+C78+C79+0.000000000001)
130	Fluorgrossular	=C119*C78/(C77+C78+C79+0.000000000001)
131	Chlorgrossular	=C119*C79/(C77+C78+C79+0.000000000001)
132	Uwarowit	=C116*C88/(C106+0.000000000001)
133	Summe	=SUMME(C123:C132)

b) Makro zur Berechnung von  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$  im Granat

Sub XFe2()

*'Dieser Makro berechnet für einen Granat das Eisen<sup>2+</sup> zu Eisentotal Verhältnis*

*'mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.*

*'Die Bedingung zur Berechnung ist die vollständige Zerlegung der Analyse, d.h.*

*'alle Komponenten ergeben eine Summe von 1.*

With ActiveSheet

.Select

*'Feld für Summe der Komponenten*

Dim zelle1 As String

*'Feld für Eisen<sup>2+</sup> zu Eisentotal Verhältnis*

Dim zelle2 As String

*'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)*

Dim zelle3 As String

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe1 As Integer

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe2 As Integer

*'Start Zellen festlegen*

buchstabe1 = 2

buchstabe2 = 0

zelle1 = "C121"

zelle2 = "C112"

zelle3 = "C1"

*'Bedingungszone auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte*

*'bei der die Datensatznr. = 0 ist*

While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))

*'Bedingungszone auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Zielwertsuche durchführen*

Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)

*'Wenn das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis < 0 bzw. > 1 ist wird es auf 0 bzw 1 zurückgesetzt*

If Range(zelle2).Value < 0 Then

    Range(zelle2).Value = 0

End If

If Range(zelle2).Value > 1 Then

    Range(zelle2).Value = 1

End If

*'nächste Spalte ermitteln*

buchstabe1 = buchstabe1 + 1

If buchstabe2 = 22 Then

    If buchstabe1 = 10 Then

        buchstabe1 = buchstabe1 - 1

    End If

Else

If buchstabe1 = 27 Then

    buchstabe1 = 1



```

    buchstabe2 = buchstabe2 + 1
    End If
End If
If buchstabe2 = 0 Then
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "121"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "112"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
Else
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "121"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "112"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
End If
'zurück zur nächste Berechnung
Wend
End With
End Sub

c) Makro zur Berechnung von H2O im Granat
Sub XH2O()
    'Dieser Makro ermöglicht die Berechnung des H2O-Gehalts der Granate
    'mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excells.
    'Die Bedingung zur Berechnung ist die vollständige Besetzung der Tetraederpositionen
With ActiveSheet
    .Select
    'Feld für Summe der Komponenten
    Dim zelle1 As String
    'Feld für den H2O-Gehalt
    Dim zelle2 As String
    'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)
    Dim zelle3 As String
    'dient zur Berechnung der nächsten Spalte
    Dim buchstabe1 As Integer
    'dient zur Berechnung der nächsten Spalte
    Dim buchstabe2 As Integer
    'Start Zellen festlegen
    buchstabe1 = 2
    buchstabe2 = 0
    zelle1 = "C81"
    zelle2 = "C113"
    zelle3 = "C1"
    'Bedingungszeile auswählen
    Range(zelle1).Select
    'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte
    'bei der die Datensatznr. = 0 ist
    While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))
        'Bedingungszeile auswählen
        Range(zelle1).Select
        'Zielwertsuche durchführen
        Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)
    End While
End With
End Sub

```

```
'Wenn der H2O-Gehalt unter 0 sinkt wird der Gehalt auf 0 zurück gesetzt.  
If Range(zelle2).Value < 0 Then  
    Range(zelle2).Value = 0  
End If  
'nächste Spalte ermitteln  
buchstabe1 = buchstabe1 + 1  
If buchstabe2 = 22 Then  
    If buchstabe1 = 10 Then  
        buchstabe1 = buchstabe1 - 1  
    End If  
Else  
    If buchstabe1 = 27 Then  
        buchstabe1 = 1  
        buchstabe2 = buchstabe2 + 1  
    End If  
End If  
If buchstabe2 = 0 Then  
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "81"  
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "113"  
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
Else  
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "81"  
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "113"  
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
End If  
'zurück zur nächste Berechnung  
Wend  
End With  
End Sub
```

**LXX Excel-Tabelle und Makros zur Epidotberechnung**

a) Excel-Tabellenblatt zur Epidotberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C74*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C74)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=C75
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403
43	Cl	=C17/35.453

44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=C29
49	Norm	=3*1
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe3	=C36*C\$50*(1-C74)
57	Cr	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe	=C36*C\$50*C74
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	Fe2/(Fe2+Fe3)	1←wird durch Makro xFe2() berechnet und verändert
75	H2O-Faktor	0←wird durch Makro xH2O() berechnet und verändert
76		
77	Si	=MIN(3;C53)
78	P	=MAX(0;MIN(C52;3-C77))
79	Summe	=SUMME(C77:C78)
80		
81	Al	=MIN(2;C55)
82	Summe	=SUMME(C81)
83		
84	Ti	=C54
85	Al	=MAX(0;C55-C81)
86	Fe <sup>3+</sup>	=C56
87	Cr	=C57
88	Mg	=C58
89	Mn	=C60
90	Fe <sup>2+</sup>	=C61
91	Ni	=C62

92	Zn	=C63
93	Summe	=SUMME(C84:C92)
94		
95	Ca	=C59
96	Ba	=C64
97	Na	=C65
98	K	=C66
99	REE	=MAX(0;2-SUMME(C95:C98))
100	Summe	=SUMME(C95:C99)
101		
102	F	=C67
103	Cl	=C68
104	H	=C72
105	Summe	=SUMME(C102:C104)
106		
107		
108	Al	=(C81+C85)/(C82+C93)*3
109	Fe	=(C86+C90)/(C82+C93)*3
110	Mn	=C89/(C82+C93)*3
111	REE	=C99/C100*2
112	M <sup>2+</sup>	=(C88+C91+C92)/(C93+C82)*3
113	M <sup>3+</sup>	=(C84+C87)/(C93+C82)*3
114		
115	Clinozoisit	=1/3*C108-2/3*C109-2/3*C110-2/3*C112-2/3*C113
116	Epidot	=C109-C111+C112
117	Piemontit	=C110
118	Allanit	=C111-C112
119	M <sup>2+</sup> Aln	=C112
120	M <sup>3+</sup> -Epidot	=C113
121	Summe	=SUMME(C115:C120)
122		
123	Fe <sup>2+</sup> -Ree	=C88-C97

b) Makro zur Berechnung von  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$  im Epidot

Sub XFe2()

' Dieser Makro berechnet für einen Granat das Eisen<sup>2+</sup> zu Eisentotal Verhältnis

' mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.

' Die Bedingung zur Berechnung ist ein Verhältnis von zwischen Fe<sup>2+</sup> und REE von 1:1.

With ActiveSheet

.Select

'Feld für Summe der Komponenten

Dim zelle1 As String

'Feld für Eisen<sup>2+</sup> zu Eisentotal Verhältnis

Dim zelle2 As String

'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)

Dim zelle3 As String

'dient zur Berechnung der nächsten Spalte

Dim buchstabe1 As Integer

```
'dient zur Berechnung der nächsten Spalte
Dim buchstabe2 As Integer
'Start Zellen festlegen
buchstabe1 = 2
buchstabe2 = 0
zelle1 = "C123"
zelle2 = "C74"
zelle3 = "C1"
'Bedingungszone auswählen
Range(zelle1).Select
'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte
'bei der die Datensatznr. = 0 ist
While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))
'Bedingungszone auswählen
Range(zelle1).Select
'Zielwertsuche durchführen
Range(zelle1).GoalSeek Goal:=0#, ChangingCell:=Range(zelle2)
'Wenn das Eisen 2+ zu Eisentotal Verhältnis < 0 bzw. > 1 ist wird es auf 0 bzw 1 zurückgesetzt
If Range(zelle2).Value < 0 Then
    Range(zelle2).Value = 0
End If
If Range(zelle2).Value > 1 Then
    Range(zelle2).Value = 1
End If
'nächste Spalte ermitteln
buchstabe1 = buchstabe1 + 1
If buchstabe2 = 22 Then
    If buchstabe1 = 10 Then
        buchstabe1 = buchstabe1 - 1
    End If
Else
    If buchstabe1 = 27 Then
        buchstabe1 = 1
        buchstabe2 = buchstabe2 + 1
    End If
End If
If buchstabe2 = 0 Then
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "123"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "74"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
Else
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "123"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "74"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
End If
'zurück zur nächsten Berechnung
Wend
End With
End Sub
```

c) Makro zur Berechnung von H<sub>2</sub>O im Epidot

Sub XH2O()

*'Dieser Makro ermöglicht die Berechnung des H<sub>2</sub>O-Gehalts der Epidote**'mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.**'Die Bedingung zur Berechnung ist das Vorhandensein einer (OH,F)-Gruppe im Epidot*

With ActiveSheet

.Select

*'Feld für Summe der Komponenten*

Dim zelle1 As String

*'Feld für den H<sub>2</sub>O-Gehalt*

Dim zelle2 As String

*'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)*

Dim zelle3 As String

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe1 As Integer

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe2 As Integer

*'Start Zellen festlegen*

buchstabe1 = 2

buchstabe2 = 0

zelle1 = "C105"

zelle2 = "C75"

zelle3 = "C1"

*'Bedingungszone auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte**'bei der die Datensatznr. = 0 ist*

While (Range(zelle3).Value &lt;&gt; 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))

*'Bedingungszone auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Zielwertsuche durchführen*

Range(zelle1).GoalSeek Goal:=1#, ChangingCell:=Range(zelle2)

*'Wenn der H<sub>2</sub>O-Gehalt unter 0 sinkt wird der Gehalt auf 0 zurück gesetzt.*

If Range(zelle2).Value &lt; 0 Then

Range(zelle2).Value = 0

End If

*'nächste Spalte ermitteln*

buchstabe1 = buchstabe1 + 1

If buchstabe2 = 22 Then

If buchstabe1 = 10 Then

buchstabe1 = buchstabe1 - 1

End If

Else

If buchstabe1 = 27 Then

buchstabe1 = 1

buchstabe2 = buchstabe2 + 1

End If

End If

If buchstabe2 = 0 Then

```
zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "105"  
zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "75"  
zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
Else  
zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "105"  
zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "75"  
zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"  
End If  
'zurück zur nächste Berechnung  
Wend  
End With  
End Sub
```



## LXXI Excel-Tabelle und Makros zur Titanitberechnung

a) Excel-Tabellenblatt zur Titanitberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C112*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C112)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=(MAX(0;1*C113))
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403
43	Cl	=C17/35.453

44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=C28+C29
49	Norm	1
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe <sup>3+</sup>	=C36*C\$50*(1-C112)
57	Cr	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe <sup>2+</sup>	=C36*C\$50*C112
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	Si	=MIN(1;C53)
75	P	=MAX(0;MIN(C52;1-C74))
76	Summe	=SUMME(C74:C75)
77		
78	SiO <sub>6</sub> taeder	=C53-C74
79	Ti	=C54
80	PO <sub>4</sub> taeder	=C52-C75
81	AlO <sub>6</sub> taeder	=C55
82	Fe <sup>3+</sup>	=C56
83	Cr <sup>3+</sup>	=C57
84	Zr	=C69
85	La	=C70
86	Ce	=C71
87	Summe	=SUMME(C78:C86)
88		
89	Mg	=C58
90	Ca	=C59
91	Mn	=C60

92	Fe <sup>2+</sup>	=C61
93	Ni	=C62
94	Zn	=C63
95	Ba	=C64
96	Na	=C65
97	K	=C66
98	Summe	=SUMME(C89:C97)
99		
100	F	=C67
101	Cl	=C68
102	H	=C72
103	Summe	=SUMME(C100:C102)
104		
105	Ti (Zr)	=C79
106	Ca (Ba)	=C90/C98
107	Al	=C81
108	Fe <sup>3+</sup>	=(C82+C83)
109	M <sup>2+</sup>	=(C91+C92+C93+C94)/C98
110	M <sup>1+</sup>	=(C96+C97)/C98
111		
112	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	0
113	H <sub>2</sub> O-Faktor	0 ← wird durch Makro xH <sub>2</sub> O() berechnet und verändert
114		
115	Titanit i.e.S.	=C105-C109-C110
116	Vuangatit	=C107
117	Fe-Titanit	=C108
118	Ree-Titanit	=-C105-C107-C108+C106+C109+C110
119	M <sup>2+</sup> Titanit	=C109
120	M <sup>1+</sup> Titanit	=C110
121	Summe	=SUMME(C115:C120)
122		
123	Diff (H+F+Cl)	=C100+C101+C102-C116-C117-MAX(0;C118)-C120

b) Makro zur Berechnung von H<sub>2</sub>O im TitanitSub XH<sub>2</sub>O()

*'Dieser Makro ermöglicht die Berechnung des H<sub>2</sub>O-Gehalts der Epidote*

*' mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.*

*'Nach der Berechnung muß die Anzahl der (OH,F)-Gruppen der Anzahl der dreiwertigen*

*'und einwertigen Kationen entsprechen.*

## With ActiveSheet

.Select

*'Feld für Summe der Komponenten*

Dim zelle1 As String

*'Feld für den H<sub>2</sub>O-Gehalt*

Dim zelle2 As String

*'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)*

Dim zelle3 As String

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

```
Dim buchstabe1 As Integer
'dient zur Berechnung der nächsten Spalte
Dim buchstabe2 As Integer
'Start Zellen festlegen
buchstabe1 = 2
buchstabe2 = 0
zelle1 = "C123"
zelle2 = "C113"
zelle3 = "C1"
'Bedingungszone auswählen
Range(zelle1).Select
'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte
'bei der die Datensatznr. = 0 ist
While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))
  'Bedingungszone auswählen
  Range(zelle1).Select
  'Zielwertsuche durchführen
  Range(zelle1).GoalSeek Goal:=0#, ChangingCell:=Range(zelle2)
  'Wenn der H2O-Gehalt unter 0 sinkt wird der Gehalt auf 0 zurück gesetzt.
  If Range(zelle2).Value < 0 Then
    Range(zelle2).Value = 0
  End If
  'nächste Spalte ermitteln
  buchstabe1 = buchstabe1 + 1
  If buchstabe2 = 22 Then
    If buchstabe1 = 10 Then
      buchstabe1 = buchstabe1 - 1
    End If
  Else
    If buchstabe1 = 27 Then
      buchstabe1 = 1
      buchstabe2 = buchstabe2 + 1
    End If
  End If
  If buchstabe2 = 0 Then
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "123"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "113"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
  Else
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "123"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "113"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
  End If
  'zurück zur nächste Berechnung
Wend
End With
End Sub
```

**LXXII Excel-Tabelle zur Feldspat- und Feldspathydratberechnung**

a) Excel-Tabellenblatt zur Feldspat- und Feldspathydratberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C74*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C74)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	0← wird durch Makro xH2O() berechnet und verändert
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403

43	Cl	=C17/35.453
44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=5*C28+4*(C29+C30+C46)+3*(C36*(1-C74)+C31+C32+C44+C45)+2*(C33+C34+C35+C36*C74+C37+C38+C39)+C40+C41
49	Norm	16
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe <sup>3+</sup>	=C36*C\$50*(1-C74)
57	Cr	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe <sup>2+</sup>	=C36*C\$50*C74
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	=0
75		
76	Si	=C53
77	P	=C52
78	Al <sup>Tetraeder</sup>	=C55
79	Fe <sup>3+</sup>	=C56
80	Cr <sup>3+</sup>	=C57
81	Summe	=SUMME(C76:C78)
82		
83	Ti	=C54
84	Mg	=C58
85	Ca	=C59
86	Mn	=C60
87	Fe	=C61
88	Ni	=C62
89	Zn	=C63

90	Ba	=C64
91	Na	=C65
92	K	=C66
93	Zr	=C69
94	La	=C70
95	Ce	=C71
96	Summe	=SUMME(C83:C95)
97		
98	F	=C67
99	Cl	=C68
100	H	=C72
101	Summe	=SUMME(C98:C100)
	An	=C92/C96*C78/(C78+C79+C80)
	Ab	=C91/C96
	Or	=C85/C96
	Fe-Kf	=C92/C96*C79/(C78+C79+C80)
	Summe	=SUMME(C103:C106)

c) Makro zur Berechnung von H<sub>2</sub>O im Kalifeldspathydrat

Sub XH2O()

*' Dieser Makro ermöglicht die Berechnung des H<sub>2</sub>O-Gehalts der Epidote*

*' mittels der eingebauten Zielwertsuche des Microsoft Excels.*

*' Die Bedingung zur Berechnung ist das Vorhandensein eines H<sub>2</sub>O Moleküls oder zweier F-Atome*

*' im Kalifeldspathydrat.*

With ActiveSheet

.Select

*'Feld für Summe der Komponenten*

Dim zelle1 As String

*'Feld für den H2O-Gehalt*

Dim zelle2 As String

*'Feld für Abbruchbedingung (Datensatznr.)*

Dim zelle3 As String

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe1 As Integer

*'dient zur Berechnung der nächsten Spalte*

Dim buchstabe2 As Integer

*'Start Zellen festlegen*

buchstabe1 = 2

buchstabe2 = 0

zelle1 = "C101"

zelle2 = "C25"

zelle3 = "C1"

*'Bedingungszeile auswählen*

Range(zelle1).Select

*'Schleife: es werden alle Spalten bearbeitet bis zum Index IV oder bis zur ersten Spalte*

*'bei der die Datensatznr. = 0 ist*

While (Range(zelle3).Value <> 0) Or ((buchstabe2 = 22) And (buchstabe1 = 9))

```

'Bedingungszeile auswählen
Range(zelle1).Select
'Zielwertsuche durchführen
Range(zelle1).GoalSeek Goal:=2#, ChangingCell:=Range(zelle2)
'Wenn der H2O-Gehalt unter 0 sinkt wird der Gehalt auf 0 zurück gesetzt.
If Range(zelle2).Value < 0 Then
    Range(zelle2).Value = 0
End If
'nächste Spalte ermitteln
buchstabe1 = buchstabe1 + 1
If buchstabe2 = 22 Then
    If buchstabe1 = 10 Then
        buchstabe1 = buchstabe1 - 1
    End If
Else
    If buchstabe1 = 27 Then
        buchstabe1 = 1
        buchstabe2 = buchstabe2 + 1
    End If
End If
If buchstabe2 = 0 Then
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe1) + "101"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe1) + "25"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe1) + "1"
Else
    zelle1 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "101"
    zelle2 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "25"
    zelle3 = Chr(64 + buchstabe2) + Chr(64 + buchstabe1) + "1"
End If
'zurück zur nächste Berechnung
Wend
End With
End Sub

```



**LXXIII Excel-Tabelle zur Apatitberechnung**

a) Excel-Tabellenblatt zur Apatitberechnung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C74*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C74)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=C100/C50/2*(15.994+1.0079*2)
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe <sub>2+</sub>	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403
43	Cl	=C17/35.453

44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=C30+C31+C32+C33+C34+C35+C36+C37+C38+C39+C40+C41
49	Norm	=5
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe <sup>3+</sup>	=C36*C\$50*(1-C74)
57	Cr	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe	=C36*C\$50*C74
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	1
75		
76		
77	Summe Kationen	=SUMME(C52:C66)+C69+C70+C71
78		
79	P	=C52
80	Si	=C53
81	Summe	=SUMME(C79:C80)
82		
83		
84	Ti	=C54
85	Al	=MIN((6-C79-C80);C55)
86	Cr <sup>3+</sup>	=C57
87	Mg	=C58
88	Ca	=C59
89	Mn	=C60
90	Fe	=C61
91	Ni	=C62

92	Zn	=C63
93	Ba	=C64
94	Na	=C65
95	K	=C66
96	Summe	=SUMME(C84:C95)
97		
98	F	=C67
99	Cl	=C68
100	OH	=MAX(0;1-C99-C98)
101	Summe	=C98+C99+C100

## LXXIV Excel-Tabelle zur Normierung von Quenchprodukten

a) Excel-Tabellenblatt zur Quenchproduktnormierung

Zeile / Spalte	B	C
1	Datensatznr.	
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3	SiO <sub>2</sub>	
4	TiO <sub>2</sub>	
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
7	MgO	
8	CaO	
9	MnO	
10	FeO	
11	NiO	
12	ZnO	
13	BaO	
14	Na <sub>2</sub> O	
15	K <sub>2</sub> O	
16	ZrO <sub>2</sub>	
17	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
18	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
19	F	
20	Cl	
21	Summe	=SUMME(C2:C20)-C16/2/18.998403*15.9994-C17/2/35.453*15.9994
22		
23	FeO	=C74*(C36*((55.847)+(1*15.9994)))
24	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=(1-C74)*C36*((55.847*2)+(3*15.9994))/2
25	H <sub>2</sub> O	=(MAX(0;1*C75))
26	Summe	=C21-C10+C23+C24+C25
27		
28	P	=C2/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
29	Si	=C3/((28.0855)+(2*15.9994))
30	Ti	=C4/((47.88)+(2*15.9994))
31	Al	=C5/((26.98154*2)+(3*15.9994))*2
32	Cr	=C6/((51.938*2)+(3*15.9994))*2
33	Mg	=C7/((24.305)+(1*15.9994))
34	Ca	=C8/((40.08)+(1*15.9994))
35	Mn	=C9/((54.938)+(1*15.9994))
36	Fe	=C10/((55.847)+(1*15.9994))
37	Ni	=C11/((58.69)+(1*15.9994))
38	Zn	=C12/((65.38)+(1*15.9994))
39	Ba	=C13/(137.33+15.9994)
40	Na	=C14/((22.98977*2)+(15.9994))*2
41	K	=C15/((39.0983*2)+(15.9994))*2
42	F	=C16/18.998403
43	Cl	=C17/35.453

44	La	=C19/(138.9055*2+3*15.9994)*2
45	Ce	=C20/(140.12*2+3*15.9994)*2
46	Zr	=C18/(91.22+2*15.9994)
47	H	=(C25/(2*1.00794+15.9994))*2
48	Valenz	=SUMME(C28:C47)
49	Norm	=1*100
50	Faktor	=C49/C48
51		
52	P	=C28*C\$50
53	Si	=C29*C\$50
54	Ti	=C30*C\$50
55	Al	=C31*C\$50
56	Fe3	=C36*C\$50*(1-C74)
57	Cr	=C32*C\$50
58	Mg	=C33*C\$50
59	Ca	=C34*C\$50
60	Mn	=C35*C\$50
61	Fe	=C36*C\$50*C74
62	Ni	=C37*C\$50
63	Zn	=C38*C\$50
64	Ba	=C39*C\$50
65	Na	=C40*C\$50
66	K	=C41*C\$50
67	F	=C42*C\$50
68	Cl	=C43*C\$50
69	Zr	=C46*C\$50
70	La	=C44*C\$50
71	Ce	=C45*C\$50
72	H	=C47*C50
73		
74	Fe2/(Fe2+Fe3)	0
75	H2O-Faktor	0
76		
77	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=C2/C\$21*100
78	SiO <sub>2</sub>	=C3/C\$21*100
79	TiO <sub>2</sub>	=C4/C\$21*100
80	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=C5/C\$21*100
81	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=C6/C\$21*100
82	MgO	=C7/C\$21*100
83	CaO	=C8/C\$21*100
84	MnO	=C9/C\$21*100
85	FeO	=C10/C\$21*100
86	NiO	=C11/C\$21*100
87	ZnO	=C12/C\$21*100
88	BaO	=C13/C\$21*100
89	Na <sub>2</sub> O	=C14/C\$21*100
90	K <sub>2</sub> O	=C15/C\$21*100
91	ZrO <sub>2</sub>	=C16/C\$21*100

92	$\text{La}_2\text{O}_3$	=C17/C\$21*100
93	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	=C18/C\$21*100
94	F	=C19/C\$21*100
95	Cl	=C20/C\$21*100
96	Summe	=SUMME(C77:C95)

**LXXV Excel-Tabelle zur Berechnung von Quenchprodukten**

Dieses Tabellenblatt enthält die Anpassungen der wichtigsten Element an die Meßergebnisse der Quenchprodukte aus den Versuche mit 9.9 Gew.% H<sub>2</sub>O-Gehalt. Es dient zur Berechnung von Zusammensetzungen möglicher Quenchprodukte bei Druck-Temperatur-Bedingungen von 25kbar-45kbar und 675°C-900°C.

## a) Excel-Tabellenblatt zur Quenchproduktberechnung

Zeile / Spalte	B			C
1	Element	P2O5	P	0
2	FP	0.00376791993068	T	0
3	FP^2	-0.00007213338986	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=B\$2*D1+B\$3*D1*D1+B\$4*D2+B\$5*D2*D2+B\$6
4	FT	0.00284000263041	SiO <sub>2</sub>	=B\$8*D1+B\$9*D1*D1+B\$10*D2+B\$11*D2*D2+B\$12
5	FT^2	-0.0000014300143	TiO <sub>2</sub>	=B\$14*D1+B\$15*D1*D1+B\$16*D2+B\$17*D2*D2+B\$18
6	Offset	-1.29153565045076	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=B\$20*D1+B\$21*D1*D1+B\$22*D2+B\$23*D2*D2+B\$24
7	MnO	SiO2	MgO	=MAX(0;B\$26*D1+B\$27*D1*D1+B\$28*D2+B\$29*D2*D2+B\$30)
8	0.00621244492849	-0.2356137413	CaO	=B\$32*D1+B\$33*D1*D1+B\$34*D2+B\$35*D2*D2+B\$36
9	-0.00011400852226	-0.000785752707	MnO	=MAX(0;A\$8*D1+A\$9*D1*D1+A\$10*D2+A\$11*D2*D2+A\$12)
10	0.00058842291732	-0.168544017518	FeO	=MAX(0;A\$14*D1+A\$15*D1*D1+A\$16*D2+A\$17*D2*D2+A\$18)
11	-0.00000023729276	0.000117463282	Na <sub>2</sub> O	=A\$20*D1+A\$21*D1*D1+A\$22*D2+A\$23*D2*D2+A\$24
12	-0.32658664728779	140.09695145569	K <sub>2</sub> O	=A\$26*D1+A\$27*D1*D1+A\$28*D2+A\$29*D2*D2+A\$30
13	FeO	TiO2	F	=A\$32*D1+A\$33*D1*D1+A\$34*D2+A\$35*D2*D2+A\$36
14	0.03740329697702	0.00465705836671	Summe	=SUMME(D3:D13)
15	-0.00117896054366	-0.00009013102105		
16	0.07409850849295	0.01027288408261	Alkalien	=D11+D12
17	-0.00004381992362	-0.00000593561019		
18	-30.1064086409424	-4.25518880275163	P	=D3/((30.974*2)+(5*15.9994))*2
19	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si	=D4/((28.0855)+(2*15.9994))
20	0.36550554041231	-0.01347869814439	Ti	=D5/((47.88)+(2*15.9994))
21	-0.00509471133996	-0.00169328399096	Al	=D6/((26.98154*2)+(3*15.9994))

				9994))*2
22	0.0941468035591	0.01491345101532	Mg	=D7/((24.305)+(1*15.9994))
23	-0.00006131661097	-0.00000454711373	Ca	=D8/((40.08)+(1*15.9994))
24	-39.6674749701436	6.78622883850126	Mn	=D9/((54.938)+(1*15.9994))
25	K2O	MgO	Fe	=D10/((55.847)+(1*15.9994))
26	-0.2721889345624	-0.0080880377843	Na	=D11/((22.98977*2)+(15.9994))*2
27	0.01034848351555	0.00003025133282	K	=D12/((39.0983*2)+(15.9994))*2
28	-0.12859999916056	0.00725563407185	F	=D13/18.998403
29	0.00006193757597	-0.00000426543287	Summe	=SUMME(D18:D28)
30	69.3650798282653	-2.70696219079685		
31	F	CaO	P	=D18*100/D\$29
32	-0.01295546750462	-0.00885456548817	Si	=D19*100/D\$29
33	0.00040585751483	0.00024974133848	Ti	=D20*100/D\$29
34	-0.0057289821724	0.01910093841754	Al	=D21*100/D\$29
35	0.00000296800892	-0.00001216753323	Mg	=D22*100/D\$29
36	2.91387023225091	-6.6549435934004	Ca	=D23*100/D\$29
37			Mn	=D24*100/D\$29
38			Fe	=D25*100/D\$29
39			Na	=D26*100/D\$29
40			K	=D27*100/D\$29
41			F	=D28*100/D\$29
42			Summe	=D29*100/D\$29
43				
44			P2O5	=D3*100/D\$14
45			SiO2	=D4*100/D\$14
46			TiO2	=D5*100/D\$14
47			Al2O3	=D6*100/D\$14
48			MgO	=D7*100/D\$14
49			CaO	=D8*100/D\$14
50			MnO	=D9*100/D\$14
51			FeO	=D10*100/D\$14
52			Na2O	=D11*100/D\$14
53			K2O	=D12*100/D\$14
54			F	=D13*100/D\$14
55			Summe	=D14*100/D\$14
56				
57			R1	=D23*6+D22*2+D21
58			R2	=D19*4-11*(D26+D27)-2*(D25+D20)



## **LXXVI Das CARLO-Programm**

Das CARLO-Programm berechnet Druck-Temperatur-Punkte für Phengit-Granat-Klinopyroxen Paragenesen. Dazu variiert das Programm bis zu 33 Elemente in beliebig vielen Schritten innerhalb eines vorgegebenen Fehlers. Die Anzahl der aus dieser Berechnung folgenden Ergebnisse errechnet sich aus der Formel: [variierte Element]<sup>[Variationsschritte]</sup>. Die Ergebnisdatei kann in eine gängige Tabellenkalkulation eingeladen und dort graphisch dargestellt werden.

Zur Berechnung der Temperatur stehen in diesem Programm zwei Thermometer zur Auswahl:

- Granat-Phengit (Green & Hellman; 1982) und
- Granat-Klinopyroxen (Powell 1985).

Die Berechnung des Drucks geschieht mit Hilfe des Geobarometers von Waters & Martin (1996).

### **Handhabung:**

Zur Berechnung müssen die Gewichtsprozentage der Phasen in die entsprechenden Felder der Programmoberfläche eingegeben werden. Die Berechnung der Mineralformel geschieht intern und orientiert sich an den oben genannten Literaturstellen. In die Felder für den mittleren Fehler sollten die nach der in Kapitel 5.6.2 errechneten Werte für die Fehler der jeweiligen zu variiierenden Elemente eingesetzt werden. Die zu variiierenden Elemente werden durch einen „Doppelclick“ in das Fehlereingabefeld markiert, wodurch es sich rotfärbt.

Die Anzahl der Schritte wird durch Eingabe einer beliebigen Zahl in das entsprechende Feld festgelegt. Es ist jedoch zu beachten, daß die Menge der errechneten Ergebnisse durch hohe Zahlen in diesem Feld schnell anwächst.

Startdruck und Temperatur sollten möglichst in der Nähe des zu erwartenden Druck-Temperatur-Punktes gewählt werden, um die Rechenzeit zu verkürzen.

Als letztes muß das gewünschte Thermometer mit Hilfe der Auswahlliste gewählt werden.

Die Berechnung beginnt nach betätigen des Startknopfes und kann einige Minuten aber auch Stunden dauern. Nach dem Start kann der Benutzer in einem Dialog eine Ausgabe Datei auswählen.

Der Knopf „Ende“ beendet das Programm.

Granat		Klinopyroxen		Phengit				
EMS-Analyse	mittlerer Fehler	EMS-Analyse	mittlerer Fehler	EMS-Analyse	mittlerer Fehler			
SiO <sub>2</sub>	0.00	1.00	SiO <sub>2</sub>	0.00	1.00	SiO <sub>2</sub>	0.00	1.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	1.00	TiO <sub>2</sub>	0.00	1.00	TiO <sub>2</sub>	0.00	1.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	1.00
MgO	0.00	1.00	MgO	0.00	1.00	MgO	0.00	1.00
FeO	0.00	1.00	FeO	0.00	1.00	FeO	0.00	1.00
CaO	0.00	1.00	CaO	0.00	1.00	CaO	0.00	1.00
MnO	0.00	1.00	MnO	0.00	1.00	MnO	0.00	1.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	1.00	Na <sub>2</sub> O	0.00	1.00	Na <sub>2</sub> O	0.00	1.00
K <sub>2</sub> O	0.00	1.00	K <sub>2</sub> O	0.00	1.00	K <sub>2</sub> O	0.00	1.00
F	0.00	1.00	F	0.00	1.00	F	0.00	1.00

Anzahl der Schritte pro Element: 3    Startdruck: 1    Starttemperatur: 300

gewünschtes Thermometer: [Dropdown]

Start    Status: .....    Ende

Abb. LXXIV.1 Oberfläche des Programms Carlo.

## LXXVII Quellcode des CARLO-Programms

Diese Programm wurde auf Delphi 3.0 geschrieben.

### a) Projektdatei

```
program Carlo;
{Projektdatei}
uses
  Forms,
  Montel in 'Montel.pas' {Form1},
  CalcPT in 'CalcPT.pas';

{$R *.RES}

begin
  Application.Initialize;
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);
  Application.Run;
end
```

### b) Modul Montel

```
unit Montel;

interface

{Bibliotheken}
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Menus, CalcPT, Db, DBTables;

const
  {Molgewichte der Oxide}
  MSiO2= 28.0855+2*15.9994;
  MTiO2= 47.88+2*15.9994;
  MAI2O3= 26.98154*2+3*15.9994;
  MCr2O3= 51.996*2+3*15.9994;
  MFeO= 55.847+15.9994;
  MFe2O3= 55.847*2+15.9994*3;
  MMgO= 24.305+15.9994;
  MMnO= 54.938+15.9994;
  MCaO= 40.08+15.9994;
  MNa2O= 22.98977*2+15.9994;
  MK2O= 39.0983*2+15.9994;
  MF= 18.998403;

type
  {Definition des Formularobjekts}
  TForm1 = class(TForm)
    {Oxid Gew.% Eingabefelder, Granat}
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit;
    Edit10: TEdit;
    Edit11: TEdit;
    {Eingabefelder des mittleren Fehlers, Granat}
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Edit14: TEdit;
    Edit15: TEdit;
    Edit16: TEdit;
    Edit17: TEdit;
    Edit18: TEdit;
    Edit19: TEdit;
    Edit20: TEdit;
    Edit21: TEdit;
    Edit22: TEdit;
  end;
end
```

```
{Oxid Gew.% Eingabefelder, Klinopyroxen}
Edit23: TEdit;
Edit24: TEdit;
Edit25: TEdit;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Edit30: TEdit;
Edit31: TEdit;
Edit32: TEdit;
Edit33: TEdit;
{Eingabefelder des mittleren Fehlers, Granat}
Edit34: TEdit;
Edit35: TEdit;
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Edit40: TEdit;
Edit41: TEdit;
Edit42: TEdit;
Edit43: TEdit;
Edit44: TEdit;
{Oxid Gew.% Eingabefelder, Phengit}
Edit45: TEdit;
Edit46: TEdit;
Edit47: TEdit;
Edit48: TEdit;
Edit49: TEdit;
Edit50: TEdit;
Edit51: TEdit;
Edit52: TEdit;
Edit53: TEdit;
Edit54: TEdit;
Edit55: TEdit;
{Eingabe des mittleren Fehlers, Granat}
Edit56: TEdit;
Edit57: TEdit;
Edit58: TEdit;
Edit59: TEdit;
Edit60: TEdit;
Edit61: TEdit;
Edit62: TEdit;
Edit63: TEdit;
Edit64: TEdit;
Edit65: TEdit;
Edit66: TEdit;
Edit67: TEdit;
Edit68: TEdit;
Edit69: TEdit;
{Texte auf dem Formular}
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
```

```
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label45: TLabel;
Label46: TLabel;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label44: TLabel; {Statusanzeige}
Button1: TButton; {Startknopf}
SaveDialog1: TSaveDialog; {Speicherdialog}
ComboBox1: TComboBox; {Auswahlliste für Thermometer}
{Datenbankobjekt für Zwischenergebnisse}
Table1: TTable;
{Datenfelder des Datenbankobjekts}
Table1GSi: TFloatField;
Table1GTi: TFloatField;
Table1GAl: TFloatField;
Table1GCr: TFloatField;
Table1GMg: TFloatField;
Table1GFe: TFloatField;
Table1GCa: TFloatField;
Table1GMn: TFloatField;
Table1GNa: TFloatField;
Table1GK: TFloatField;
Table1GF: TFloatField;
Table1PSi: TFloatField;
Table1PTi: TFloatField;
Table1PAL: TFloatField;
Table1PCr: TFloatField;
Table1PMg: TFloatField;
Table1PFe: TFloatField;
Table1PCa: TFloatField;
Table1PMn: TFloatField;
Table1PNa: TFloatField;
Table1PK: TFloatField;
Table1PF: TFloatField;
Table1CSi: TFloatField;
Table1CTi: TFloatField;
Table1CAL: TFloatField;
Table1CCr: TFloatField;
Table1CMg: TFloatField;
Table1CFe: TFloatField;
Table1CCa: TFloatField;
Table1CMn: TFloatField;
Table1CNa: TFloatField;
Table1CK: TFloatField;
Table1CF: TFloatField;
{Datenzugriffsobjekt}
DataSource1: TDataSource;
Button2: TButton;
{Doppel-Click Ereignis für die Eingabefelder 1-66}
procedure Edit1DbClick(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
{ private Deklarationen }
public
{ öffentliche Deklarationen }
CSiO2 : double;
CTiO2 : double;
CAL2O3 : double;
CCr2O3 : double;
CMgO : double;
CFeO : double;
```

```
CCaO : double;
CMnO : double;
CNa2O : double;
CK2O : double;
CF : double;
GSiO2 : double;
GTiO2 : double;
GAl2O3 : double;
GCr2O3 : double;
GMgO : double;
GFeO : double;
GCaO : double;
GMnO : double;
GNa2O : double;
GK2O : double;
GF : double;
PSiO2 : double;
PTiO2 : double;
PAl2O3 : double;
PCr2O3 : double;
PMgO : double;
PFeO : double;
PCaO : double;
PMnO : double;
PNa2O : double;
PK2O : double;
PF : double;
GFSiO2 : integer;
GFTiO2 : integer;
GFAl2O3 : integer;
GFCr2O3 : integer;
GFMgO : integer;
GFFeO : integer;
GFCaO : integer;
GFMnO : integer;
GFNa2O : integer;
GFK2O : integer;
GFF : integer;
CFSiO2 : integer;
CFTiO2 : integer;
CFAl2O3 : integer;
CFCr2O3 : integer;
CFMgO : integer;
CFFeO : integer;
CFCaO : integer;
CFMnO : integer;
CFNa2O : integer;
CFK2O : integer;
CFF : integer;
PFSiO2 : integer;
PFTiO2 : integer;
PFAl2O3 : integer;
PFCr2O3 : integer;
PFMgO : integer;
PFFeO : integer;
PFCaO : integer;
PFMnO : integer;
PFNa2O : integer;
PFK2O : integer;
PFF : integer;
CSSiO2 : double;
CSTiO2 : double;
CSAl2O3 : double;
CSCr2O3 : double;
CSMgO : double;
CSFeO : double;
CSCaO : double;
CSMnO : double;
CSNa2O : double;
CSK2O : double;
CSF : double;
GSSiO2 : double;
GSTiO2 : double;
GSAl2O3 : double;
GSCr2O3 : double;
GSMgO : double;
GSFeO : double;
GSCaO : double;
```

```
GSMnO : double;
GSNa2O : double;
GSK2O : double;
GSF : double;
PSSiO2 : double;
PSTiO2 : double;
PSAl2O3 : double;
PSCr2O3 : double;
PSMgO : double;
PSFeO : double;
PSCaO : double;
PSMnO : double;
PSNa2O : double;
PSK2O : double;
PSF : double;
Schritte : integer;
end;

var
  {Variable für Formlar}
  Form1: TForm1;

implementation

  {$R *.DFM}

  procedure TForm1.Edit1DblClick(Sender: TObject);
  var
    _I : longint;
    _IC : longint;
  begin
    _IC := form1.ComponentCount;
    {Komponente bestimmen von der das Ereignis ausgelöst wurde}
    if _IC > 0 then
      begin
        for _I := 1 to _IC do
          begin
            if sender = form1.Components[_i-1] then
              begin
                if Tedit(form1.components[_I-1]).color = clwindow then
                  begin
                    {auslösende Komponente rot färben}
                    Tedit(form1.components[_I-1]).color := clred;
                  end
                else
                  begin
                    {auslösende Komponente weiß färben}
                    Tedit(form1.components[_I-1]).color := clwindow;
                  end;
                break;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;

  procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
  var
    Output,
    Tempo : Textfile;
    code : integer;
    i1 ,i2 ,i3 ,i4 ,i5 ,i6 ,i7 ,i8 ,i9 ,i10,i11,
    i12,i13,i14,i15,i16,i17,i18,i19,i20,i21,i22,
    i23,i24,i25,i26,i27,i28,i29,i30,i31,i32,i33 : integer;
    OCSiO2 : double;
    OCTiO2 : double;
    OCA12O3 : double;
    OCCr2O3 : double;
    OCMgO : double;
    OCFeO : double;
    OCCaO : double;
    OCMnO : double;
    OCNa2O : double;
    OCK2O : double;
    OCF : double;
    OGSiO2 : double;
    OGTiO2 : double;
    OGAl2O3 : double;
    OGCr2O3 : double;
```

```
OGMgO : double;
OGFeO : double;
OGCaO : double;
OGMnO : double;
OGNa2O : double;
OGK2O : double;
OGF : double;
OPSiO2 : double;
OPTiO2 : double;
OPAl2O3 : double;
OPCr2O3 : double;
OPMgO : double;
OPFeO : double;
OPCaO : double;
OPMnO : double;
OPNa2O : double;
OPK2O : double;
OPF : double;
AGSi,
AGTi,
AGAl,
AGCr,
AGMg,
AGFe,
AGCa,
AGMn,
AGNa,
AGK,
AGF : double;
ACSi,
ACTi,
ACAl,
ACCr,
ACMg,
ACFe,
ACCa,
ACMn,
ACNa,
ACK,
ACF : double;
OPSi,
OPTi,
OPAl,
OPCr,
OPMg,
OPFe,
OPCa,
OPMn,
OPNa,
OPK,
OPF_ : double;
OGSi,
OGTi,
OGAl,
OGCr,
OGMg,
OGFe,
OGCa,
OGMn,
OGNa,
OGK,
OGF_ : double;
OCSi,
OCTi,
OCAl,
OCCr,
OCMg,
OCFe,
OCCa,
OCMn,
OCNa,
OCK,
OCF_ : double;
APSi,
APTi,
APAl,
APCr,
APMg,
```



```

APFe,
APCa,
APMn,
APNa,
APK,
APF : double;
XGFe2,XGFe22,XGFe21,
XCFe2,XCFe22,XCFe21,
XPFfe2 : double;
VG, VP, VC, VGN, VPN, VCN : double;
FG, FC, FP : double;
XDg1, XDg2, XDg, XGSt1, XDP, XDC, XDC1, XDC2, XGAl, XAlm, XPrp, XGrs : double;
XM2, XCaBa, XJadeit, XAcmit, XTschermaks, XTitan, XEskola : Double;
XM2Al, XM2M3, XNaM4, XM4Al, XM2AlH, XPNa : double;
CM3, CBaCa, CM2, CSiOkt, CSiTet, CALOkt, CALTet : double;
AGM2, AGM3, AGAK, AGH, AGM4, AGALT : double;
_stop : boolean;
zaehler : integer;
XPar, XMar, XMus, XTiG, XM3G, XMonoDi, XDiTri : double;
PCa, PM3, PM4, PALTet, PALOkt, PNa, PM2, FPK : Double;
Termometer : integer;
Druck, Temperatur, GSummeWue, GSummeOkt : double;
XPFe, XPMg, POkt : double;
begin
{Datenbanktabelle für zwischenspeicherung löschen}
table1.Exclusive := true;
table1.EmptyTable;
table1.exclusive := false;
table1.open;
{gewünschtes Geothermometer abfragen}
termometer := combobox1.itemindex;
{Dateinamen für Ausgabedatei erfragen}
if savedialog1.execute and (termometer <> -1) then
begin
label44.caption:='Starte Variation der Eingabewerte';
{Werte vom Formular einlesen}
{Granat}
val(edit1.text, GSiO2, Code);
val(edit2.text, GTiO2, Code);
val(edit3.text, GAl2O3, Code);
val(edit4.text, GCr2O3, Code);
val(edit5.text, GMgO, Code);
val(edit6.text, GFeO, Code);
val(edit7.text, GCaO, Code);
val(edit8.text, GMnO, Code);
val(edit9.text, GNa2O, Code);
val(edit10.text, GK2O, Code);
val(edit11.text, GF, Code);
{Phengit}
val(edit45.text, PSiO2, Code);
val(edit46.text, PTiO2, Code);
val(edit47.text, PAL2O3, Code);
val(edit48.text, PCr2O3, Code);
val(edit49.text, PMgO, Code);
val(edit50.text, PFeO, Code);
val(edit51.text, PCaO, Code);
val(edit52.text, PMnO, Code);
val(edit53.text, PNa2O, Code);
val(edit54.text, PK2O, Code);
val(edit55.text, PF, Code);
{Klinopyroxen}
val(edit23.text, CSiO2, Code);
val(edit24.text, CTiO2, Code);
val(edit25.text, CAL2O3, Code);
val(edit26.text, CCr2O3, Code);
val(edit27.text, CMgO, Code);
val(edit28.text, CFeO, Code);
val(edit29.text, CCaO, Code);
val(edit30.text, CMnO, Code);
val(edit31.text, CNa2O, Code);
val(edit32.text, CK2O, Code);
val(edit33.text, CF, Code);
{Granatfehler}
val(edit12.text, GSSiO2, Code);
val(edit13.text, GSTiO2, Code);
val(edit14.text, GSal2O3, Code);
val(edit15.text, GSCr2O3, Code);
val(edit16.text, GSMgO, Code);

```

```

val(edit17.text,GSFeO,Code);
val(edit18.text,GSCaO,Code);
val(edit19.text,GSMnO,Code);
val(edit20.text,GSNa2O,Code);
val(edit21.text,GSK2O,Code);
val(edit22.text,GSF,Code);
{Phengitfehler}
val(edit56.text,PSSiO2,Code);
val(edit57.text,PSTiO2,Code);
val(edit58.text,PSAL2O3,Code);
val(edit59.text,PSCr2O3,Code);
val(edit60.text,PSMgO,Code);
val(edit61.text,PSFeO,Code);
val(edit62.text,PSCaO,Code);
val(edit63.text,PSMnO,Code);
val(edit64.text,PSNa2O,Code);
val(edit65.text,PSK2O,Code);
val(edit66.text,PSF,Code);
{Klinopyroxenfehler}
val(edit34.text,CSSiO2,Code);
val(edit35.text,CSTiO2,Code);
val(edit36.text,CSAL2O3,Code);
val(edit37.text,CSCr2O3,Code);
val(edit38.text,CSMgO,Code);
val(edit39.text,CSFeO,Code);
val(edit40.text,CSCaO,Code);
val(edit41.text,CSMnO,Code);
val(edit42.text,CSNa2O,Code);
val(edit43.text,CSK2O,Code);
val(edit44.text,CSF,Code);
val(edit67.text,Schritte,Code);
val(edit68.text,druck,Code);
val(edit69.text,temperatur,Code);
{absolute Abweichung bestimmen}
{Granat}
GSSiO2 := GSiO2/100*GSSiO2;
GSTiO2 := GTiO2/100*GSTiO2;
GSAL2O3 := GAL2O3/100*GSAL2O3;
GSCr2O3 := GCr2O3/100*GSCr2O3;
GSMgO := GMgO/100*GSMgO;
GSFeO := GFeO/100*GSFeO;
GSCaO := GCaO/100*GSCaO;
GSMnO := GMnO/100*GSMnO;
GSK2O := GK2O/100*GSK2O;
GSNa2O := GNa2O/100*GSNa2O;
GSF := GF/100*GSF;
{Klinopyroxen}
CSSiO2 := CSiO2 /100*CSSiO2;
CSTiO2 := CTiO2 /100*CSTiO2;
CSAL2O3 := CAL2O3 /100*CSAL2O3;
CSCr2O3 := CCr2O3 /100*CSCr2O3;
CSMgO := CMgO /100*CSMgO;
CSFeO := CFeO /100*CSFeO;
CSCaO := CCaO /100*CSCaO;
CSMnO := CMnO /100*CSMnO;
CSK2O := CK2O /100*CSK2O;
CSNa2O := CNa2O /100*CSNa2O;
CSF := CF /100*CSF;
{Phengit}
PSSiO2 := PSiO2 /100*PSSiO2;
PSTiO2 := PTiO2 /100*PSTiO2;
PSAL2O3 := PAL2O3 /100*PSAL2O3;
PSCr2O3 := PCr2O3 /100*PSCr2O3;
PSMgO := PMgO /100*PSMgO;
PSFeO := PFeO /100*PSFeO;
PSCaO := PCaO /100*PSCaO;
PSMnO := PMnO /100*PSMnO;
PSK2O := PK2O /100*PSK2O;
PSNa2O := PNa2O /100*PSNa2O;
PSF := PF /100*PSF;
{Abfragen: Eingabefeld rot = Element wird variiert;
absolute Schrittweite der Variation für jedes element ermitteln}}
{Granat}
if Edit1.color = clred then
begin
GFSiO2 := schritte;
GSiO2 := GSiO2-GSSiO2;
GSSiO2 := GSSiO2 / GFSiO2;

```

```
end
else
begin
GFSiO2 := 1;
GSSiO2 := 0;
end;
if Edit2.color = clred then
begin
GFTiO2 := schritte;
GTiO2 := GTiO2-GSTiO2;
GSTiO2 := GSTiO2 / GFTiO2;
end
else
begin
GFTiO2 := 1;
GSTiO2 := 0;
end;
if Edit3.color = clred then
begin
GFAl2O3 := schritte;
GAl2O3 := GAl2O3 - GSAl2O3;
GSAl2O3 := GSAl2O3 / GFAl2O3;
end
else
begin
GFAl2O3 := 1;
GSAl2O3 := 0;
end;
if Edit4.color = clred then
begin
GFcr2O3 := schritte;
Gcr2O3 := Gcr2O3 - GScr2O3;
GScr2O3 := GScr2O3 / GFcr2O3;
end
else
begin
GFcr2O3 := 1;
GScr2O3 := 0;
end;
if Edit5.color = clred then
begin
GFMgO := schritte;
GMgO := GMgO - GSMgO;
GSMgO := GSMgO / GFMgO;
end
else
begin
GFMgO := 1;
GSMgO := 0;
end;
if Edit6.color = clred then
begin
GFFeO := schritte;
GFeO := GFeO - GSFeO;
GSFeO := GSFeO / GFFeO;
end
else
begin
GFFeO := 1;
GSFeO := 0;
end;
if Edit7.color = clred then
begin
GFCaO := schritte;
GCaO := GCaO - GSCaO;
GSCaO := GSCaO / GFCaO;
end
else
begin
GFCaO := 1;
GSCaO := 0;
end;
if Edit8.color = clred then
begin
GFMnO := schritte;
GMnO := GMnO - GSMnO;
GSMnO := GSMnO / GFMnO;
end
```

```
else
begin
  GFMnO := 1;
  GSMnO := 0;
end;
if Edit9.color = clred then
begin
  GFNa2O := schritte;
  GNa2O := GNa2O - GSNa2O;
  GSNa2O := GSNa2O / GFNa2O;
end
else
begin
  GFNa2O := 1;
  GSNa2O := 0;
end;
if Edit10.color = clred then
begin
  GFK2O := schritte;
  GK2O := GK2O - GSK2O;
  GSK2O := GSK2O / GFK2O;
end
else
begin
  GFK2O := 1;
  GSK2O := 0;
end;
if Edit11.color = clred then
begin
  GFF := schritte;
  GF := GF - GSF;
  GSF := GSF / GFF;
end
else
begin
  GFF := 1;
  GSF := 0;
end;
{Klinopyroxen}
if Edit23.color = clred then
begin
  CFSiO2 := schritte;
  CSiO2 := CSiO2 - CSSiO2;
  CSSiO2 := CSSiO2 / CFSiO2;
end
else
begin
  CFSiO2 := 1;
  CSSiO2 := 0;
end;
if Edit24.color = clred then
begin
  CFTiO2 := schritte;
  CTiO2 := CTiO2 - CSTiO2;
  CSTiO2 := CSTiO2 / CFTiO2;
end
else
begin
  CFTiO2 := 1;
  CSTiO2 := 0;
end;
if Edit25.color = clred then
begin
  CFAl2O3 := schritte;
  CA12O3 := CA12O3 - CSA12O3;
  CSA12O3 := CSA12O3 / CFAl2O3;
end
else
begin
  CFAl2O3 := 1;
  CSA12O3 := 0;
end;
if Edit26.color = clred then
begin
  CFCr2O3 := schritte;
  CCr2O3 := CCr2O3 - CSCr2O3;
  CSCr2O3 := CSCr2O3 / CFCr2O3;
end
```

```
else
begin
CFCr203 := 1;
CSCr203 := 0;
end;
if Edit27.color = clred then
begin
CFMgO := schritte;
CMgO := CMgO - CSMgO;
CSMgO := CSMgO / CFMgO;
end
else
begin
CFMgO := 1;
CSMgO := 0;
end;
if Edit28.color = clred then
begin
CFFeO := schritte;
CFeO := CFeO - CSFeO;
CSFeO := CSFeO / CFFeO;
end
else
begin
CFFeO := 1;
CSFeO := 0;
end;
if Edit29.color = clred then
begin
CFCaO := schritte;
CCaO := CCaO - CSCaO;
CSCaO := CSCaO / CFCaO;
end
else
begin
CFCaO := 1;
CSCaO := 0;
end;
if Edit30.color = clred then
begin
CFMnO := schritte;
CMnO := CMnO - CSMnO;
CSMnO := CSMnO / CFMnO;
end
else
begin
CFMnO := 1;
CSMnO := 0;
end;
if Edit31.color = clred then
begin
CFNa2O := schritte;
CNa2O := CNa2O - CSNa2O;
CSNa2O := CSNa2O / CFNa2O;
end
else
begin
CFNa2O := 1;
CSNa2O := 0;
end;
if Edit32.color = clred then
begin
CFK2O := schritte;
CK2O := CK2O - CSK2O;
CSK2O := CSK2O / CFK2O;
end
else
begin
CFK2O := 1;
CSK2O := 0;
end;
if Edit33.color = clred then
begin
CFF := schritte;
CF := CF - CSF;
CSF := CSF / CFF;
end
else
```

```
begin
  CFF := 1;
  CSF := 0;
end;
{Phengit}
if Edit45.color = clred then
  begin
    PFSiO2 := schritte;
    PSiO2 := PSiO2-PSSiO2;
    PSSiO2 := PSSiO2 / PFSiO2;
  end
else
  begin
    PFSiO2 := 1;
    PSSiO2 := 0;
  end;
if Edit46.color = clred then
  begin
    PFTiO2 := schritte;
    PTiO2 := PTiO2-PSTiO2;
    PSTiO2 := PSTiO2 / PFTiO2;
  end
else
  begin
    PFTiO2 := 1;
    PSTiO2 := 0;
  end;
if Edit47.color = clred then
  begin
    PFAl2O3 := schritte;
    PAl2O3 := PAl2O3 - PSAl2O3;
    PSAl2O3 := PSAl2O3 / PFAl2O3;
  end
else
  begin
    PFAl2O3 := 1;
    PSAl2O3 := 0;
  end;
if Edit48.color = clred then
  begin
    PFCr2O3 := schritte;
    PCr2O3 := PCr2O3 - PSCr2O3;
    PSCr2O3 := PSCr2O3 / PFCr2O3;
  end
else
  begin
    PFCr2O3 := 1;
    PSCr2O3 := 0;
  end;
if Edit49.color = clred then
  begin
    PFMgO := schritte;
    PMgO := PMgO - PSMgO;
    PSMgO := PSMgO / PFMgO;
  end
else
  begin
    PFMgO := 1;
    PSMgO := 0;
  end;
if Edit50.color = clred then
  begin
    PFFeO := schritte;
    PFeO := PFeO - PSFeO;
    PSFeO := PSFeO / PFFeO;
  end
else
  begin
    PFFeO := 1;
    PSFeO := 0;
  end;
if Edit51.color = clred then
  begin
    PFCaO := schritte;
    PCaO := PCaO - PSCaO;
    PSCaO := PSCaO / PFCaO;
  end
else
```

```
begin
  PFCaO := 1;
  PSCaO := 0;
end;
if Edit52.color = clred then
begin
  PFMnO := schritte;
  PMnO := PMnO - PSMnO;
  PSMnO := PSMnO / PFMnO;
end
else
begin
  PFMnO := 1;
  PSMnO := 0;
end;
if Edit53.color = clred then
  Begin
  PFNa2O := schritte;
  PNa2O := PNa2O - PSNa2O;
  PSNa2O := PSNa2O / PFNa2O;
end
else
begin
  PFNa2O := 1;
  PSNa2O := 0;
end;
if Edit54.color = clred then
begin
  PFK2O := schritte;
  PK2O := PK2O - PSK2O;
  PSK2O := PSK2O / PFK2O;
end
else
begin
  PFK2O := 1;
  PSK2O := 0;
end;
if Edit55.color = clred then
begin
  PFF := schritte;
  PF := PF - PSF;
  PSF := PSF / PFF;
end
else
begin
  PFF := 1;
  PSF := 0;
end;
{Anfang der Variationsroutine: Es werden alle variationen generiert und
in einer Datenbanktabelle zwischengespeichert}
for I1 := 1 to GFSiO2 do
begin
  for I2 := 1 to GFTiO2 do
  begin
    for I3 := 1 to GFAl2O3 do
    begin
      for I4 := 1 to GFCr2O3 do
      begin
        for I5 := 1 to GFMgO do
        begin
          for I6 := 1 to GFFeO do
          begin
            for I7 := 1 to GFCaO do
            begin
              for I8 := 1 to GFMnO do
              begin
                for I9 := 1 to GFNa2O do
                begin
                  for I10 := 1 to GFK2O do
                  begin
                    for I11 := 1 to GFF do
                    begin
                      for I12 := 1 to CFSiO2 do
                      begin
                        for I13 := 1 to CFTiO2 do
                        begin
                          for I14 := 1 to CFAl2O3 do
                          begin
```

```
for I15 := 1 to CFCr203 do
begin
for I16 := 1 to CFMgO do
begin
for I17 := 1 to CFFeO do
begin
for I18 := 1 to CFCaO do
begin
for I19 := 1 to CFMnO do
begin
for I20 := 1 to CFNa2O do
begin
for I21 := 1 to CFK2O do
begin
for I22 := 1 to CFF do
begin
for I23 := 1 to PFSiO2 do
begin
for I24 := 1 to PFTiO2 do
begin
for I25 := 1 to PFAl2O3 do
begin
for I26 := 1 to PFCr203 do
begin
for I27 := 1 to PFMgO do
begin
for I28 := 1 to PFFeO do
begin
for I29 := 1 to PFCaO do
begin
for I30 := 1 to PFMnO do
begin
for I31 := 1 to PFNa2O do
begin
for I32 := 1 to PFK2O do
begin
for I33 := 1 to PFF do
begin
table1.Append;
table1.edit;
table1GSi.Value := GSiO2 +i1 *GSSiO2;
table1GTi.Value := GTiO2 +i2 *GSTiO2;
table1GAl.Value := GAl2O3+i3 *GSAl2O3;
table1GCr.Value := GCr2O3+i4 *GSCr2O3;
table1GMg.Value := GMgO +i5 *GSMgO;
table1GFe.Value := GFeO +i6 *GSFeO;
table1GCa.Value := GCaO +i7 *GSCaO;
table1GMn.Value := GMnO +i8 *GSMnO;
table1GNa.Value := GNa2O +i9 *GSNa2O;
table1GK.Value := GK2O +i10*GSK2O;
table1GF.Value := GF +i11*GSF;
table1CSi.Value := CSiO2 +i12*CSSiO2;
table1CTi.Value := CTiO2 +i13*CSTiO2;
table1CAL.Value := CAL2O3+i14*CSAL2O3;
table1CCr.Value := CCr2O3+i15*CSCr2O3;
table1CMg.Value := CMgO +i16*CSMgO;
table1CFe.Value := CFFeO +i17*CSFeO;
table1CCa.Value := CCaO +i18*CSCaO;
table1CMn.Value := CMnO +i19*CSMnO;
table1CNa.Value := CNa2O +i20*CSNa2O;
table1CK.Value := CK2O +i21*CSK2O;
table1CF.Value := CF +i22*CSF;
table1PSi.Value := PSiO2 +i23*PSSiO2;
table1PTi.Value := PTiO2 +i24*PSTiO2;
table1PAL.Value := PAL2O3+i25*PSAL2O3;
table1PCr.Value := PCr2O3+i26*PSCr2O3;
table1PMg.Value := PMgO +i27*PSMgO;
table1PFe.Value := PFeO +i28*PSFeO;
table1PCa.Value := PCaO +i29*PSCaO;
table1PMn.Value := PMnO +i30*PSMnO;
table1PNa.Value := PNa2O +i31*PSNa2O;
table1PK.Value := PK2O +i32*PSK2O;
table1PF.Value := PF +i33*PSF;
table1.post;
end;
end;
end;
end;
end;
```





```

AGALT := 3-AGH/4-AGSI;
if (AGTI-AGAK)< AGALT then
  begin
    AGALT := AGTI-AGAK;
    if AGALT < 0 then
      AGALT := 0;
    end;
  end
end
else
  begin
    AGALT := 0;
  end;
IF AGSI > 3 then
  begin
    AGM4 := AGTI+AGSI-3;
  end
else
  begin
    AGM4 := AGTI;
  end;
XM2AL := 1/3*AGM2-1/2*AGM3-1/3*AGALT-1/4*AGH-1/6*AGM4;
XM2M3 :=1/2*AGM3;
XNaM4 :=-1/2*AGALT+1/2*AGM4;
XM4AL :=1/2*AGALT;
XM2ALH :=1/4*AGH;
XPNA :=1/3*AGALT+1/3*AGAK-1/3*AGM4;
XDG1 := abs(XM2AL)+abs(XM2M3)+abs(XNaM4)+abs(XM4AL)+abs(XM2ALH)+abs(XPNA)-1;
VG := 4*(OGSi+OGTi)+3*(OGAl+OGFe*(1-
XGFe22)+OGCr)+2*(OGmG+OGFe*XGFe22+OGCa+OGMn)+OGNa+OGK+OGF_;
VGN:= 24;
FG := VGN/VG;
AGSi := OGSi * FG;
AGTi := OGTi * FG;
AGAl := OGAl * FG;
AGCr := OGCr * FG;
AGMg := OGMg * FG;
AGFe := OGFe * FG;
AGCa := OGCa * FG;
AGMn := OGMn * FG;
AGNa := OGNa * FG;
AGK := OGK * FG;
AGF := OGF_ * FG;
AGM2 := AGMg+AGMn+AGCa+AGFe*XGFe22;
AGM3 := AGCr+AGFe*(1-XGFe22);
AGH := AGF;
AGAK := AGNa+AGK;
if (AGSi+AGH/4) < 3 then
  begin
    AGALT := 3-AGH/4-AGSI;
    if (AGTI-AGAK)< AGALT then
      begin
        AGALT := AGTI-AGAK;
        if AGALT < 0 then
          AGALT := 0;
        end;
      end
    end
  else
    begin
      AGALT := 0;
    end;
IF AGSI > 3 then
  begin
    AGM4 := AGTI+AGSI-3;
  end
else
  begin
    AGM4 := AGTI;
  end;
XM2AL := 1/3*AGM2-1/2*AGM3-1/3*AGALT-1/4*AGH-1/6*AGM4;
XM2M3 :=1/2*AGM3;
XNaM4 :=-1/2*AGALT+1/2*AGM4;
XM4AL :=1/2*AGALT;
XM2ALH :=1/4*AGH;
XPNA :=1/3*AGALT+1/3*AGAK-1/3*AGM4;
XDG2 := abs(XM2AL)+abs(XM2M3)+abs(XNaM4)+abs(XM4AL)+abs(XM2ALH)+abs(XPNA)-1;
VG := 4*(OGSi+OGTi)+3*(OGAl+OGFe*(1-
XGFe22)+OGCr)+2*(OGmG+OGFe*XGFe22+OGCa+OGMn)+OGNa+OGK+OGF_;
VGN:= 24;

```

```

FG := VGN/VG;
AGSi := OGSi * FG;
AGTi := OGTi * FG;
AGAl := OGAl * FG;
AGCr := OGCr * FG;
AGMg := OGMg * FG;
AGFe := OGFe * FG;
AGCa := OGCa * FG;
AGMn := OGMn * FG;
AGNa := OGNa * FG;
AGK := OGK * FG;
AGF := OGF_ * FG;
AGM2 := AGMg+AGMn+AGCa+AGFe*XGFe2;
AGM3 := AGCr+AGFe*(1-XGFe2);
AGH := AGF;
AGAK := AGNa+AGK;
if (AGSi+AGH/4) < 3 then
  begin
    AGALT := 3-AGH/4-AGSi;
    if (AGTi-AGAK)< AGALT then
      begin
        AGALT := AGTi-AGAK;
        if AGALT < 0 then
          AGALT := 0;
        end;
      end
    else
      begin
        AGALT := 0;
      end;
  end
IF AGSI > 3 then
  begin
    AGM4 := AGTi+AGSi-3;
  end
else
  begin
    AGM4 := AGTi;
  end;
XM2AL := 1/3*AGM2-1/2*AGM3-1/3*AGALT-1/4*AGH-1/6*AGM4;
XM2M3 :=1/2*AGM3;
XNaM4 :=-1/2*AGALT+1/2*AGM4;
XM4Al :=1/2*AGALT;
XM2ALH :=1/4*AGH;
XPNA :=1/3*AGALT+1/3*AGAK-1/3*AGM4;
XDG := abs(XM2AL)+abs(XM2M3)+abs(XNaM4)+abs(XM4Al)+abs(XM2ALH)+abs(XPNA)-1;
if (XDG > 0)then
  begin
    if XDG2 > 0 then
      begin
        if XDG1 > 0 then
          begin
            _Stop := true;
          end
        else
          begin
            XGFe22 := XGFe2;
          end;
        end
      end
    else
      begin
        XGFE21 := XGFe2;
      end;
    end
  end
else
  begin
    if XDG2 > 0 then
      begin
        XGFE21 := XGFe2;
      end
    else
      begin
        if XDG1 < 0 then
          begin
            _stop := true;
          end
        else
          begin
            XGFE22 := XGFe2;
          end;
        end
      end
  end

```

```

        end;
    end;
end;
if _stop then
begin
    XGFE2:=1.0;
    VG                                     :=                               4*(OGSi+OGTi)+3*(OGAl+OGFe*(1-
XGFe2)+OGCr)+2*(OGMg+OGFe*XGFe2+OGCa+OGMn)+OGNa+OGK+OGF_;
    VGN:= 24;
    FG := VGN/VG;
    AGSi := OGSi * FG;
    AGTi := OGTi * FG;
    AGAl := OGAl * FG;
    AGCr := OGCr * FG;
    AGMg := OGMg * FG;
    AGFe := OGFe * FG;
    AGCa := OGCa * FG;
    AGMn := OGMn * FG;
    AGNa := OGNa * FG;
    AGK := OGK * FG;
    AGF := OGF_ * FG;
    AGM2 := AGMg+AGMn+AGCa+AGFe*XGFe2;
    AGM3 := AGCr+AGFe*(1-XGFe2);
    AGH := AGF;
    AGAK := AGNa+AGK;
    if (AGSi+AGH/4) < 3 then
    begin
        AGALT := 3-AGH/4-AGSI;
        if (AGTi-AGAK)< AGALT then
        begin
            AGALT := AGTi-AGAK;
            if AGALT < 0 then
                AGALT := 0;
            end;
        end
    else
    begin
        AGALT := 0;
    end;
    IF AGSI > 3 then
    begin
        AGM4 := AGTi+AGSI-3;
    end
    else
    begin
        AGM4 := AGTi;
    end;
    XM2AL := 1/3*AGM2-1/2*AGM3-1/3*AGALT-1/4*AGH-1/6*AGM4;
    XM2M3 :=1/2*AGM3;
    XNaM4 :=-1/2*AGALT+1/2*AGM4;
    XM4A1 :=1/2*AGALT;
    XM2ALH :=1/4*AGH;
    XPNA :=1/3*AGALT+1/3*AGAK-1/3*AGM4;
    XDG := abs(XM2AL)+abs(XM2M3)+abs(XNaM4)+abs(XM4A1)+abs(XM2ALH)+abs(XPNA)-1;
    end;
    GSummeWue := AGM2+AGAK;
    GSummeOkt := (AGAl-AGALT)+AGM3+AGM4;
    XGAl := (AGAl-AGALT)/GSummeOkt;
    XGrs := XM2A1*AGCa/GSummeWue;
    XAlm := XM2A1*AGFe*XGFe2/GSummeWue;
    XPrp := XM2A1*AGMg/GSummeWue;
until _stop OR ((XDG >-0.0000001) and (XDG < 0.0000001));
if ((XM2AL+XM2M3+XNaM4+XM4A1+XM2ALH+XPNA)< 0.99) then
begin
    XGFE2:=1.0;
    VG                                     :=                               4*(OGSi+OGTi)+3*(OGAl+OGFe*(1-
XGFe2)+OGCr)+2*(OGMg+OGFe*XGFe2+OGCa+OGMn)+OGNa+OGK+OGF_;
    VGN:= 24;
    FG := VGN/VG;
    AGSi := OGSi * FG;
    AGTi := OGTi * FG;
    AGAl := OGAl * FG;
    AGCr := OGCr * FG;
    AGMg := OGMg * FG;
    AGFe := OGFe * FG;
    AGCa := OGCa * FG;
    AGMn := OGMn * FG;
    AGNa := OGNa * FG;

```

```

AGK := OGK * FG;
AGF := OGF_ * FG;
AGM2 := AGMg+AGMn+AGCa+AGFE*XGFe2;
AGM3 := AGCr+AGFe*(1-XGFe2);
AGH := AGF;
AGAK := AGNA+AGK;
if (AGSi+AGH/4) < 3 then
  begin
    AGALT := 3-AGH/4-AGSi;
    if (AGTI-AGAK)< AGALT then
      begin
        AGALT := AGTI-AGAK;
        if AGALT < 0 then
          AGALT := 0;
        end;
      end
    else
      begin
        AGALT := 0;
      end;
  end
IF AGSI > 3 then
  begin
    AGM4 := AGTI+AGSI-3;
  end
else
  begin
    AGM4 := AGTI;
  end;
XM2AL := 1/3*AGM2-1/2*AGM3-1/3*AGALT-1/4*AGH-1/6*AGM4;
XM2M3 :=1/2*AGM3;
XNaM4 :=-1/2*AGALT+1/2*AGM4;
XM4A1 :=1/2*AGALT;
XM2ALH :=1/4*AGH;
XPNA :=1/3*AGALT+1/3*AGAK-1/3*AGM4;
XDG := abs(XM2AL)+abs(XM2M3)+abs(XNaM4)+abs(XM4A1)+abs(XM2ALH)+abs(XPNA)-1;
end;
GSummeWue := AGM2+AGAK;
GSummeOkt := (AGAL-AGALT)+AGM3+AGM4;
XGAL := (AGAL-AGALT)/GSummeOkt;
XGrs := XM2Al*AGCa/GSummeWue;
XAlm := XM2Al*AGFe*XGFe2/GSummeWue;
XPrp := XM2Al*AGMg/GSummeWue;
{Klinopyroxen einlesen und in Mol-Proportion umrechnen}
OCSi := Table1CSi.value/MSiO2;
OCTi := Table1CTi.value/MTiO2;
OCAL := Table1CAL.value/MAl2O3*2;
OCCr := Table1CCr.value/MCr2O3*2;
OCMg := Table1CMg.value/MMgO;
OCFe := Table1CFe.value/MFeO;
OCCa := Table1CCa.value/MCaO;
OCMn := Table1CMn.value/MMnO;
OCNa := Table1CNa.value/MNa2O*2;
OCK := Table1CK.value/MK2O*2;
OCF_ := Table1CF.value/MF;
XCFE21 := 1.00;
XCFE22 := 0.00;
_stop := false;
{Mineralformel von Klinopyroxen berechnen}
repeat
  XCFE2 := (XCFE22+XCFE21)/2;
  VC :=
XCFE21)+OCCr)+2*(OCmG+OCFe*XCFE21+OCCa+OCMn)+OCNa+OCK+OCF_
VC :=
VC := 12;
FC := VCN/VC;
ACSi := OCSi * FC;
ACTi := OCTi * FC;
ACAL := OCAL * FC;
ACCr := OCCr * FC;
ACMg := OCMg * FC;
ACFe := OCFe * FC;
ACCa := OCCa * FC;
ACMn := OCMn * FC;
ACNa := OCNa * FC;
ACK := OCK * FC;
ACF := OCF_ * FC;
CSiOkt := ACSi-2;
if CSiOkt < 0 then
  begin

```

```

    CSiOkt := ACTi;
    CALtet := 2-ACSi;
    CALOkt := ACAL-CALtet;
    CSiTet := ACSi;
end
else
begin
    CSiOkt := CSiOkt + ACTi;
    CALtet := 0;
    CALOkt := ACAL;
    CSiTet := 2;
end;
CM3 := ACCr + (1-XCFE21)*ACFe;
CBaCa := ACCa;
CM2 := ACMn+ACMg+ACFe*XCFE21;
XM2:= 1/2*CM2-1/2*CSiOkt;
XCaBa := -1/2*CM2+1/2*CSiTet+1/2*CALtet-CALOkt-CM3-3/2*CSiOkt;
XJadeit := -2*CM2-2*CBaCa+2*CSiTet+3*CALtet-3*CALOkt-4*CM3-6*CSiOkt;
XTschemaks := CALtet;
XAcmit := CM3;
XTitan := 2*CSiOkt;
XEskola := 2*CM2+2*CBaCa-2*CSiTet-4*CALtet+4*CALOkt+4*CM3+6*CSiOkt;
XDC1 := XEskola;
VC := := 4*(OCSi+OCTi)+3*(OCAL+OCFe*(1-
XCFE22)+OCCr)+2*(OCmG+OCFe*XCFE22+OCCa+OCMn)+OCNa+OCK+OCF_;
VCN:= 12;
FC := VCN/VC;
ACSi := OCSi * FC;
ACTi := OCTi * FC;
ACAL := OCAL * FC;
ACCr := OCCr * FC;
ACMg := OCMg * FC;
ACFe := OCFe * FC;
ACCa := OCCa * FC;
ACMn := OCMn * FC;
ACNa := OCNa * FC;
ACK := OCK * FC;
ACF := OCF_ * FC;
CSiOkt := ACSi-2;
if CSiOkt < 0 then
begin
    CSiOkt := ACTi;
    CALtet := 2-ACSi;
    CALOkt := ACAL-CALtet;
    CSiTet := ACSi;
end
else
begin
    CSiOkt := CSiOkt + ACTi;
    CALtet := 0;
    CALOkt := ACAL;
    CSiTet := 2;
end;
CM3 := ACCr + (1-XCFE22)*ACFe;
CBaCa := ACCa;
CM2 := ACMn+ACMg+ACFe*XCFE22;
XM2:= 1/2*CM2-1/2*CSiOkt;
XCaBa := -1/2*CM2+1/2*CSiTet+1/2*CALtet-CALOkt-CM3-3/2*CSiOkt;
XJadeit := -2*CM2-2*CBaCa+2*CSiTet+3*CALtet-3*CALOkt-4*CM3-6*CSiOkt;
XTschemaks := CALtet;
XAcmit := CM3;
XTitan := 2*CSiOkt;
XEskola := 2*CM2+2*CBaCa-2*CSiTet-4*CALtet+4*CALOkt+4*CM3+6*CSiOkt;
XDC2 := XEskola;
VC := := 4*(OCSi+OCTi)+3*(OCAL+OCFe*(1-
XCFE2)+OCCr)+2*(OCmG+OCFe*XCFE2+OCCa+OCMn)+OCNa+OCK+OCF_;
VCN:= 12;
FC := VCN/VC;
ACSi := OCSi * FC;
ACTi := OCTi * FC;
ACAL := OCAL * FC;
ACCr := OCCr * FC;
ACMg := OCMg * FC;
ACFe := OCFe * FC;
ACCa := OCCa * FC;
ACMn := OCMn * FC;
ACNa := OCNa * FC;
ACK := OCK * FC;

```

```

ACF := OCF_ * FC;
CSiOkt := ACSi-2;
if CSiOkt < 0 then
  begin
    CSiOkt := ACTi;
    CALtet := 2-ACSi;
    CALokt := ACAL-CALtet;
    CSiTet := ACSi;
  end
else
  begin
    CSiOkt := CSiOkt + ACTi;
    CALtet := 0;
    CALokt := ACAL;
    CSiTet := 2;
  end;
CM3 := ACCr + (1-XCFE2)*ACFe;
CBaCa := ACCa;
CM2 := ACMn+ACMg+ACFe*XCFE2;
XM2:= 1/2*CM2-1/2*CSiOkt;
XCaBa := -1/2*CM2+1/2*CSiTet+1/2*CALtet-CALokt-CM3-3/2*CSiOkt;
XJadeit := -2*CM2-2*CBaCa+2*CSiTet+3*CALtet-3*CALokt-4*CM3-6*CSiOkt;
XTschemaks := CALtet;
XEskola := 2*CM2+2*CBaCa-2*CSiTet-4*CALtet+4*CALokt+4*CM3+6*CSiOkt;
XACmit := CM3;
XTitan := 2*CSiOkt;
XDC := XEskola;
if (XDC > 0)then
  begin
    if XDC2 > 0 then
      begin
        if XDC1 > 0 then
          begin
            _Stop := true;
          end
        else
          begin
            XCFE22 := XCFE2;
          end;
        end
      end
    else
      begin
        XCFE21 := XCFE2;
      end;
    end
  else
    begin
      if XDC2 > 0 then
        begin
          XCFE21 := XCFE2;
        end
      else
        begin
          if XDC1 < 0 then
            begin
              _stop := true;
            end
          else
            begin
              XCFE22 := XCFE2;
            end;
          end;
        end;
      end;
    if _stop = true then
      begin
        XCFE2:=1.00;
        VC := VC + 4*(OCSi+OCTi)+3*(OCAL+OCFe*(1-
XCFE2)+OCCr)+2*(OCMg+OCFe*XCFE2+OCCa+OCMn)+OCNa+OCK+OCF_;
        VCN:= 12;
        FC := VCN/VC;
        ACSi := OCSi * FC;
        ACTi := OCTi * FC;
        ACAL := OCAL * FC;
        ACCr := OCCr * FC;
        ACMg := OCMg * FC;
        ACFe := OCFe * FC;
        ACCa := OCCa * FC;
        ACMn := OCMn * FC;

```

```

ACNa := OCNa * FC;
ACK := OCK * FC;
ACF := OCF_ * FC;
CSiOkt := ACSi-2;
if CSiOkt < 0 then
  begin
    CSiOkt := ACTi;
    CALtet := 2-ACSi;
    CALokt := ACAL-CALtet;
    CSiTet := ACSi;
  end
else
  begin
    CSiOkt := CSiOkt + ACTi;
    CALtet := 0;
    CALokt := ACAL;
    CSiTet := 2;
  end;
CM3 := ACCr + (1-XCFE2)*ACFe;
CBaCa := ACCa;
CM2 := ACMn+ACMg+ACFe*XCFE2;
XM2 := 1/2*CM2-1/2*CSiOkt;
XCaBa := -1/2*CM2+1/2*CSiTet+1/2*CALtet-CALokt-CM3-3/2*CSiOkt;
XJadeit := -2*CM2-2*CBaCa+2*CSiTet+3*CALtet-3*CALokt-4*CM3-6*CSiOkt;
XTschemaks := CALtet;
XEskola := 2*CM2+2*CBaCa-2*CSiTet-4*CALtet+4*CALokt+4*CM3+6*CSiOkt;
XAcmit := CM3;
XTitan := 2*CSiOkt;
XDC := XEskola;
end;
until _stop or ((XDC > -0.0000001) AND (XDC < 0.0000001));
{Phengit einlesen und in Mol-Proportion umrechnen}
OPSi := Table1PSi.value/MSiO2;
OPTi := Table1PTi.value/MTiO2;
OPAl := Table1PAL.value/MAL2O3*2;
OPCr := Table1PCr.value/MCr2O3*2;
OPMg := Table1PMg.value/MMgO;
OPFe := Table1PFe.value/MFeO;
OPCa := Table1PCa.value/MCaO;
OPMn := Table1PMn.value/MMnO;
OPNa := Table1PNa.value/MNa2O*2;
OPK := Table1PK.value/MK2O*2;
OPF_ := Table1PF.value/MF;
{Phengit Mineralformel berechnen}
XPFE2 := 1.00;
VP := 4*(OPSi+OPTi)+3*(OPAl+OPFe*(1-XPFE2)+OPCr)+2*(OPMg+OPFe*XPFE2+OPCa/2+OPMn);
VPN:= 42;
FP := VPN/VP;
APSi := OPSi * FP;
APTi := OPTi * FP;
APAl := OPAl * FP;
APCr := OPCr * FP;
APMg := OPMg * FP;
APFe := OPFe * FP;
APCa := OPCa * FP;
APMn := OPMn * FP;
APNa := OPNa * FP;
APK := OPK * FP;
APF := OPF_ * FP;
FPK := (2-APCa)/(APK+APNa);
PNa := APNa*FPK;
PM2 := APMg+APMn+APFe*XPFE2;
PM4 := APTi;
PM3 := APCr+APFe*(1-XPFE2);
PCa := APCa;
PALtet := 8-APSi;
PALokt := APAl-PALtet;
XDiTri := 1/5*PM2;
XMonoDi := 3/10*PALokt-3/5*PALtet+2/5*PM4+3/10*PM3+3/5*PCa;
XMus := 1/2*PALtet-1/2*PNa-1/3*PM4-1/3*PM3-PCa;
XPar := 1/2*PNa;
XTiG := 1/3*PM4;
XM3G := 1/4*PM3;
XMar := 1/2*PCa;
POkt := PM2+PM3+PM4+PALokt;
XPFe := APFe*XPFE2/POkt;
XPMg := APMg/POkt;
{Druck-Temperatur-Berechnungsfunktion aufrufen}

```



```

IterationPT(XPrp,XGrS,XAlm,XGAl,ACMg,ACCa,ACNa,ACFe*(1-
XCFe2),ACFe*XCFe2,CAlOkt,PALokt,PAlTet,APMg,APSi,AGMg,AGFe*XGFe2,ACFe*XCFe2,ACMg,AGCa/3
,XPFfe,XPMg,termometer+1,Druck,Temperatur);
{Ergebnis in Datei schreiben}
writeln(Output,Druck:3:2,' ',Temperatur:5:2);
table1.next;
end;
{Ausgabedatei schließen}
closefile(Output);
{Datenbanktabelle schließen}
table1.close;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;

end.

```

### c) Modul PTCalc

```

unit CalcPT;
{Bibliothek mit PT-Berechnungsfunktionen}
interface

function CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T
: double):double;
function CalcTPowell(XGMg,XGFe,XCFfe,XCMg,XGCa,P : double):double;
function CalcTGreen(XGMg,XGFe,XPFfe,XPMg,P : double):double;
procedure
IterationPT(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,XGMg
,XGFe,XCFfe,XCMg,XGCa,XPFfe,XPMg : Double;Termo : integer;var PS,TS : double);

implementation
{Temperaturberechnung nach Green & Hellman}
function CalcTGreen;
var
T : double;
begin
T := (5680 + 36*P)/(4.48 + ln((XGFe*XPMg)/(XPFfe*XGMg)))-273.15;
CalcTGreen := T;
end;

{Temperaturberechnung nach Powell}
Function CalcTPowell;
var
T : double;
begin
T := (2790 + 10*P + 3140*XGCa)/(1.735 + ln((XGFe*XCMg)/(XCFfe*XGMg)))-273.15;
CalcTPowell := T;
end;

{Druckberechnung nach Martin & Waters}
Function CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T
: double):double;
const
r=8.314;
var
Code : integer;
adi, aprp, agrs, aph, lnk, p : double;
lngamgrs, lngamprp : double;
begin
t := t + 273.15;
xalM2 := xalM2/2;
xalT2 := xalT2/2;
xmgM2 := xmgM2/2;
xsiT2 := (xsiT2/2)-2;
lngamgrs := (13807-6.276*t)*xprp*(1-xgrs);
agrs := xgrs*xgrs*xgrs*xalgt*xalgt*(exp(3/r/t*lngamgrs));
lngamprp := (13807-6.276*t)*xgrs*(1-xprp);
aprpr := xprp*xprp*xprp*xalgt*xalgt*(exp(3/r/t*lngamprp));
aph := xalM2*xalT2/(xmgM2*xsiT2);
adi := xmg*xca*(exp(1/r/t*(xna*(xfe3*26000.0+xfe2*1000+xal*26000.0))));

```

```

lnk := 6*ln(adi)-ln(aprp)-2*ln(agrps)+3*ln(aph);
p := 26.90+0.01590*t-0.002490*t*lnk;
CalcP := p;
end;

{Iterationsprozeduur: Druck und Temperatur werden solange nach einander
berechnet, bis die eintretende Änderung sehr klein ist}

procedure
IterationPT(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,XGMg
,XGFe,XCFE,XCMg,XGCa,XPFfe,XPMg : Double;Termo : integer;var PS,TS : double);
var
P1,P2,P3 : Double;
T1,T2,T3 : Double;
begin
case termo of
1:begin
T1 := CalcTGreen(XGMg,XGFe,XPFfe,XPMg,PS);
P1 := CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T1);
P3 := P1;
T3 := T1;
repeat
P1 := P3;
T1 := T3;
T2 := CalcTGreen(XGMg,XGFe,XPFfe,XPMg,P1);
P2 := CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T2);
until(0.001>(P2 - P1)) AND (-0.001<(P2 - P1)) AND (0.1>(T2-T1)) AND (-0.1<(T2-T1));
end;
2:begin
T1 := CalcTPowell(XGMg,XGFe,XCFE,XCMg,XGCa,PS);
P1 := CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T1);
P3 := P1;
T3 := T1;
repeat
P1 := P3;
T1 := T3;
T2 := CalcTPowell(XGMg,XGFe,XCFE,XCMg,XGCa,P1);
P2 := CalcP(XPrp,XGrS,XAlm,XAlGt,Xmg,XCa,XNa,XFe3,XFe2,XAl,XAlM2,XAlT2,XMgM2,XSiT2,T2);
until(0.001>(P2 - P1)) AND (-0.001<(P2 - P1)) AND (0.1>(T2-T1)) AND (-0.1<(T2-T1));
end;
end;
end;
end.

```

### c) Formular Form1

```

object Form1: TForm1
Left = 374
Top = 288
Width = 593
Height = 429
Caption = 'Carlo V0.1'
Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
Font.Color = clWindowText
Font.Height = -12
Font.Name = 'MS Sans Serif'
Font.Style = []
PixelsPerInch = 106
TextHeight = 13
object Labell: TLabel
Left = 8
Top = 0
Width = 55
Height = 24

```

```
    Caption = 'Granat'
    Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
    Font.Color = clWindowText
    Font.Height = -19
    Font.Name = 'MS Sans Serif'
    Font.Style = []
    ParentFont = False
end
object Label2: TLabel
    Left = 8
    Top = 48
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'SiO2'
end
object Label3: TLabel
    Left = 8
    Top = 96
    Width = 29
    Height = 13
    Caption = 'Al2O3'
end
object Label4: TLabel
    Left = 8
    Top = 120
    Width = 30
    Height = 13
    Caption = 'Cr2O3'
end
object Label5: TLabel
    Left = 8
    Top = 72
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'TiO2'
end
object Label6: TLabel
    Left = 8
    Top = 240
    Width = 28
    Height = 13
    Caption = 'Na2O'
end
object Label7: TLabel
    Left = 8
    Top = 144
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'MgO'
end
object Label8: TLabel
    Left = 8
    Top = 168
    Width = 20
    Height = 13
    Caption = 'FeO'
end
object Label9: TLabel
    Left = 8
    Top = 192
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'CaO'
end
object Label10: TLabel
    Left = 8
    Top = 216
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'MnO'
end
object Label11: TLabel
    Left = 8
    Top = 288
    Width = 6
    Height = 13
    Caption = 'F'
end
end
```

```
object Label12: TLabel
  Left = 48
  Top = 24
  Width = 63
  Height = 13
  Caption = 'EMS-Analyse'
end
object Label13: TLabel
  Left = 120
  Top = 24
  Width = 68
  Height = 13
  Caption = 'mittlerer Fehler'
end
object Label14: TLabel
  Left = 200
  Top = 0
  Width = 111
  Height = 24
  Caption = 'Klinopyroxen'
  Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
  Font.Color = clWindowText
  Font.Height = -19
  Font.Name = 'MS Sans Serif'
  Font.Style = []
  ParentFont = False
end
object Label15: TLabel
  Left = 200
  Top = 48
  Width = 23
  Height = 13
  Caption = 'SiO2'
end
object Label16: TLabel
  Left = 200
  Top = 96
  Width = 29
  Height = 13
  Caption = 'Al2O3'
end
object Label17: TLabel
  Left = 200
  Top = 120
  Width = 30
  Height = 13
  Caption = 'Cr2O3'
end
object Label18: TLabel
  Left = 200
  Top = 72
  Width = 23
  Height = 13
  Caption = 'TiO2'
end
object Label19: TLabel
  Left = 200
  Top = 240
  Width = 28
  Height = 13
  Caption = 'Na2O'
end
object Label20: TLabel
  Left = 200
  Top = 144
  Width = 23
  Height = 13
  Caption = 'MgO'
end
object Label21: TLabel
  Left = 200
  Top = 168
  Width = 20
  Height = 13
  Caption = 'FeO'
end
object Label22: TLabel
  Left = 200
```

```
    Top = 192
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'CaO'
end
object Label23: TLabel
    Left = 200
    Top = 216
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'MnO'
end
object Label24: TLabel
    Left = 200
    Top = 288
    Width = 6
    Height = 13
    Caption = 'F'
end
object Label25: TLabel
    Left = 240
    Top = 24
    Width = 63
    Height = 13
    Caption = 'EMS-Analyse'
end
object Label26: TLabel
    Left = 312
    Top = 24
    Width = 68
    Height = 13
    Caption = 'mittlerer Fehler'
end
object Label27: TLabel
    Left = 8
    Top = 264
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'K2O'
end
object Label28: TLabel
    Left = 200
    Top = 264
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'K2O'
end
object Label29: TLabel
    Left = 400
    Top = 0
    Width = 64
    Height = 24
    Caption = 'Phengit'
    Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
    Font.Color = clWindowText
    Font.Height = -19
    Font.Name = 'MS Sans Serif'
    Font.Style = []
    ParentFont = False
end
object Label30: TLabel
    Left = 400
    Top = 48
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'SiO2'
end
object Label31: TLabel
    Left = 400
    Top = 96
    Width = 29
    Height = 13
    Caption = 'Al2O3'
end
object Label32: TLabel
    Left = 400
    Top = 120
    Width = 30
```

```
    Height = 13
    Caption = 'Cr2O3'
end
object Label33: TLabel
    Left = 400
    Top = 72
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'TiO2'
end
object Label34: TLabel
    Left = 400
    Top = 240
    Width = 28
    Height = 13
    Caption = 'Na2O'
end
object Label35: TLabel
    Left = 400
    Top = 144
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'MgO'
end
object Label36: TLabel
    Left = 400
    Top = 168
    Width = 20
    Height = 13
    Caption = 'FeO'
end
object Label37: TLabel
    Left = 400
    Top = 192
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'CaO'
end
object Label38: TLabel
    Left = 400
    Top = 216
    Width = 23
    Height = 13
    Caption = 'MnO'
end
object Label39: TLabel
    Left = 400
    Top = 288
    Width = 6
    Height = 13
    Caption = 'F'
end
object Label40: TLabel
    Left = 440
    Top = 24
    Width = 63
    Height = 13
    Caption = 'EMS-Analyse'
end
object Label41: TLabel
    Left = 512
    Top = 24
    Width = 68
    Height = 13
    Caption = 'mittlerer Fehler'
end
object Label42: TLabel
    Left = 400
    Top = 264
    Width = 21
    Height = 13
    Caption = 'K2O'
end
object Label43: TLabel
    Left = 8
    Top = 320
    Width = 151
    Height = 13
```

```
    Caption = 'Anzahl der Schritte pro Element:'
end
object Label144: TLabel
    Left = 144
    Top = 382
    Width = 51
    Height = 13
    Caption = '-----'
end
object Label145: TLabel
    Left = 96
    Top = 382
    Width = 33
    Height = 13
    Caption = 'Status:'
end
object Label146: TLabel
    Left = 216
    Top = 320
    Width = 49
    Height = 13
    Caption = 'Startdruck'
end
object Label147: TLabel
    Left = 392
    Top = 320
    Width = 72
    Height = 13
    Caption = 'Starttemperatur'
end
object Label148: TLabel
    Left = 8
    Top = 344
    Width = 128
    Height = 13
    Caption = 'gewünschtes Thermometer'
end
object Edit1: TEdit
    Left = 48
    Top = 44
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 0
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit2: TEdit
    Left = 48
    Top = 68
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 2
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit3: TEdit
    Left = 48
    Top = 92
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 4
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit4: TEdit
    Left = 48
    Top = 116
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 6
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit5: TEdit
    Left = 48
    Top = 140
    Width = 65
    Height = 21
```

```
    TabOrder = 8
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit6: TEdit
    Left = 48
    Top = 164
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 10
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit7: TEdit
    Left = 48
    Top = 188
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 12
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit8: TEdit
    Left = 48
    Top = 212
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 14
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit9: TEdit
    Left = 48
    Top = 236
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 16
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit10: TEdit
    Left = 48
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 18
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit11: TEdit
    Left = 48
    Top = 284
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 20
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit12: TEdit
    Left = 120
    Top = 44
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 1
    Text = '1.00'
end
object Edit13: TEdit
    Left = 120
    Top = 68
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 3
    Text = '1.00'
end
object Edit14: TEdit
    Left = 120
    Top = 92
    Width = 65
```



```
    Height = 21
    TabOrder = 5
    Text = '1.00'
end
object Edit15: TEdit
    Left = 120
    Top = 116
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 7
    Text = '1.00'
end
object Edit16: TEdit
    Left = 120
    Top = 140
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 9
    Text = '1.00'
end
object Edit17: TEdit
    Left = 120
    Top = 164
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 11
    Text = '1.00'
end
object Edit18: TEdit
    Left = 120
    Top = 188
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 13
    Text = '1.00'
end
object Edit19: TEdit
    Left = 120
    Top = 212
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 15
    Text = '1.00'
end
object Edit20: TEdit
    Left = 120
    Top = 236
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 17
    Text = '1.00'
end
object Edit21: TEdit
    Left = 120
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 19
    Text = '1.00'
end
object Edit22: TEdit
    Left = 120
    Top = 284
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 21
    Text = '1.00'
end
object Edit23: TEdit
    Left = 240
    Top = 44
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 22
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit24: TEdit
```

```
    Left = 240
    Top = 68
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 24
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit25: TEdit
    Left = 240
    Top = 92
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 26
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit26: TEdit
    Left = 240
    Top = 116
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 28
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit27: TEdit
    Left = 240
    Top = 140
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 30
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit28: TEdit
    Left = 240
    Top = 164
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 32
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit29: TEdit
    Left = 240
    Top = 188
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 34
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit30: TEdit
    Left = 240
    Top = 212
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 36
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit31: TEdit
    Left = 240
    Top = 236
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 38
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit32: TEdit
    Left = 240
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 40
    Text = '0.00'
```

```
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit33: TEdit
  Left = 240
  Top = 284
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 42
  Text = '0.00'
  OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit34: TEdit
  Left = 312
  Top = 44
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 23
  Text = '1.00'
end
object Edit35: TEdit
  Left = 312
  Top = 68
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 25
  Text = '1.00'
end
object Edit36: TEdit
  Left = 312
  Top = 92
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 27
  Text = '1.00'
end
object Edit37: TEdit
  Left = 312
  Top = 116
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 29
  Text = '1.00'
end
object Edit38: TEdit
  Left = 312
  Top = 140
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 31
  Text = '1.00'
end
object Edit39: TEdit
  Left = 312
  Top = 164
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 33
  Text = '1.00'
end
object Edit40: TEdit
  Left = 312
  Top = 188
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 35
  Text = '1.00'
end
object Edit41: TEdit
  Left = 312
  Top = 212
  Width = 65
  Height = 21
  TabOrder = 37
  Text = '1.00'
end
object Edit42: TEdit
  Left = 312
  Top = 236
```

```
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 39
    Text = '1.00'
end
object Edit43: TEdit
    Left = 312
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 41
    Text = '1.00'
end
object Edit44: TEdit
    Left = 312
    Top = 284
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 43
    Text = '1.00'
end
object Edit45: TEdit
    Left = 440
    Top = 44
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 44
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit46: TEdit
    Left = 440
    Top = 68
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 46
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit47: TEdit
    Left = 440
    Top = 92
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 48
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit48: TEdit
    Left = 440
    Top = 116
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 50
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit49: TEdit
    Left = 440
    Top = 140
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 52
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit50: TEdit
    Left = 440
    Top = 164
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 54
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit51: TEdit
    Left = 440
    Top = 188
```

```
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 56
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit52: TEdit
    Left = 440
    Top = 212
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 58
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit53: TEdit
    Left = 440
    Top = 236
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 60
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit54: TEdit
    Left = 440
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 62
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit55: TEdit
    Left = 440
    Top = 284
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 64
    Text = '0.00'
    OnDblClick = Edit1DblClick
end
object Edit56: TEdit
    Left = 512
    Top = 44
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 45
    Text = '1.00'
end
object Edit57: TEdit
    Left = 512
    Top = 68
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 47
    Text = '1.00'
end
object Edit58: TEdit
    Left = 512
    Top = 92
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 49
    Text = '1.00'
end
object Edit59: TEdit
    Left = 512
    Top = 116
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 51
    Text = '1.00'
end
object Edit60: TEdit
    Left = 512
    Top = 140
    Width = 65
```

```
    Height = 21
    TabOrder = 53
    Text = '1.00'
end
object Edit61: TEdit
    Left = 512
    Top = 164
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 55
    Text = '1.00'
end
object Edit62: TEdit
    Left = 512
    Top = 188
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 57
    Text = '1.00'
end
object Edit63: TEdit
    Left = 512
    Top = 212
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 59
    Text = '1.00'
end
object Edit64: TEdit
    Left = 512
    Top = 236
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 61
    Text = '1.00'
end
object Edit65: TEdit
    Left = 512
    Top = 260
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 63
    Text = '1.00'
end
object Edit66: TEdit
    Left = 512
    Top = 284
    Width = 65
    Height = 21
    TabOrder = 65
    Text = '1.00'
end
object Button1: TButton
    Left = 8
    Top = 376
    Width = 75
    Height = 25
    Caption = 'Start'
    TabOrder = 70
    OnClick = Button1Click
end
object Edit67: TEdit
    Left = 168
    Top = 316
    Width = 25
    Height = 21
    TabOrder = 66
    Text = '3'
end
object Edit68: TEdit
    Left = 272
    Top = 316
    Width = 105
    Height = 21
    TabOrder = 67
    Text = '1'
end
object Edit69: TEdit
```

```
Left = 472
Top = 316
Width = 105
Height = 21
TabOrder = 68
Text = '300'
end
object ComboBox1: TComboBox
Left = 168
Top = 340
Width = 145
Height = 21
ItemHeight = 13
Items.Strings = (
'Muskovit / Granat, Hellman & Green (1982)'
'Granat / Clinopyroxen, Powell (1985) ')
TabOrder = 69
end
object Button2: TButton
Left = 504
Top = 376
Width = 75
Height = 25
Caption = 'Ende'
TabOrder = 71
OnClick = Button2Click
end
object SaveDialog1: TSaveDialog
Filter = 'Alle Dateien|*.*'
Title = 'Namen der Ausgabedatei festlegen'
Left = 560
Top = 8
end
object Table1: TTable
DatabaseName = 'TEMP'
TableName = 'temp.db'
Left = 224
Top = 368
object Table1GSi: TFloatField
FieldName = 'GSi'
end
object Table1GTi: TFloatField
FieldName = 'GTi'
end
object Table1GAL: TFloatField
FieldName = 'GAL'
end
object Table1GCr: TFloatField
FieldName = 'GCr'
end
object Table1GMg: TFloatField
FieldName = 'GMg'
end
object Table1GFe: TFloatField
FieldName = 'GFe'
end
object Table1GCa: TFloatField
FieldName = 'GCa'
end
object Table1GMn: TFloatField
FieldName = 'GMn'
end
object Table1GNa: TFloatField
FieldName = 'GNa'
end
object Table1GK: TFloatField
FieldName = 'GK'
end
object Table1GF: TFloatField
FieldName = 'GF'
end
object Table1PSi: TFloatField
FieldName = 'PSi'
end
object Table1PTi: TFloatField
FieldName = 'PTi'
end
object Table1PAL: TFloatField
```

```
    fieldName = 'PAL'
end
object Table1PCr: TFloatField
    fieldName = 'PCr'
end
object Table1PMg: TFloatField
    fieldName = 'PMg'
end
object Table1PFe: TFloatField
    fieldName = 'PFe'
end
object Table1PCa: TFloatField
    fieldName = 'PCa'
end
object Table1PMn: TFloatField
    fieldName = 'PMn'
end
object Table1PNa: TFloatField
    fieldName = 'PNa'
end
object Table1PK: TFloatField
    fieldName = 'PK'
end
object Table1PF: TFloatField
    fieldName = 'PF'
end
object Table1CSi: TFloatField
    fieldName = 'CSi'
end
object Table1CTi: TFloatField
    fieldName = 'CTi'
end
object Table1CAL: TFloatField
    fieldName = 'CAL'
end
object Table1CCr: TFloatField
    fieldName = 'CCr'
end
object Table1CMg: TFloatField
    fieldName = 'CMg'
end
object Table1CFe: TFloatField
    fieldName = 'CFe'
end
object Table1CCa: TFloatField
    fieldName = 'CCa'
end
object Table1CMn: TFloatField
    fieldName = 'CMn'
end
object Table1CNa: TFloatField
    fieldName = 'CNa'
end
object Table1CK: TFloatField
    fieldName = 'CK'
end
object Table1CF: TFloatField
    fieldName = 'CF'
end
end
object DataSource1: TDataSource
    DataSet = Table1
    Left = 256
    Top = 368
end
end
```



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. Dr. E.h. Dr. h.c. W. Schreyer angeregt. Für seine Betreuung und hilfreiche Diskussionen während dieser Zeit danke ich ihm ganz herzlich.

Für die Möglichkeit diese Arbeit als Angestellter am Institut für Mineralogie zu beenden bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. W.V. Maresch.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Heinz-Jürgen Bernhard, Herrn Köhler-Schnettker und Frau Mieles für die intensive Unterstützung bei meiner Elektronenmikrosondenarbeit bedanken. Ohne Ihre Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Bei den Mitarbeitern der Präparation: Herrn Dieter Dettmar, Frau Ellen Kessler und Frau Tanja Westphal bedanke ich mich für ihre hervorragende Arbeit ganz herzlich.

Für Ihre Unterstützung während dieser Arbeit danke ich besonders: Herrn Dr. Thomas Fockenberg, Herrn Dr. Olaf Medenbach, Frau Dr. Uschi Nowlan, Herrn Dr. Thomas Reinecke, Herrn Dr. Hans-Peter Schertl, Frau Dipl. Min. Christiane Grevel, Herrn Dr. Klaus Grevel, Herrn Dr. Bernd Wunder.

Für die Hilfe bei den zahlreichen Hochdruckexperimenten danke ich Herrn Günther Andersen, Herrn Thomas Baller, Herrn Fritz Heinke sowie bei allen Mitarbeitern der Werkstatt.

Den Mitarbeitern des Bayrischen Geoinstituts sein für die Hilfe bei den Ultrahochdruckexperimenten herzlichst gedankt.

Ferner möchte ich auch allen hier nicht namentlich genannten Mitarbeiter des Instituts für Mineralogie ihre Unterstützung danken.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Petra Mai, meinem Freund Holger Nolte die mich während der Schlußphase dieser Arbeit besonders unterstützt haben.

Schließlich danke ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die dieses Projekt im Rahmen der Forschergruppe „Hochdruckmetamorphose in Natur und Experiment“ finanziert hat.